

Conselho Nacional de Desenvolvimento
Científico e Tecnológico
(CNPq)

A SALINIDADE DAS ÁGUAS DISPONÍVEIS PARA A PEQUENA IRRIGAÇÃO NO SERTÃO NORDESTINO

Caracterização. Variação sazonal.
Limitações de uso.



Pierre AUDRY
Pesquisador do Institut Français
de Recherche Scientifique pour le
Développement en Coopération
(ORSTOM, Paris)

João SUASSUNA
Pesquisador
da
Fundação Joaquim Nabuco
(FUNDAJ, Recife)

Foto da capa : um laranjal irrigado em uma propriedade participante do GAT, no Sertão do Ceará.
(Foto J. Suassuna).

*A publicação deste trabalho foi financiada pelo
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
(CNPq).*

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
-------------------	-----------

CAPÍTULO 1

PANORAMA GERAL SOBRE AS ÁGUAS DO NORDESTE.	13
---	-----------

1.1. Duas grandes unidades em relação com o contexto geológico.	13
---	----

1.2. Avaliação quantitativa dos recursos hídricos do Polígono das Secas.	15
--	----

1.2.1. Dados gerais	15
---------------------	----

1.2.2. Dados hidrológicos específicos disponíveis	18
---	----

1.3. A salinidade dos recursos hídricos do Polígono das Secas e outros fatores limitantes para uso na irrigação.	20
--	----

1.4. Conclusões	29
-----------------	----

CAPÍTULO 2

O CONJUNTO DE ÁGUAS ESTUDADAS	31
--------------------------------------	-----------

2.1. Localização geográfica	31
-----------------------------	----

2.2. Tipos de fontes, freqüência de amostragem, número de amostras e análises realizadas.	33
---	----

2.3. Discussão sobre a representatividade da amostragem à escala regional.	36
--	----

2.4. Trabalhos já realizados sobre a amostragem das águas do GAT.	40
---	----

CAPÍTULO 3

CARACTERIZAÇÃO GERAL DAS ÁGUAS DAS PROPRIEDADES DO GAT	41
COMPARAÇÃO ENTRE OS VÁRIOS TIPOS DE FONTES	
3.1. Parâmetros estudados e procedimento utilizado para esta caracterização.	41
3.2. Estatística descritiva do conjunto completo de dados.	44
3.2.1. Distribuição conjunta dos riscos de salinização e sodificação.	44
3.2.2. Forma das distribuições de CE e RAS. Conseqüências para a escolha dos métodos de tratamento estatístico.	49
3.3 Comparação entre as águas dos vários tipos de fontes.	54
3.3.1. Comparação entre rios, açudes e poços.	54
3.3.2 Análise do sub-conjunto rios: comparação entre rios regularizados e rios perenes.	61
3.3.3. Análise do sub-conjunto açudes: comparação entre açudes pequenos, médios e grandes.	66
3.3.4. Análise do sub-conjunto poços: comparação entre poços naturais, poços amazonas e poços nos rios.	72
3.4. Composição iônica das águas estudadas	79
3.4.1. Importância do assunto	79
3.4.2. Representação das composições iônicas das águas e terminologia utilizada.	81

3.4.3. Imagem geral das composições iônicas das águas estudadas. Comparação entre rios, açudes e poços.	82
3.4.4. Comparação, por faixa de concentração, entre as águas de poços amazonas com as águas de todas as outras fontes.	85
3.5. Ferramentas práticas para avaliar a qualidade das águas unicamente a partir da condutividade elétrica.	90
CAPÍTULO 4	
A VARIAÇÃO SAZONAL DE SALINIDADE DAS ÁGUAS	95
Comparação entre os vários tipos de fontes	
4.1. A variação sazonal de salinidade das águas: uma realidade difícil de se quantificar.	95
4.2. Metodologia utilizada para o estudo da variação sazonal de salinidade.	97
4.3. Comparação das variações sazonais de salinidade observadas em 1988 e 1989.	98
4.4. Distribuição dos mínimos anuais, máximos anuais e amplitude de variação anual de salinidade para os vários tipos de fontes.	103
CAPÍTULO 5	
CONCLUSÕES E SUGESTÕES	109
5.1. Resultados adquiridos pela análise dos resultados das águas do GAT.	109
5.2. Alguns assuntos de reflexão de ordem geral, relativos ao uso das águas da região em irrigação	111

5.2.1. Não pode haver irrigação sem drenagem	111
5.2.2. Necessidade de políticas alternativas de irrigação, para aproveitar as águas da região.	112
5.3. Sugestões para os irrigantes e os extensionistas	113
5.3.1. Medir a salinidade da água. Livrar-se da imprecisão das classes de risco.	113
5.3.2. Nunca tomar decisão sem ter uma boa estimativa não apenas da quantidade, mas também da qualidade da água, incluindo a variação sazonal de salinidade.	114
5.3.3. Sugestões de ordem prática para o manejo da irrigação.	115
5.4. Sugestões aos poderes públicos	116
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117

RELAÇÃO DE FIGURAS

Fig. 1.1. Esboço geológico do Nordeste.	14
Fig. 2.1. Localização das fontes de água estudadas.	32
Fig. 2.2. Repartição numérica das fontes de águas estudadas.	33
Fig. 3.1. Avaliação da qualidade das águas: Riscos de salinização e sodificação Todas as fontes indiscriminadamente.	42

Fig. 3.2. Distribuição de frequência dos riscos de salinização e sodificação do conjunto de 716 amostras analisadas.	45
Fig. 3.3. Distribuição de frequência da salinidade global e do RAS do conjunto de 716 amostras analisadas.	47
Fig. 3.4. Relação entre a razão de adsorção do sódio e a condutividade elétrica para o conjunto de 716 amostras analisadas.	48
Fig. 3.5. - 3.5a. Distribuição de frequência da condutividade elétrica em escala aritmética.	49
Fig. 3.5. - 3.5b. Distribuição de frequência da condutividade elétrica em escala logarítmica	50
Fig. 3.6. Comparação da média, da mediana e dos quantis calculados ($m \pm p\delta$) e observados. Valores da condutividade elétrica do sub-conjunto "poços nos rios"	51
Fig. 3.7. Avaliação da qualidade das águas: Riscos de salinização e sodificação - Todas as fontes indiscriminadamente.	53
Fig. 3.8. Avaliação da qualidade das águas: Riscos de salinização e sodificação - Dados relativos a todas as fontes	56
Fig. 3.9. Comparação rios - açudes - poços. Domínio interdecis.	57
Fig. 3.10. Comparação rios - açudes - poços. Domínio interquartis.	58
Fig. 3.11. Comparação rios - açudes - poços. Variação total e variações interquantis em relação ao polígono envoltório da amostragem completa.	59

Fig. 3.12. Avaliação da qualidade das águas: Riscos de salinização e sodificação - Dados relativos a todos os rios.	62
Fig. 3.13. Comparação rios regularizados - rios perenes. Domínio interdecis.	63
Fig. 3.14. Comparação rios regularizados - rios perenes. Variação total e variações interquantis em relação aos polígonos envoltórios do sub-conjunto rios e da amostragem completa.	64
Fig. 3.15. Posição dos rios perenes na relação RAS vs log (CE).	64
Fig. 3.16. Avaliação da qualidade das águas: Riscos de salinização e sodificação. Dados relativos a todos os açudes.	67
Fig. 3.17. Comparação açudes pequenos - médios - grandes. Domínios interdecis.	68
Fig. 3.18. Comparação açudes pequenos - médios - grandes. Variação total e variações interquantis em relação aos polígonos envoltórios do sub-conjunto açudes e da amostragem completa.	69
Fig. 3.19. Avaliação da qualidade das águas: Riscos de salinização e sodificação. Dados relativos a todos os poços.	73
Fig. 3.20. Comparação poços naturais - amazonas - nos rios. Domínio interdecis.	74
Fig. 3.21. Comparação poços naturais - amazonas - nos rios. Variação total e variações interquantis em relação aos polígonos envoltórios do sub-conjunto poços e da amostragem completa.	75

Fig. 3.22. Representação e comparação das composições iônicas das amostras com o "Triângulo de Piper".	82
Fig. 3.23. Composição iônica das águas. Comparação rios - açudes - poços. Domínio de variação interdecis.	83
Fig. 3.24. Composição iônica das águas. Comparação todas as fontes (menos poços amazonas) - poços amazonas. Domínio de variação interdecis. Amostras de salinidade baixa (CE \leq 500 μ siemens/cm).	86
Fig. 3.25. Composição iônica das águas. Comparação todas as fontes (menos poços amazonas) - poços amazonas. Domínio de variação interdecis. Amostras de salinidade média (CE $>$ 500 \leq 1500 μ siemens/cm).	87
Fig. 3.26. Composição iônica das águas. Comparação todas as fontes (menos poços amazonas) - poços amazonas. Domínio de variação interdecis. Amostras de salinidade alta (CE $>$ 1500 μ siemens/cm).	88
Fig. 3.27. Regressões RAS = a. CE ^D estabelecidas para as duas grandes categorias de águas identificadas.	91
Fig. 3.28. Regressão CI = a + bxCe estabelecida para a totalidade da amostragem de águas estudadas.	92
Fig. 4.1. Comparação dos mínimos anuais, máximos anuais e amplitudes anuais de variação de salinidade global (Condutividade elétrica = CE) observados em 1988 e 1989	99
Fig. 4.1. - 4.1a. Mínimos anuais	99
Fig. 4.1. - 4.1b. Máximos anuais	99
Fig. 4.1. - 4.1c. Amplitudes anuais de variação	100

Fig. 4.2. - 4.2a. Distribuição dos mínimos anuais de salinidade global (Condutividade elétrica = CE) para os vários tipos de fontes	104
Fig. 4.2. - 4.2b. Distribuição dos máximos anuais de salinidade global (Condutividade elétrica = CE) para os vários tipos de fontes	104
Fig. 4.2. - 4.2c. Distribuição das amplitudes anuais de variação de salinidade global (Condutividade elétrica = CE) para os vários tipos de fontes	105

RELAÇÃO DAS TABELAS

Tab. 1.1. Possibilidades hidrogeológicas do Nordeste do Brasil conforme Rebouças e Gaspary (1966)	16
Tab. 1.2. Salinidade das águas de alguns riachos em relação ao tipo de solo da bacia de alimentação.	25
Tab. 2.1. Repartição numérica das fontes de água estudadas.	33
Tab. 2.2. Comparação dos valores de CE (microsiemens/cm) para as diferentes amostragens relativas aos rios, realizadas na região.	37
Tab. 2.3. Comparação dos valores de CE (microsiemens/cm) para as diferentes amostragens relativas aos açudes, realizadas na região.	37
Tab. 2.4. Comparação dos valores de CE (microsiemens/cm) para as diferentes amostragens relativas aos poços, realizadas na região.	38

Tab. 3.1. Distribuição de frequência dos riscos de salinização e sodificação do conjunto de 716 amostras analisadas.	46
Tab. 3.2a. Medianas e extremos de CE para os rios, os açudes e os poços.	55
Tab. 3.2b. Medianas e extremos de RAS para os rios, os açudes e os poços.	55
Tab. 3.3a. Medianas e extremos de CE para os rios regularizados e perenes.	61
Tab. 3.3b. Medianas e extremos de RAS para os rios regularizados e perenes.	61
Tab. 3.4a. Medianas e extremos de CE para os açudes pequenos, médios e grandes.	66
Tab. 3.4b. Medianas e extremos de RAS para os açudes pequenos, médios e grandes.	66
Tab. 3.5a. Medianas e extremos de CE para os poços naturais, amazonas e nos rios.	72
Tab. 3.5b. Medianas e extremos de RAS para os poços naturais, amazonas e nos rios.	72

INTRODUÇÃO

As amostras de águas sobre as quais se baseia o trabalho a seguir foram coletadas nos anos de 1988 e 1989. Naquela época, os autores trabalhavam em um programa de desenvolvimento regional (PDCT/NE) que pretendia gerar, adequar e colocar à disposição do pequeno produtor rural tecnologias adaptadas às condições de semi-aridez do Polígono das Secas^(*). No sentido de garantir a produção, um enfoque especial foi dado à pequena irrigação, isto é, ao aproveitamento de qualquer tipo de fonte hídrica disponível nas propriedades, para irrigar superfícies da ordem de meio a um hectare.

No momento da implantação do programa, que contemplou 95 propriedades distribuídas em cinco estados do Nordeste (Ceará, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Piauí - embora este último não tenha participado do presente trabalho), os conhecimentos sobre a salinidade dos diversos tipos de águas eram poucos e muito localizados e, na prática, não foi considerado de forma suficiente este fator limitante, nem para o manejo da irrigação, nem para a escolha de plantas adaptadas.

(*) O PDCT/NE (Programa de Desenvolvimento Científico e Tecnológico para o Nordeste) foi um programa financiado pelo BID (Banco Interamericano de Desenvolvimento) e pelo Tesouro Nacional com a interveniência do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico). Ele atuou na região nordestina de 1983 a 1990 e foi composto de dois sub-programas, um de Pesquisa e outro de Geração e Adaptação de Tecnologia (GAT). Sua execução foi realizada com a participação de cinco universidades existentes na região : as Federais do Piauí, Ceará, Paraíba, a Rural de Pernambuco e a Escola Superior de Agricultura de Mossoró no Rio Grande do Norte. O programa era voltado para o pequeno produtor rural, isto é, com propriedade até 100 ha e uma renda bruta familiar anual de US\$ 12.900,00.

Diante de problemas de salinidade, ocorridos no desenvolvimento das culturas e, conseqüentemente, refletindo na sua produção, foi aproveitada a infra-estrutura existente para montar um programa de amostragem mensal das águas utilizadas, com a finalidade de caracterizá-las em termos de salinidade, não só de um modo geral mas, também, do ponto de vista da variação sazonal desta.

Após um panorama geral das águas do Nordeste (capítulo 1), redigido no sentido de apresentar os conhecimentos e dados atualmente disponíveis na região, mas também algumas reflexões e discussões de ordem geral sobre o assunto, será apresentada a amostragem estudada e discutida a sua representatividade (capítulo 2). Os capítulos 3 e 4 consistirão na interpretação dos dados do ponto de vista de caracterização global e variação sazonal de salinidade, sucessivamente, antes de propor algumas medidas práticas relativas ao uso das águas superficiais na irrigação (capítulo 5), e de concluir com algumas propostas de ordem geral (capítulo 6) sobre o assunto.

Agradecimentos : Ao corpo técnico e administrativo da ex-Agência Nordeste do CNPq - Recife, em especial ao Dr. Ivonilzo Correa da Silva, à Fundação Joaquim Nabuco e a Unidade de Execução do Programa - UEP no CNPq em Brasília, pela colaboração prestada; às Subunidades de Execução do Programa - SUEP's das Universidades que participaram do PDCT/NE, em particular aos técnicos de campo, pelo apoio na coleta e tratamento das amostras de água; aos colegas Sylvio Campello e Atílio Dall'Olio da UFPE, pelas sugestões apresentadas para o aprimoramento do trabalho; à Germana Suassuna pela revisão do texto e a todos que, direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta pesquisa..

CAPÍTULO 1

PANORAMA GERAL SOBRE AS ÁGUAS DO NORDESTE

1.1. Duas grandes unidades em relação com o contexto geológico.

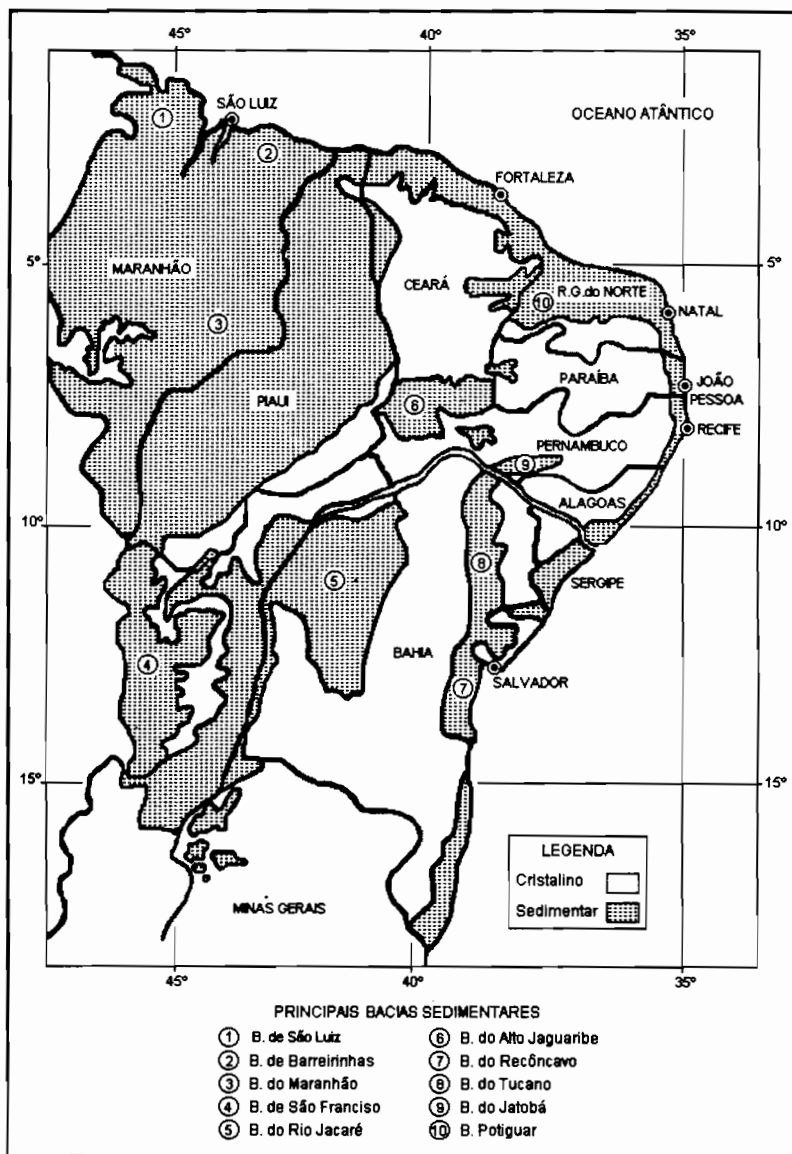
A hidrologia do Nordeste, além das condições climáticas, está na dependência direta do contexto geológico da região, que - em termos de comportamento hidrológico - se divide em duas grandes unidades : o *embasamento cristalino* e as *bacias sedimentares* (veja Fig. 1.1). Estas bacias correspondem a compartimentos encaixados no substrato cristalino através de falhas, e ocorrendo freqüentemente em relevo - as chamadas *chapadas* - sendo, neste caso, testemunhas de erosão.

O embasamento cristalino é constituído de rochas ígneas e metamórficas de idade precambriana, impermeáveis, com alterações e solos pouco profundos e vegetação aberta típica (a caatinga) : em breve, condições de pouca infiltração, baixa capacidade de armazenamento de água e predominância dos processos de escoamento. Em conseqüência, a rede hidrográfica é densa, mas os rios são de regime temporário, com enchentes bruscas e escoamento rápido. Não existem lençóis expressivos no cristalino: as águas subterrâneas limitam-se a lençóis localizados nas zonas de fraturas e fissuras do substrato, que oferecem condições locais de boa permeabilidade, e às zonas de aluviões dos rios que, nas regiões de maior relevo, também são reduzidas. Essas condições edáficas e ecológicas desfavoráveis ao armazenamento profundo de água fazem com que, em contrapartida, as zonas cristalinas sejam regiões naturalmente favoráveis para açudagem.

As zonas sedimentares, de idades geológicas diversificadas, são simplesmente o oposto : rochas permeáveis, solos freqüentemente profundos, predominância da infiltração, rios perenes e armazenamento da água em lençóis profundos de grande extensão.

Fig. 1.1.

ESBOÇO GEOLÓGICO DO NORDESTE



Adaptado do Atlas EGE/SLDENE 1985

Em termos de importância relativa em superfície, para a totalidade do Polígono das Secas, as formações sedimentares e os aluviões dos rios representam aproximadamente 45 % da área. Mas para as regiões sertanejas de aridez climática mais acentuada nos Estados do Ceará, Paraíba, Pernambuco, e Rio Grande do Norte, que correspondem ao presente trabalho, o cristalino ultrapassa a proporção de 70 %.

1.2. Avaliação quantitativa dos recursos hídricos do Polígono das Secas.

1.2.1. Dados gerais.

No que diz respeito a uma avaliação quantitativa, o trabalho de Rebouças «Hidrologia das secas», apesar de antigo (1972), bem como a tese mais detalhada do mesmo autor (1973), constituem referências básicas na medida em que representam uma tentativa de síntese única contemplando todas as formas de recursos hídricos do nordeste^(*).

A tabela 1.1 relativa às *águas subterrâneas*, tirado dessa publicação, ilustra particularmente bem o comportamento hidrológico contrastado destes dois tipos de formações geológicas.

Mesmo se, como assinala o próprio autor, tal avaliação só pode ser aproximativa, vale salientar, para a região cristalina, a importância considerável dos *aluviões* como recurso explorável.

(*) O leitor encontrará no final do trabalho uma relação bibliográfica extensa. Limitamo-nos a citar no texto só algumas referências selecionadas, por serem mais sintéticas, ou particularmente significativas para o assunto discutido.

Tab. 1.1. Possibilidades hidrogeológicas do Nordeste do Brasil conforme Rebouças e Gasparly (1966).

Tipo de aquífero	Área em 10^6 km^2	Vazão escoamento natural em $10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$	Recursos permanentes em 10^9 m^3	Reservas exploráveis em $10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$
Terrenos cristalinos	720	50 a 250	-	50 a 250
Aluviões do cristalino	35	100	5	1.000 a 2.000
Bacia do Maranhão	450	3.000	2.000	10.000
Bacia de S. Luiz e Barreirinhas	50	500.000	-	-
Bacia de São Francisco	160	700	300	3.000
Bacia do Rio Jacaré	70	15	100	1.000
Bacia Alto Jaguaribe	11,5	40	2.000	100
Bacia do Recôncavo	10	50	210	2.000
Bacia do Tucano	40	100	1.000	1.000
Bacia do Jatobá	6	1	100	10
Bacia Potiguar	22	-	75	750
Bacia Costeiras	25	30	50	-
Bacia do Norte	8	-	-	-

Na mesma época, a avaliação da capacidade global de acumulação dos **açudes** da região era de 20 bilhões de m³ (*).

Considerando os **rios**, uma avaliação dos recursos hídricos fluviais supõe conhecidos os regimes dos mesmos, isto é, as vazões ao longo dos ciclos hidrológicos anuais em relação aos regimes pluviométricos, e incluindo de maneira estatística a variação interanual. A nível mais geral, as duas regiões geológicas definidas apresentam característica extremamente contrastada. Só se encontram rios perenes nas áreas sedimentares : existem dois rios permanentes no Polígono das Secas, o rio Parnaíba inteiramente no sedimentar e o São Francisco, maior rio do Nordeste, que atravessa o cristalino, mas cujas águas são oriundas de fora. No cristalino a regra é rios de regime temporário. O Jaguaribe, o maior rio da região cristalina (apesar de influência sedimentar na sua parte alta), é também o maior «rio seco» do mundo e seus trechos perenes, bem como trechos semelhantes do Piranhas e outros, são perenizados por intermédio de grandes represas.

Existe evidentemente uma interação entre o regime dos rios e os açudes neles construídos, que tanto pode regularizá-los como

(*) A construção de açudes foi bastante intensa desde aquela época. A avaliação mais atualizada encontrada (Molle, 1991b) é a seguinte :

- numericamente :
 - 450 a 500 açudes públicos de capacidade superior a 10⁶ m³
 - 1.000 a 1.500 açudes de capacidade superior a 10⁵ m³
 - 70.000 açudes existentes no total,
- em termos de capacidade de armazenamento :
 - para a única represa de Sobradinho : 34 bilhões de m³
 - para a totalidade dos açudes construídos pelo DNOCS : 15 bilhões de m³
 - para todos os outros açudes, públicos ou não e qualquer que seja o tamanho : igualmente da ordem de 15 bilhões de m³.

prejudicar a regularização inicial, se forem multiplicados sem se levar em consideração as conseqüências sobre o sistema como um todo.

1.2.2. Dados hidrológicos específicos disponíveis.

Além de numerosos trabalhos realizados sobre as águas do Nordeste por várias entidades - notadamente as Universidades e o Centro de Pesquisa do Trópico Semi-Árido de Petrolina -, estudos de abrangência regional foram realizados pela SUDENE, frequentemente através de programas que proporcionaram uma suficiente continuidade dos trabalhos.

Assim, os grandes **lençóis profundos das bacias sedimentares** são bem conhecidos através do Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste publicado com mapas na escala de 1/500.000 e por folhas de 6 graus quadrados, complementados por estudos particulares a escalas mais detalhadas. Esses documentos incluem caracterização química das águas.

Os estudos das potencialidades dos **lençóis fissurais localizados no cristalino** e os dados coletados por ocasião de perfuração de poços chegaram a uma caracterização significativa destes tipos de águas, incluindo também caracterização química.

É interessante notar que a avaliação dos recursos hídricos subterrâneos do Nordeste foi objeto prioritário desde muito tempo. Em 1977, o inventário hidrogeológico do Nordeste à escala de 1:500.000 já estava realizado em aproximadamente 60 %, com toda a parte mais árida terminada.

Em comparação, a avaliação dos recursos hídricos superficiais, igualmente a cargo da SUDENE, era praticamente limitada, naquela época, ao estudo integrado do rio Jaguaribe. Em compensação, as águas superficiais são provavelmente aquelas cujo estudo mais avançou nestes últimos vinte anos, com a criação em 1973 de um banco de dados hidrometeorológicos, e através de vários programas de estudo das **pequenas bacias** e dos **pequenos e médios açudes**. Esses trabalhos, recentemente concluídos, geraram publicações de síntese, tanto na área de conhecimentos básicos como em termos de ferramentas práticas para avaliação,

gerenciamento e aproveitamento dos recursos disponíveis e utilizáveis.

Na área dos conhecimentos hidrológicos, o estudo das pequenas bacias (Cadier, 1991) foi bem além de evidenciar a diferença de comportamento entre o sedimentar e o cristalino. Analisou e estabeleceu as relações entre as chuvas e o escoamento de um lado, e de outro lado os parâmetros das bacias que foram evidenciados de maior influência - solos, relevo, cobertura vegetal, presença de açudes a montante - e concretizou as relações estabelecidas em um modelo prático permitindo avaliar os deflúvios e dimensionar os reservatórios a serem projetados. Infelizmente não foi levada em consideração a qualidade química das águas nem o transporte de sedimentos.

O estudo dos pequenos e médios açudes esteve voltado para todas as formas de aproveitamento das suas águas e abrange todos os segmentos que condicionam o armazenamento e o uso das águas, particularmente através da irrigação : processos de concentração e comportamento hidroquímico (Laraque, 1991), dinâmica e balanço de água e de sais, avaliação do potencial de uso para irrigação, incluído o manejo do perímetro irrigado com modelo de otimização, bases de piscicultura, etc (Molle, 1989, 1990, 1991a). Um «Manual do Pequeno Açude» (Molle, 1992) inclui as técnicas de construção e de conservação e coloca todos os resultados acima relacionados a disposição do usuário em uma forma de acesso fácil.

Deve-se destacar que esses estudos voltados para avaliar as potencialidades e definir as formas mais adequadas de aproveitar pequenos e médios açudes representa uma mudança considerável em relação aos conceitos de economia da água no semi-árido nordestino. Historicamente, os açudes foram construídos para minimizar as conseqüências das secas e permitir, como primeira prioridade, a sobrevivência das pessoas e do rebanho. Isto explica a atitude inicial de armazenar a maior quantidade possível e sem perder nada dessa preciosa água. Daí reservatórios superdimensionados com sangramento mínimo possível. Essas obras chegam a armazenar quantidades de águas muito superiores às necessárias para o objetivo inicial. Ora, o número de anos com pluviometria deficitária é superior ao de anos com pluviometria excedentária, e o sertanejo não usa espontaneamente a água existente em excesso, ficando com a lembrança pessoal e coletiva

dos dramas das secas vividas no passado que o leva a se proteger das futuras, e pela ausência de tradição de uso agrícola da água, dificultado pela estrutura fundiária e suas limitadas condições de acesso. A consequência é que a água acumulada é deixada à evaporação (da ordem de 2 metros de água por ano) em puro desperdício e salinização progressiva das reservas; pois se um açude não apresentar infiltração, e ficar sem nenhum sangramento para lavá-lo e com pouca utilização da água, se tomará inexoravelmente, a curto ou médio prazo, um pequeno mar morto. O dimensionamento proposto para os pequenos e médios açudes é totalmente diferente, na medida em que se baseia sobre uso da água e sangramento freqüentes, eliminando desperdícios e riscos de salinização. Todos os elementos de dimensionamento tanto do reservatório como do perímetro irrigado - e o seu manejo - são feitos caso a caso, com a finalidade de otimizar o retorno econômico do sistema como um todo. No caso de pequeno açude, voltado para culturas irrigadas de ciclo curto, esta otimização pode até chegar a ser planejada no sentido de fazer com que o açude seque cada ano devido a irrigação, com a condição, é óbvio, de existir outra fonte de água para o uso doméstico e para o rebanho.

No que diz respeito aos *lençóis aluviais*, existem bastantes estudos locais relativos ao potencial de exploração e qualidade química das águas, realizados em particular pelas universidades da região, mas não existe nenhum levantamento, nem conjunto de dados e, conseqüentemente, nenhuma síntese a nível regional.

1.3. A salinidade dos recursos hídricos do Polígono das Secas e outros fatores limitantes para uso na irrigação.

As águas dos grandes *lençóis profundos das bacias sedimentares* são consideradas como de boa qualidade química para irrigação. Esta afirmação freqüente necessita, todavia, algumas reservas : se é geralmente verdadeira quando se trata de formações de arenitos, pode não ocorrer o mesmo com rochas sedimentares ricas em minerais alteráveis ou solúveis. Assim, o conjunto de águas objeto do presente trabalho incluiu, além das águas do cristalino, que serão apresentadas mais adiante, dois poços na formação calcária da bacia sedimentar Potiguar, na região de Mossoró, no Rio

Grande do Norte, cujas condutividades elétricas^(*) oscilaram na faixa bastante alta de 950 a 2.600 microsiemens/cm (μ siemens/cm), valores que se enquadram bem com os dados da literatura hidrogeológica regional. Em conclusão, é sempre recomendável consultar os dados da literatura correspondente à bacia específica e, se possível, da zona considerada e, no caso de não serem encontrados dados suficientes, realizar algumas análises antes de decidir a implantação de qualquer projeto de irrigação nesta região. Outra limitação de uso dessas águas é a profundidade dos lençóis, que freqüentemente atinge e até pode ultrapassar 100 ou 150 metros.

Conforme Cruz e Cruz e Melo (1967, 1974), as **águas fissurais localizadas no cristalino** (que não serão contempladas no trabalho a seguir), além de apresentarem níveis de salinidade sempre elevados (CE sempre maior que 1.500 μ siemens/cm, atingindo freqüentemente 4.500 e podendo ultrapassar muito este valor), sempre apresentam, também, limitações de vazões (com uma média de 4 m³/h). É possível usar tais águas altamente salinizadas para irrigação desde que se proceda à escolha de plantas adequadas e um manejo com alta lâmina de lixiviação sobre um solo perfeitamente drenado (experiências conduzidas pelo CPATSA de Petrolina confirmaram esta possibilidade com águas fissurais do cristalino), mas de modo geral essas águas devem ser consideradas

(*) avaliação global e simples da salinidade global que na continuação, será simplesmente designada por CE.

Lembra-se que uma CE de 1.500 microsiemens/cm corresponde aproximadamente a uma quantidade de sais dissolvidos de 1 g/l.

As classes de risco de salinização do solo sob irrigação definidas pelo Laboratório de Riverside (Richards, 1954), e até hoje reconhecidas como referência, correspondem aos limites seguintes de CE :

Classe C1 : risco baixo : CE inferior a 250 Msiemens/cm

Classe C2 : risco moderado : CE de 250 a 750 Msiemens/cm

Classe C3 : risco médio : CE de 750 a 2.250 Msiemens/cm

Classe C4 : risco alto : CE de 2.250 a 5.000 Msiemens/cm.

Acima de uma CE de 5.000 Msiemens/cm, o uso das águas na irrigação é extremamente difícil, e geralmente não se considera a classe C5 (de 5.000 a 20.000 Msiemens/cm).

como imprestáveis para irrigação, e reservadas para usos que justifiquem a construção de poços em regiões carentes de outras fontes de água : o abastecimento humano (quando não muito salinizadas), o uso doméstico e o abastecimento animal.

Apesar de essas águas fissurais serem protegidas da evaporação direta pela profundidade em que se encontram, a aridez do clima é fator determinante de concentrações salinas elevadas. O endorreísmo superficial provoca a acumulação das águas de escoamento nos vales onde a evaporação concentra, nos aluviões, os sais que vão alimentar as águas profundas por infiltração, pois os cursos dos rios também estão preferencialmente nas zonas fraturadas. Uma prova deste funcionamento é que as águas profundas são altamente concentradas em cloretos, enquanto o cloro é ausente das rochas cristalinas e considerado como trazido pelas chuvas. No detalhe, tais sistemas podem ser extremamente complicados e diversificados; os outros fatores determinantes para a dinâmica e a concentração final de sais são o volume das reservas profundas que vai acumular os sais, o balanço hídrico superficial e a eficiência da comunicação entre essas reservas e o manto aluvial. Mas o resultado é sempre o mesmo : águas bastante profundas e extremamente salinizadas (cita-se o caso de 28 g/l enquanto a concentração do mar é de 36g/l) e ocorrência quase exclusiva do tipo de água cloretada sódica, o que exprime uma predominância do fator climático sobre o fator litológico.

Nas regiões sedimentares, a rede hidrográfica exporta uma parte dos sais dissolvidos até o mar; a concentração dos mesmos na superfície e a infiltração são generalizadas a grandes proporções da paisagem e as reservas profundas que recebem essas águas de drenagem são de volumes consideráveis. Isto explica que as águas profundas são menos concentradas e que o fator litológico possa se exprimir tanto na concentração como na diversificação dos tipos de águas, com aparecimento de tipos bicarbonatados e mistos (praticamente os sulfatos não existem nas águas do Nordeste, senão em proporções insignificantes) e com vários equilíbrios entre sódio, cálcio e magnésio.

Os mapas de zoneamento de Cruz e Melo (1974) para as concentrações salinas globais e os tipos químicos de águas do Nordeste exprimem de maneira demonstrativa a combinação dos fatores geológicos com os gradientes de aridez.

A seguir e para toda a continuação do trabalho serão utilizados os termos de **águas superficiais**, para agrupar águas dos **rios** e dos **açudes**, e **águas subsuperficiais ou pouco profundas** para os **lençóis aluviais**.

A primeira tentativa de avaliação, à escala do Nordeste, da qualidade dessas águas é devida a Leprun (1983). O trabalho abrange vários tipos de fontes : 364 amostras de açudes, 27 de rios, 85 de poços pouco profundos e cacimbões, 16 de escoamento superficial e 12 de fontes naturais, totalizando 504 amostras. Esta amostragem contempla todo o Nordeste, inclusive as regiões mais úmidas e as regiões sedimentares, sendo provenientes dos oito estados da área de competência da SUDENE, mas com um enfoque todo especial para a zona cristalina e mais seca, correspondendo ao Ceará, 50% das amostras. Uma outra particularidade é que 300 amostras provêm de coletas do Projeto Sertanejo em 1978 e 1979, 50 foram coletadas pelo autor, e o resto corresponde a dados encontrados na literatura ou nos arquivos de vários laboratórios da região; provavelmente, isto explica a pouca consistência de certos gráficos do relatório consultado.

Em termos de caracterização das águas da região, os principais resultados a seguir merecem ser salientados :

- as águas superficiais do cristalino são, como as águas subterrâneas da mesma região, de tipo cloretado sódico; a faixa de variação de concentração encontrada é considerável (750 a 15.000 μ siemens/cm); as águas mais concentradas do Nordeste correspondem às regiões mais secas da região cristalina.
- a concentração por evaporação é acompanhada de um aumento da proporção relativa dos cloretos e do sódio.
- dentro das numerosas regressões apresentadas entre constituintes químicos, o autor propõe uma regressão permitindo

calcular a razão de adsorção de sódio(*) a partir da condutividade elétrica :

$RAS = 0,0366 \times CE^{0,608}$, para estimar conjuntamente os riscos de salinização e de sodificação a partir da única determinação de condutividade elétrica; o que parece bastante perigoso visto que esta regressão só explica 41% da variação observada do RAS ($R=0,64$; $R^2=0,41$).

- o risco de sodificação apresentado pelo uso dessas águas na irrigação é sempre bem menor que o risco de salinização. Este último exige sempre precauções, atingindo, em 10% dos casos, o nível de alto risco.

Apesar de não dispor de dados que permitam estudar sistematicamente a variação sazonal de salinidade das águas, são

(*) a razão de adsorção de sódio, ou RAS, exprime de maneira simples a proporção relativa de sódio em relação a soma do cálcio e do magnésio, através da fórmula $RAS = Na / \sqrt{(Ca+Mg)/2}$. que leva em consideração a valência dos íons em solução através da raiz quadrada dos bivalentes. Esta proporção relativa é responsável pelo processo de substituição dos cátions cálcio e magnésio pelo sódio no complexo de adsorção do solo, processo denominado sodificação. O Laboratório de Riverside (Richards, 1954), da mesma maneira que definiu classes de risco de salinização do solo sob irrigação, baseadas sobre o valor de CE, estabeleceu classes de risco de sodificação, baseadas sobre o valor da RAS.

Mas o efeito desses dois processos sobre o solo é muito diferente : de maneira talvez exageradamente esquematizada, pode-se dizer que a salinização consiste em uma simples acumulação de sais, que não alteram as propriedades do solo e podem ser removidos mediante a lavagem com águas suficientemente doces, enquanto a sodificação afeta não só as características químicas do solo, mas também as propriedades físicas, provocando a destruição da sua estrutura e piorando a drenagem interna, criando, assim, condições de autodesenvolvimento dos próprios processos de salinização e sodificação. O processo de sodificação não é irreversível, mas a recuperação de solos sodificados necessita técnicas especiais, que utilizam freqüentemente aplicação de corretivos, que a tornam difícil e onerosa.

apresentadas algumas comparações entre a salinidade de dois açudes na estação seca e na estação chuvosa, mostrando variação em proporções de 1 para 2 a 1 para 3.

A contribuição provavelmente mais significativa do trabalho de Leprun diz respeito às suas considerações sobre a geoquímica das águas. Comparando as concentrações e composições iônicas das águas superficiais e profundas, ele constatou que, na região cristalina, as águas são mais concentradas quanto maior for a profundidade, e apresentam aumento relativo mais importante dos cloretos, e com menor intensidade do sódio, à medida que se vão concentrando. Mas sobretudo, tomando como ponto de partida a relação constatada pelos hidrogeólogos entre a litologia dos terrenos e a geoquímica das águas subterrâneas armazenadas, ficou evidenciada uma relação demonstrativa entre a salinidade das águas de alguns riachos com os tipos de solos da bacia de recepção. Esta relação é apresentada na tabela 1.2. a seguir.

Tab. 1.2. Salinidade das águas de alguns riachos em relação ao tipo de solo da bacia de alimentação.

	Tipos de solos							
	AQ	LA	PV	V	PE	RE	SS	PS
CE(μ siemens/cm)	100	200	250	350	500	600	2800	4600
Cl-(mg/l)	30	45	50	75	100	150	1150	1400
Na+(mg/l)	15	25	40	50	55	70	550	750

Adaptado de Leprun (1983).

AQ= Areias Quartzosas, LA= Latosolos Vermelhos Amarelados,

PV=Podzólicos Vermelhos Amarelados, V= Vertisolos,

PE=Podzólicos Vermelhos Amarelados equiv. Eutróficos,

RE= Litólicos Eutróficos, SS= Solonetz Solodizados, PS= Planosolos Solodizados.

Os resultados em relação aos tipos de solos são suficientemente contrastados, não necessitando análise estatística para serem demonstrativos. Mas é conveniente considerar os valores relatados só como ordem de grandeza, por serem relativos a uma região bem restrita. O autor assinala que todas as amostras foram realizadas na mesma época, portanto com caráter homogêneo em relação à variação sazonal. Mas não se sabe como o conjunto de dados apresentado se situa em relação a esta variação sazonal. É neste sentido que os dados da tabela 1.2 foram arredondados a partir dos

dados originais (ao múltiplo de 50 mais próximo para CE e ao múltiplo de 5 mais próximo para as concentrações iônicas). Feita esta reserva, para prevenir o caso de eventual uso desses dados, o papel do tipo de solo na aquisição dos caracteres químicos das águas superficiais fica perfeitamente evidenciado e de maior interesse.

Se não existe, até hoje, outra avaliação abrangendo todos os tipos de águas superficiais e subsuperficiais no que diz respeito a salinidade, os conhecimentos relativos aos **pequenos e médios açudes**, deste ponto de vista, progrediram consideravelmente desde o trabalho de Leprun. Assim, Laraque (1991) publicou um trabalho sobre os comportamentos hidroquímicos desses açudes, com enfoque sobre a concentração por evaporação, e estabeleceu um modelo numérico capaz de simulá-la, para ser utilizado com fins de previsão.

O estudo foi realizado a nível de campo, baseado em uma amostragem de 59 açudes distribuídos em quatro estados do Nordeste (Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte), selecionados por serem os mais representativos possíveis, em relação à salinidade e aos fatores que a determinam. Foram levantadas as características desses açudes, bem como as de suas bacias de alimentação, e a evolução da salinidade foi estudada em 32 dos 59 existentes, através de amostragem mensal, durante dois anos, a partir de meados de 1987. As 455 amostras efetivamente tratadas apresentaram uma faixa de variação de salinidade de 47 a 46.000 μ siemens/cm, com uma média de 2.190, uma mediana de 450, e um RAS médio de 2,81. Esta caracterização global demonstrou que a metade das amostras menos salinizadas (abaixo da mediana) eram do tipo dominante bicarbonatado cálcico e sódico e a outra metade do tipo dominante cloretado sódico, permitindo estabelecer uma regressão $RAS = 0,251 \times CE^{0,799}$, com $R^2=0,70$.

Para as interpretações, o ponto de partida consiste em considerar os açudes como reservatórios cujas *entradas*, que trazem águas e sais, são : a chuva, o escoamento superficial, o escoamento interno pouco profundo (hipodérmico) e o escoamento mais profundo, caso existam lençóis locais. Nas várias formas de escoamento, as águas vão-se enriquecendo em sais, conforme a composição química dos meios em contato ou por elas atravessados, o tipo de minerais e o grau de alteração, e a velocidade que condiciona a duração do

contato. Os processos responsáveis por esta fase inicial de aquisição salina não foram medidos nem estudados em si (alguns testes simples foram realizados para verificar certas hipóteses), mas, a partir das caracterizações feitas nas bacias, o autor relaciona como fatores mais importantes da aquisição salina inicial : a cobertura pedológica, a superfície e a morfologia da bacia e a cobertura vegetal.

As *saídas* dos reservatórios se fazem através das infiltrações, das retiradas de água para qualquer forma de uso e da evaporação. Das três, as duas primeiras exportam conjuntamente água e sais na concentração do momento, enquanto a evaporação retira só a água e concentra a solução. Conforme as proporções das três saídas, a evolução salina poderá ser então muito diferente. Mas uma outra consequência é que só se poderá fazer uma previsão válida conhecendo essas proporções, o que implica, entre outras coisas, conhecer a batimetria e a forma do açude para se saber a que variação do volume corresponde uma determinada diminuição do nível de água.

Existe uma quarta *saída*, que corresponde à retirada de sais específicos em benefício do ciclo biogeoquímico, isto é, de um lado, a satisfação das necessidades dos vários organismos aquáticos e, do outro, a fixação nos sedimentos e as precipitações químicas de sais que ocorrem na medida em que se atingem concentrações mais elevadas que as solubilidades máximas. Desses fenômenos, os que têm o papel quantitativamente mais importante, em relação aos íons maiores que determinam a salinidade, são as precipitações químicas: estas interessam em primeiro lugar o íon cálcio, seguido pelo magnésio e, para uma fração reduzida e para as mais altas concentrações, o sódio. À eliminação de cálcio e magnésio, corresponde a precipitação de calcita, magnesita e dolomita, entre outros minerais. Os cloretos não sofrem nenhuma eliminação desta maneira e a massa de cloro se mostra perfeitamente conservativa. Estes processos explicam por que, à medida que as águas se concentram, o teor relativo em sódio aumenta e, sendo muito baixas as quantidades de sulfatos disponíveis, as águas se tomam cloretadas sódicas. De maneira simplificada, até a concentração de 2.000 μ siemens/cm, o aumento de concentração de todos os íons acompanha aproximadamente o dos cloretos. Acima de 2.000, os aumentos vão-se mostrar menores, aquele de sódio continuando a crescer, enquanto os teores de cálcio, magnésio e bicarbonatos

tendem a estabilizar-se, por serem controlados pelas precipitações. Um modelo teórico foi elaborado, baseado sobre os equilíbrios termodinâmicos que intervêm neste sistema. Trata-se de um modelo simplificado, na medida em que só leva em consideração dezoito espécies iônicas e a precipitação unicamente da calcita, mas permite simular a concentração salina observada nos pequenos e médios açudes, desde que se conheça com suficiente precisão o fator real de concentração da água, isto é, a fração de água evaporada em relação às outras perdas.

Para tudo que se relaciona com a avaliação das infiltrações e da evaporação, os trabalhos de Molle (1989, 1990, 1991a) constituem hoje uma referência básica e o Manual do Pequeno Açude (Molle, 1992) reagrupa, de forma prática, todas as técnicas disponíveis para essas avaliações.

Finalizando com os pequenos e médios açudes, é imperdoável se ter hoje problemas de salinidade quando se pratica uma irrigação com este tipo de água. De fato, existem muitas ferramentas que permitem avaliar o potencial deste tipo de recurso, no que diz respeito à qualidade e à quantidade, e, depois de feita a avaliação, escolher o tipo de exploração e o manejo mais apropriado. Esta avaliação necessita trabalhos de levantamentos e algumas análises, mas tem retorno garantido quando comparada ao investimento feito em um perímetro irrigado que se torna um fracasso.

O caso de se decidir sobre a construção de um pequeno ou médio açude visando utilizar suas águas para irrigação é um pouco mais delicado. A hidrologia das pequenas bacias é suficientemente conhecida para se calcular a quantidade de água que essa bacia irá colocar a disposição do açude. Por outro lado, existem, também, normas de dimensionamento de açudes para se minimizar o risco de salinização por evaporação. Neste sentido, apenas um parâmetro se toma desconhecido: a qualidade inicial das águas provenientes da bacia, que têm a tendência de se tomarem cada vez mais concentradas no açude. A natureza dos solos da bacia fornece indicadores dessa qualidade inicial, mas estes ainda são de caráter muito grosseiro. Neste caso, recomenda-se analisar a água dos rios que irão alimentar o açude, antes mesmo de se tomar a decisão de construí-lo. Isto deve ser planejado para contemplar, ao longo de pelo menos um ciclo hidrológico, algumas sucessões características

(início de escoamento-enchente-recessão), de maneira a poder integrar estas variações às várias escalas de tempo.

1.4. Conclusões.

Afinal, a salinidade que afeta as águas do Nordeste, limitando o seu potencial de uso, e que foi às vezes apresentada como mais uma calamidade imprevisível, não tem nada de misteriosa. Mesmo se ficam ainda algumas particularidades não totalmente esclarecidas, como a origem dos cloretos, os conhecimentos gerais relativos à origem dos outros íons a partir da hidrólise dos minerais das rochas e dos solos, e os relativos aos fenômenos de concentração, especialmente por evaporação, acumulação e regulação por processos biológicos e geoquímicos, fornecem um *quadro de interpretação geral* perfeitamente satisfatório, cada dia recebendo confirmações e adaptações às condições específicas da região.

Ainda fica muito a ser realizado no tocante a se identificar e quantificar como se combinam esses processos a *nível local* e para se dispor de ferramentas de avaliação aplicáveis caso a caso. Pois, na natureza, tudo se torna complexo: o papel do tipo de solo sobre a salinidade das soluções que geram uma bacia foi evidenciado através de amostras realizadas em riachos provenientes de pequenas bacias com solos homogêneos. A jusante, estas bacias se unem formando bacias maiores e mais complexas. Ora, o estudo integrado de uma bacia na região de Sumé (Molinier e al., 1989) demonstrou claramente que, quando se abrange progressivamente um espaço maior, os fluxos de água (e solutos) não correspondem à simples soma dos fluxos observados às escalas que se pretende integrar, pelo fato de existirem interações entre os subconjuntos integrados. Em três anos de trabalho, foi estabelecido um modelo adequando os fluxos às várias escalas e quantificando-os em ordem de grandeza. Tal modelo constitui, sem dúvida, um precioso subsídio para planejar a exploração das bacias de solos brunos não cálcicos da região. Trata-se todavia, de um guia para interpretar observações de campo de uma bacia, e não de um modelo numérico (com o qual sempre se sonha, apesar de ser um sonho bastante ilusório) que, a partir de alguns parâmetros colocados em um microcomputador, solucionaria tudo em alguns minutos.

Que se trate de um lençol, um açude ou ... um solo em curso de salinização sob irrigação, o problema da avaliação, da dinâmica e do balanço da água e de sais não é de natureza diferente : é necessário que o objeto - considerado como um reservatório - seja delimitado com precisão, conhecendo-se as suas condições iniciais, identificando e quantificando os processos responsáveis pelos fluxos internos que variam no espaço e no tempo, e conhecendo os fluxos de entrada e saída que ocorrem nos limites do volume delimitado. Os trabalhos apresentados sobre pequenos e médios açudes não prosseguiram de outra maneira. Mas a dificuldade do alcance dos parâmetros indispensáveis é muito diferente para as várias fontes de água. O caso dos açudes é particularmente favorável para se conhecer o volume do reservatório, e para serem avaliadas as entradas e saídas do sistema. Exatamente o contrário ocorre com os lençóis, especialmente os lençóis aluviais, instalados em estrutura sedimentar, que podem ser extremamente complexos.

Isto nos leva a concluir que para este tipo de fonte de água, mesmo se os processos de concentração mereçam ser estudados em si, a avaliação quantitativa e qualitativa dos recursos vai depender de outros procedimentos, como levantamentos regionais e inventários de tipo estatístico.

CAPÍTULO 2

O CONJUNTO DE ÁGUAS ESTUDADAS

2.1. Localização geográfica.

Como já foi exposto, os estados que participaram deste levantamento de qualidade das águas de irrigação foram o Ceará, a Paraíba, Pernambuco e o Rio Grande do Norte. Para a sua realização, foi aproveitada a infra-estrutura já existente do PDCT/NE, criada pelas Universidades, para dar a assistência técnica aos pequenos produtores. Este fato pode ter gerado alguns problemas de representatividade regional no tocante às águas disponíveis para uso na pequena irrigação, uma vez que o PDCT, para a escolha das propriedades, adotou critérios que não levaram em consideração os tipos de fontes de águas.

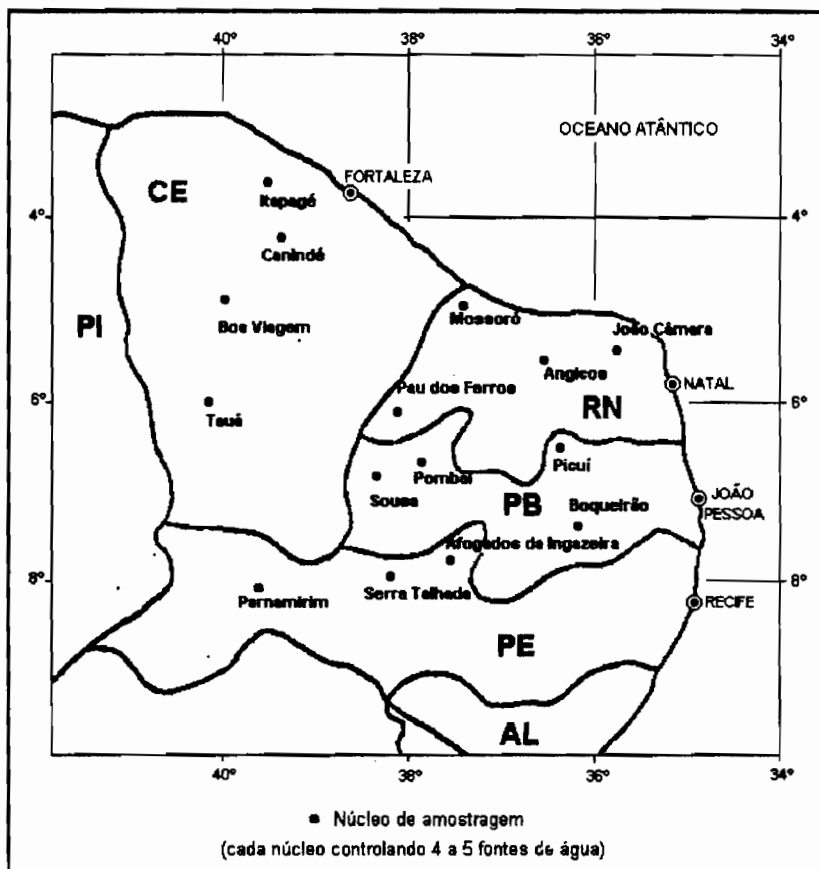
A figura 2.1 representa a localização dos núcleos de amostragem. O termo "núcleo de amostragem" corresponde à infra-estrutura do PDCT/NE, organizada na base de pequenas unidades locais chamadas de núcleos, compostos por uma equipe técnica responsável pelo atendimento a quatro ou cinco pequenas propriedades, localizadas em um raio de, aproximadamente, 25 quilômetros ao redor da sede do núcleo. O número de núcleos por estado variou de três a quatro.

No total, o número de fontes de águas estudadas foi de 71, concentradas na vizinhança de 15 núcleos.

Este total não inclui dois poços tubulares profundos que foram amostrados no Rio Grande do Norte, na formação Potiguar, limitando-se o presente trabalho a analisar as águas superficiais e os lençóis aluviais do cristalino.

Fig. 2.1.

LOCALIZAÇÃO DAS FONTES DE ÁGUA ESTUDADAS



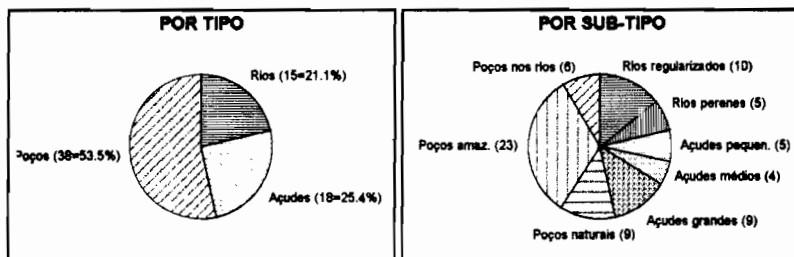
Do ponto de vista climático, todas as fontes estudadas foram localizadas na zona semi-árida do Sertão.

2.2. Tipos de fontes, freqüência de amostragem, número de amostras e análises realizadas.

O gráfico 2.2 e a tabela 2.1, a seguir, relacionam os tipos de fontes hídricas estudadas.

Fig. 2.2.

REPARTIÇÃO NUMÉRICA DAS FONTES DE ÁGUAS ESTUDADAS



Tab. 2.1. Repartição numérica das fontes de águas estudadas.

Tipo	Subtipo	Número	Total	Total geral
RIOS	Rios regularizados (1)	10	15	71
	Rios perenes (2)	5		
AÇUDES	Açudes pequenos	5	18	
	Açudes médios	4		
	Açudes grandes (3)	9		
POÇOS	Poços naturais	9	38	
	Poços amazonas	23		
	Poços nos rios	6		

(1) As 10 ocorrências de Rios regularizados se distribuem assim: uma no Ceará (Prop. Tiasol); cinco em Pernambuco (Prop. Arara; Juá e Poço da Volta; Rio Pajeú; Prop. Palestina e Cacimba do Meio; Rio Brígida); três no Rio G. do Norte (Prop. Barra do Catolé; Rio Flexa; Maracajá e Monte das Graças; Rio Ceará-Mirim) e uma na Paraíba (Prop. São João: rio regularizado pela Barragem de São Gonçalo)

(2) As 5 ocorrências de Rios perenes se distribuem assim: uma na Paraíba (Prop. Serraria: Rio Bodocongó) e quatro no Rio G. do Norte (Prop. Paraíso: Rio Maranguape; Prop. Santana e Lagoa de Pau: Rio Mossoró e Prop. Cana Brava: Rio Cana Brava)

(3) As 9 ocorrências de Açudes grandes se distribuem assim: uma no Ceará (Prop. São José/Itapagé: Açude Caxitoré), quatro na Paraíba (Serra do Pituassu, Campo Redondo, Curtume e Forquilha do Rio: Açude de Boqueirão); três em Pernambuco (Prop. Barro Vermelho e Poço do Moleque: Represa no Rio Pajeú; Prop. Passagem de Pedra: Açude Terra Nova) e uma no Rio G. do Norte (São José/João Câmara: Açude Poço Branco).

Esses números correspondem aos pontos de amostragem, mas vários desses pontos podem ser localizados em um mesmo rio ou um mesmo açude.

Constata-se que **os vários tipos de poços constituem 54%** do conjunto de águas (**23 poços amazonas representam 32%** desse total) e **os açudes 25%**, englobando todos os tamanhos, ficando apenas **21% para os rios**.

Se a **terminologia** é clara para os rios, merece alguns esclarecimentos para os açudes, por existirem várias definições em relação à capacidade, e para os poços, por utilizar termos regionais.

Existem na literatura definições as mais diversas em relação à **capacidade dos açudes**. Para o DNOCS, em edição de 1909, um grande açude é aquele que acumula um volume de água superior a 10 milhões de m³ e que tem uma profundidade superior a 6 m; um médio açude é aquele com capacidade variando entre 2 e 10 milhões de m³ e uma profundidade inferior a 5 m e um pequeno é aquele com capacidade superior a 500 mil m³ e uma profundidade mínima de 4 m. Guerra (1934, citado por Molle, 1991b) considera um pequeno açude aquele que seca ou quase seca a cada ano; o açude médio aquele que pode suportar um inverno sem receber água, antes de chegar na mesma situação do exemplo anterior e, o grande açude, aquele que resiste mais ainda a estes limites sem secar.

Molle (1991b) destaca que o pequeno açude é o mais comum na região mas que, pela probabilidade de secar, não pode ser a única fonte de água na propriedade e, conseqüentemente, é de pouca utilidade na luta contra as secas; o açude médio possui um volume um pouco maior, resistindo a 20 meses sem receber água. Já o

grande açude tem a característica de ser perene e geralmente público.

Para o nosso estudo, concordamos plenamente com as citações da literatura no tocante ao grande açude. Já com relação ao pequeno e ao médio, levamos em consideração, de maneira subjetiva, seus volumes, baseados, principalmente, nos conceitos dos próprios agricultores que participaram do PDCT.

No tocante a poços, fazemos algumas distinções de acordo com a sua localização (se no leito do rio ou situado no aluvião próximo às suas margens) e com a sua forma de construção. São chamados poços amazonas ou cacimbões aqueles construídos em alvenaria e escavados no aluvião próximo aos rios, ou mesmo em seus leitos. Normalmente, possuem de 4 a 6 m de diâmetro e têm vazões reduzidas (4 - 5 m³/h). Já os poços naturais são aqueles localizados em depressões nos leitos dos rios, não necessitando da interferência do homem em trabalhos de alvenaria. Às vezes, para satisfazer melhores condições de uso, faz-se necessário aprofundar este tipo de fonte para atingir o lençol e facilitar o acesso à água. Estes tipos de poços também são conhecidos por cacimbas. Afinal, dois tipos de ocorrências de águas são exploradas através dos poços: os poços amazonas exploram o **aquífero aluvial**, enquanto os poços naturais e os nos rios, localizados no alvéolo dos rios e, entre os quais a distinção as vezes é muito sutil, exploram o **escoamento subalveolar**.

A duração do estudo foi de 2 anos a partir de fevereiro/março de 1988, **com uma frequência de amostragem mensal**. No primeiro ano, foram realizadas análises completas das águas (CE, resíduo seco, pH, dureza, Cl⁻, HCO₃⁻, CO₃²⁻, SO₄²⁻, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺, Na⁺), de maneira a permitir o estudo da composição iônica e o cálculo do RAS. No segundo ano, só foi medida a CE, limitando-se o estudo à análise da variação sazonal de salinidade global. Todas as análises foram feitas no mesmo laboratório (Laboratório de Solo e Água do Geogrupo Engenharia Ltda, Recife, sendo a química Ma. Regina B. de Oliveira responsável pelas análises), de maneira a garantir a homogeneidade dos resultados. As amostragens no campo foram associadas à observação sobre o comportamento das culturas irrigadas e seguidas, quando possível, de medições complementares do nível de água da fonte e da chuva.

Conforme exposto, o número de amostras com análise completa deveria ser de $71 \times 24 = 1.704$, e o número de pares mínimo-máximo anuais deveria ser de $71 \times 2 = 142$. Devido a falhas na realização das amostragens e a eliminação de 2% dos resultados de análise julgados inconsistentes, esses números foram de 711 e 76 respectivamente.

Todos esses dados, após análise de consistência, foram colocados à disposição dos usuários e da comunidade científica, na forma de tabelas e gráficos, através de um relatório de 318 páginas (Suassuna e Audry, 1992), no qual pode-se encontrar mais detalhadamente a realização prática do trabalho, incluindo os métodos de análise utilizados, precisão dos resultados, método e resultados da análise de consistência.

Só vão ser lembrados, a seguir, os dados essenciais, no que diz respeito à **precisão dos resultados da análise**, por serem parâmetros de maior importância para a interpretação dos mesmos. Os parâmetros CE , Cl^- , Na^+ e K^+ apresentam uma excelente precisão com erro relativo inferior a 5%, qualquer que seja o nível de salinidade; SO_4^{--} apresenta também um erro relativo de menos que 5% nas faixas de salinidade baixas ($500 \mu\text{siemens/cm}$) e médias ($1.100 \mu\text{siemens/cm}$), mas este erro relativo chega a 30% nas faixas de salinidade alta ($1.800 \mu\text{siemens/cm}$); a soma $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ apresenta também um erro relativo de menos que 5% nas faixas de salinidade baixas e médias, chegando, porém, a 15% nas faixas de salinidade alta; Ca^{++} e Mg^{++} individualmente, apresentam um erro relativo de 10% nas faixas de salinidade baixas e médias e de 20% nas faixas de salinidade alta; o RAS, enfim, apresenta uma boa precisão, com erro relativo inferior a 5% nas faixas de salinidade baixas e médias e este erro relativo ainda fica regular, da ordem de 10%, nas faixas de salinidade alta.

2.3. Discussão sobre a representatividade da amostragem à escala regional.

É evidente que, em relação à imensidade e à variabilidade da região, uma amostragem de 15 pontos de estudo distribuídos sobre 11 rios, 18 pontos sobre 15 açudes (o número de açudes pequenos e médios no Nordeste é avaliado em 70.000) e de 38 poços parece não representativa.

Definir como realizar uma amostragem representativa, que dificilmente pode-se imaginar não estratificada em relação aos tipos de fontes e a alguns fatores nitidamente identificados como determinantes nos processos de salinização das águas, é no momento extremamente difícil, e mais difícil, ainda, avaliar quantos pontos de estudo deveriam ser contemplados, pois tal estimativa supõe já se ter uma primeira idéia da variabilidade total.

Nesta situação, é pelo menos interessante comparar entre si os resultados de algumas amostragens disponíveis, em termos de valores centrais e de dispersão. Esta comparação é apresentada nas tabelas 2.2 a 2.4, a seguir, considerando a salinidade global avaliada pela CE, que apresenta a vantagem de ser o parâmetro cuja medição pode ser feita com maior segurança.

Tab. 2.2. Comparação dos valores de CE (μ siemens/cm) para as diferentes amostragens relativas aos rios, realizadas na região.

AMOSTRAGEM do PRESENTE TRABALHO				
Número de Rios : 11				
Número de pontos de amostragem : 15				
Número de amostras : 251				
Média	Desvio padrão	Mediana	Mínimo	Máximo
883	691	670	130	3.900

AMOSTRAGEM de LEPRUN (1983)				
Número de Rios : ?				
Número de pontos de amostragem : ?				
Número de amostras : 27				
Média	Desvio padrão	Mediana	Mínimo	Máximo
592	794	-	6	3.395

Tab. 2.3. Comparação dos valores de CE (μ siemens/cm) para as diferentes amostragens relativas aos açudes, realizadas na região.

AMOSTRAGEM do PRESENTE TRABALHO				
Número de Açudes : 15				
Número de pontos de amostragem : 18				
Número de amostras : 336				
Média	Desvio padrão	Mediana	Mínimo	Máximo
819	584	750	100	4.000

AMOSTRAGEM de LEPRUN (1983)				
Número de Açudes : ?				
Número de pontos de amostragem : ?				
Número de amostras : 364				
Média	Desvio padrão	Mediana	Mínimo	Máximo
520	978	-	44	sup a 10.000

AMOSTRAGEM de LARAQUE (1991)				
Número de Açudes : 59				
Número de pontos de amostragem : 59				
Número de amostras : 455				
Média	Desvio padrão	Mediana	Mínimo	Máximo
2.191	-	450	47	46.000

Tab. 2.4. Comparação dos valores de CE (μ siemens/cm) para as diferentes amostragens relativas aos poços, realizadas na região.

AMOSTRAGEM de TODOS OS POÇOS do PRESENTE TRABALHO				
Número de Poços : 38				
Número de pontos de amostragem : 38				
Número de amostras : 600				
Média	Desvio padrão	Mediana	Mínimo	Máximo
1.216	1200	1.000	140	13.000

AMOSTRAGEM dos POÇOS AMAZONAS do PRESENTE TRABALHO				
Número de Poços amazonas : 23				
Número de pontos de amostragem : 23				
Número de amostras : 371				
Média	Desvio padrão	Mediana	Mínimo	Máximo
1.042	628	930	140	3.800

AMOSTRAGEM de CACIMBÕES de LEPRUN (1983)				
Número de Cacimbões : ?				
Número de pontos de amostragem : ?				
Número de amostras : 52				
Média	Desvio padrão	Mediana	Mínimo	Máximo
1.142	1.641	-	117	7.910

AMOSTRAGEM de POÇOS POUCO PROFUNDOS de LEPRUN(1983)				
Número de Poços : ?				
Número de pontos de amostragem : ?				
Número de amostras : 27				
Média	Desvio padrão	Mediana	Mínimo	Máximo
1.150	890	-	96	4.000

É notável e gratificante constatar que, fora o caso dos açudes de Laraque, as amostragens comparadas apresentam parâmetros centrais com mesma ordem de grandeza, variando entre si ao máximo de 40%; pelo contrário, os valores extremos, principalmente os valores máximos, são bastante variáveis (atingindo até a razão de 1 para 4), fora o caso dos rios. Retomando ao caso da amostragem de Laraque, vale salientar que o autor procurou abranger a maior faixa possível de salinidade dos açudes, inclusive dos mais salinizados, fazendo com que a média da amostragem se mostrasse muito alta, sem afetar a mediana. Esses casos de extrema salinidade não caíram nas amostragens do presente trabalho, que procurava águas de irrigação, nem no de Leprun, cujas 300 amostras do Projeto Sertanejo foram selecionadas na mesma base.

Uma *última comparação* deve ser feita. Em uma tese desenvolvida na Universidade Federal da Paraíba, em Campina Grande^(*), Silva (1993) comparou um conjunto de resultados de análises químicas de 517 amostras de águas da amostragem do GAT (ou seja, um sub-conjunto do presente trabalho, correspondendo aos estados do Ceará, da Paraíba e do Rio Grande do Norte), com um conjunto de dados analíticos relativos a 599 amostras, extraídos dos arquivos do Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) da universidade, e provenientes dos mesmos estados mas de outras localidades. A comparação considerou principalmente as *composições iônicas* e consistiu, em particular,

(*) Duas teses de pós-graduação foram realizadas naquela universidade sobre uma parte dos dados do presente trabalho, correspondendo às águas coletadas nos estados do Ceará, da Paraíba e do Rio Grande do Norte. Os autores agradecem ao Professor Hans Raj Gheyi, que orientou esses trabalhos, pela colaboração.

em verificar se as regressões estabelecidas a partir do conjunto GAT permitiam calcular, para o conjunto LIS a partir da CE, as principais características químicas úteis para avaliação da qualidade de águas para uso em irrigação. O resultado obtido é que apenas 9% dos valores calculados saíram do intervalo de confiança inicial de 95%.

Afinal, se a representatividade da amostragem estudada não pode ser avaliada com precisão, existe uma serie de argumentos levando a pensar que é provavelmente melhor do que se esperava.

2.4. Trabalhos já realizados sobre a amostragem das águas do GAT.

Além da comparação acima relacionada, o trabalho mencionado confirmou que a composição das águas do Nordeste é de tipo bicarbonatado misto, para as concentrações mais baixas e passa a cloretado sódico, quando cresce a salinidade.

O trabalho de Medeiros (1992), além de estabelecer as regressões acima mencionadas entre características químicas das águas, e constatado o aumento relativo dos cloretos e do sódio com a concentração, trouxe dois outros tipos de resultados: 1) no que diz respeito aos caracteres limitantes para uso das águas em irrigação, examinados na base dos vários sistemas de classificação empíricos existentes, chegou à conclusão de que, além do risco freqüente de salinização (2/3 das fontes de água consideradas), 25% das fontes das águas provenientes do Ceará e do Rio Grande do Norte apresentam restrição severa de uso devido à toxidez de cloreto; 2) analisando a evolução dos solos após vários anos de irrigação com as águas estudadas em 25 propriedades, e deixando de lado um caso de solo já sodificado antes de ser irrigado, constatou que, de um modo geral, os solos apresentam aumento do estado de salinização e de sodificação mas que o processo de sodificação é bastante lento, o estado dos solos ainda não se encontrando em equilíbrio com a percentagem de sódio das águas; enfim, no total, constatou 5 casos de problemas de caráter salino e/ou sódico.

CAPÍTULO 3

CARACTERIZAÇÃO GERAL DAS ÁGUAS DAS PROPRIEDADES DO GAT

Comparação entre os vários tipos de fontes

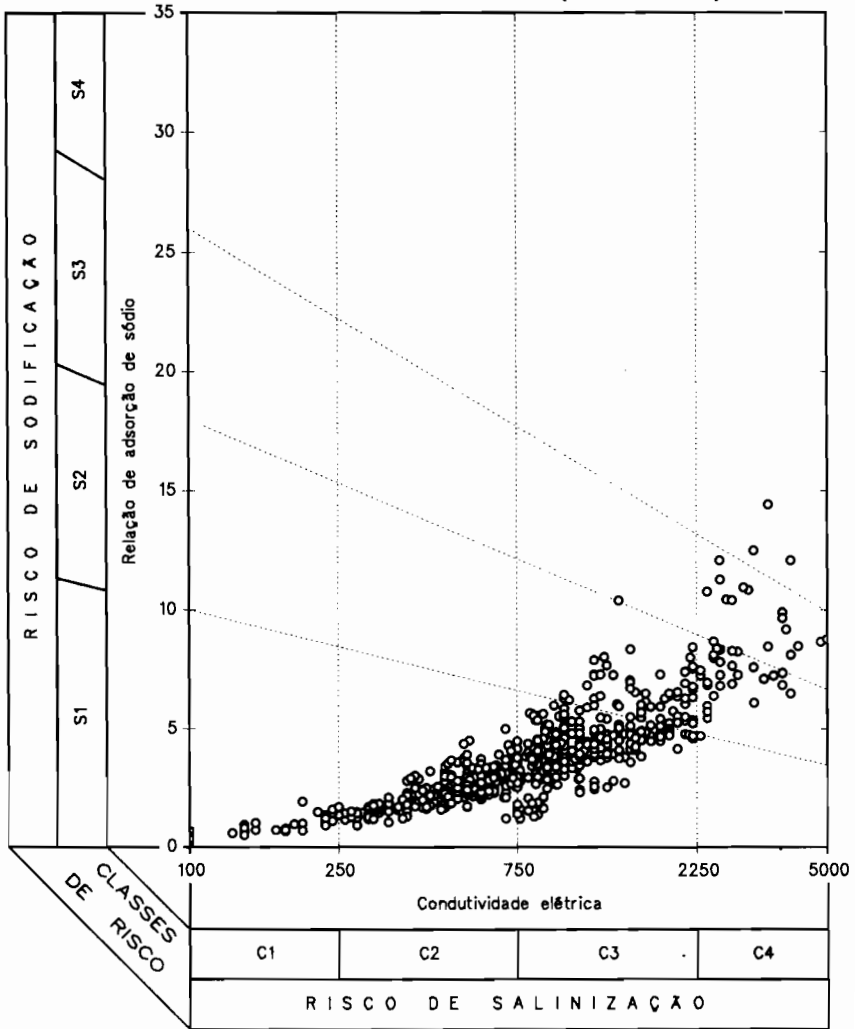
3.1. Parâmetros estudados e procedimento utilizado para esta caracterização.

O trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade das águas, com vista ao seu uso para irrigação, através da análise da **condutividade elétrica (CE)** e da **razão de adsorção de sódio (RAS)** que são os dois parâmetros mestres para se tentar esta caracterização: o primeiro representa a concentração global em sais e o segundo integra de maneira sintética a composição iônica. Esses dois tipos de informação permitem, conforme exposto anteriormente, de um lado, avaliar onde se situa um determinado tipo de água em relação aos processos de concentração e, de outro lado, avaliar a sua qualidade para uso na irrigação em termos de **riscos de salinização e de sodificação**.

É bom lembrar, por ser mais concreta, a definição, devida ao Laboratório de Riverside (Richards, 1954), das classes de riscos já evocadas, com as limitações de cada classe em termos de uso das águas na irrigação.

Fig. 3.1.

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS : RISCOS DE SALINIZAÇÃO E SODIFICAÇÃO
TODAS AS FONTES INDISCRIMINADAMENTE (711 amostras)**



Cf. USDA Laboratory Salinity, 1954

O gráfico 3.1, que será chamado a seguir de «gráfico de Riverside», consiste em uma representação semilogarítmica de RAS versus CE, e mostra a definição dessas classes: os limites entre as classes de risco de salinização C1, C2, C3 e C4 (C5 não figurada) correspondem aos valores de CE 250, 750, 2.250 e 5.000 μ siemens/cm; os limites das classes de risco de sodificação também são retas mas não verticais, significando dizer que: para a mesma RAS, o risco de sodificação é tanto maior quanto menor a CE; isto exprime que o poder dispersivo de um determinado teor relativo em sódio, que provoca degradações estruturais típicas da sodificação, é parcialmente compensado pelo poder floculante devido à força iônica da solução, ou seja, a concentração salina da água.

Os limites de uso na irrigação para as várias classes podem ser resumidos assim:

● **Risco de salinização :**

- C1 - salinidade baixa : águas utilizáveis sem problemas com a maioria das plantas e dos solos, fora aqueles com permeabilidade e/ou drenagem muito baixas;
- C2 - salinidade moderada : águas utilizáveis com todas as plantas, fora aquelas altamente sensíveis aos sais, e com a maioria dos solos, mas necessitando um controle efetivo da drenagem;
- C3 - salinidade média : águas apenas utilizáveis com plantas de boa tolerância aos sais, necessitando solos com permeabilidade de média para alta, manejo com aplicações de lâmina de lixiviação e controle de evolução da salinidade;
- C4 - salinidade alta : águas não utilizáveis em condições comuns. O seu uso necessita, conjuntamente, seleção de plantas de alta tolerância aos sais, solos de alta permeabilidade, drenagem perfeitamente eficiente, manejo com aplicações de lâmina de lixiviação devidamente calculadas e controle da evolução de salinidade;
- C5 - salinidade muito alta : utilização não totalmente impossível mas fortemente desaconselhada.

● Risco de sodificação :

- S1 - sodicidade baixa : águas utilizáveis sem problemas na maioria dos solos e das plantas, fora aquelas com alta sensibilidade ao sódio, como, por exemplo, o abacateiro;
- S2 - sodicidade média : águas utilizáveis na maioria dos solos com drenagem efetiva, mas já com possíveis problemas em solos pesados;
- S3 - sodicidade alta : risco efetivo de sodificação em praticamente todos os solos; o uso de tais águas necessita solos de permeabilidade alta, manejo com aplicações de lâmina de lixiviação suficiente e aplicação de adubação orgânica;
- S4 - sodicidade muito alta : utilização não totalmente impossível necessitando, porém, um manejo altamente sofisticado incluindo aplicação de corretivos; na prática, uso fortemente desaconselhado.

Em uma primeira etapa, será realizada, com base nesses dois parâmetros, uma ***análise estatística descritiva do conjunto de todos os dados coletados indiscriminadamente***, com duas finalidades : 1) realizar uma caracterização da população, e, também, detectar os dados de caráter excepcional que podem justificar sua eliminação das análises subseqüentes; 2) com base nos resultados desta análise, escolher um método que permita comparar os sub-conjuntos correspondendo aos vários tipos de fontes.

Após realizar esta ***comparação entre os vários tipos de fontes de água***, será realizada uma rápida análise complementar dos equilíbrios iônicos, no sentido de tentar trazer informações sobre os processos geoquímicos responsáveis pelas composições observadas, antes de concluir propondo ***algumas ferramentas práticas para avaliar a qualidade das águas a partir da medição da sua condutividade elétrica***.

3.2. Estatística descritiva do conjunto completo de dados.

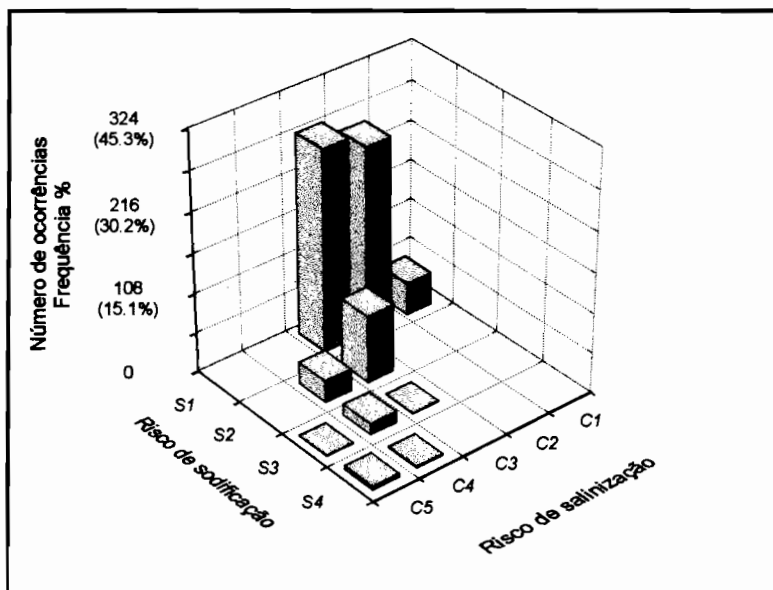
3.2.1. Distribuição conjunta dos riscos de salinização e sodificação.

Esta dupla distribuição, apresentada na figura 3.2 e na tabela 3.1, a seguir, mostra claramente que :

- a maioria das amostras (79,6%) se encontra na classe de risco de sodificação mínima S1:
 - uma pequena proporção (6,0%) se encontra na classe de risco de salinização C1 : são águas de ótima qualidade;
 - uma notável proporção (35,3%) se encontra na classe de risco de salinização C2 : são águas de boa qualidade;
 - uma proporção maior ainda (38,3%) se encontra na classe de risco de salinização C3 : são águas cujo o uso é limitado a solos com drenagem sem falha e a plantas resistentes aos sais, necessitando, ainda, um manejo cuidadoso baseado em lâmina de lavagem.

Fig. 3.2.

**DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA
DOS RISCOS DE SALINIZAÇÃO E SODIFICAÇÃO
DO CONJUNTO DE 716 AMOSTRAS ANALISADAS**



Tab. 3.1. Distribuição de freqüência dos riscos de salinização e sodificação do conjunto de 716 amostras analisadas.

		Riscos de Sodificação				Totais	
		S1	S2	S3	S4		
R i s c l o s n i d z e a ç	C1	número %	43 6,0	0	0	0	43 6,0
	C2	número %	253 35,3	0	0	0	253 35,3
	C3	número %	274 38,3	92 12,8	1 0,1	0	367 51,3
	C4	número %	0	30 4,2	15 2,1	2 0,3	47 6,6
	C5	número %	0	0	1 0,1	5 0,7	6 0,8
	Totais	número %	570 79,6	122 17,0	17 2,4	7 1,0	716 100,0

- uma proporção não negligenciável (12,8%) acumula as limitações dessa classe C3 com um risco de sodificação S2, o que torna o seu uso mais problemático ainda;
- enfim, o resto, ou seja, 7,6%, correspondem a águas imprestáveis para irrigação. Mesmo se uma planta, como o coqueiro, pode agüentar tais salinidades elevadas, o aproveitamento fica desaconselhado, pois, com a sodificação crescendo com a salinidade, existe risco de degradação do solo.

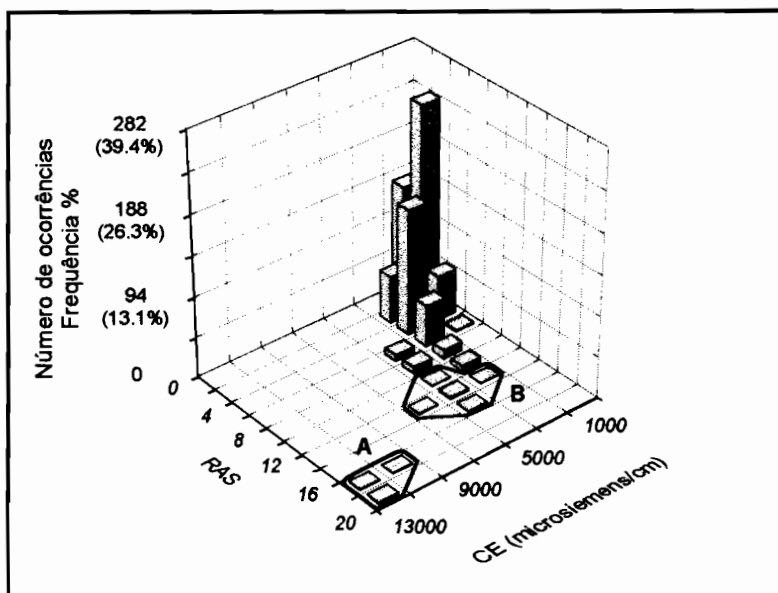
Estes casos de alto risco vão ser analisados a partir de um outro gráfico de freqüência conjunta, que, ao invés de separar a CE e o RAS conforme as classes de risco do laboratório de Riverside, utiliza, classicamente, iguais intervalos de classes.

Como mostra a figura 3.3, esta representação permite melhor separar as amostras de maior CE e RAS. Esses casos específicos foram examinados caso a caso:

- o conjunto A apresenta-se com CE superior a 9.000 μ siemens/cm e RAS superior a 16; considerando a relação do RAS vs CE mostrada na figura 3.4, esses valores elevados estão em continuidade do resto do conjunto menos concentrado.

Fig. 3.3

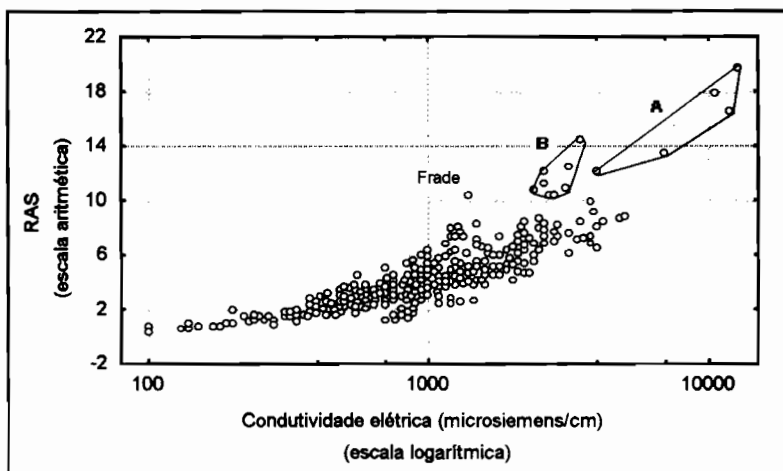
**DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA
DA SALINIDADE GLOBAL E DO RAS
DO CONJUNTO DE 716 AMOSTRAS ANALISADAS**



Todas as amostras correspondem à mesma propriedade, a de Porteiras (Núcleo de Picuí, Pb). A fonte de água era um açude que secou, e que, após secar, foi substituído por um poço amazonas. As amostras exprimem essas condições de extrema concentração por evaporação. É claro que este açude, devido aos riscos de esvaziamento, deve ser eliminado como fonte de água para irrigação de plantas perenes, sendo, no máximo, reservado para irrigar plantas de ciclo curto. Neste sentido, essas amostras de concentração excessiva não serão levadas em consideração para as interpretações futuras.

Fig. 3.4.

**RELAÇÃO ENTRE A RAZÃO DE ADSORÇÃO DE SÓDIO
E A CONDUTIVIDADE ELÉTRICA
PARA O CONJUNTO DE 716 AMOSTRAS ANALISADAS**



- o conjunto B corresponde também a uma única propriedade, a de São Vicente (Núcleo de Canindé, CE). Trata-se das águas de um poço amazonas, aparentemente igual a qualquer outro; mas essas águas, de CE mínima de 2.500 μ siemens/cm, atingem um máximo de 3.750; considerando o gráfico RAS vs CE da figura 3.3, essas amostras não saem da nuvem geral, mas se situam dentro daquelas que apresentam os valores de RAS relativamente mais elevados. A hipótese de uma composição mineralógica particular dos aluviões, para explicar esta particularidade, mereceria ser examinada em estudo de campo.

Voltando a examinar globalmente a relação da figura 3.3, a nuvem de pontos se apresenta bastante homogênea com uma dispersão aleatória comum, e um caso de RAS relativamente mais elevada para um poço natural situado na propriedade de Frade (Núcleo de Itapagé, CE).

3.2.2. Forma das distribuições de CE e RAS. Conseqüências para a escolha dos métodos de tratamento estatístico.

As distribuições examinadas acima são fortemente dissimétricas para a esquerda, onde se concentram os valores mais elevados (coeficiente de assimetria maior que 1). Como era de esperar em caso semelhante e como mostra a figura 3.5, apresentada para a CE como exemplo, uma transformação logarítmica da variável simetriza a distribuição e tende a normalizá-la.

A conseqüência é que a média, fortemente influenciada pelos valores elevados, é sempre superior a mediana e que afinal **a mediana caracteriza mais significativamente a população como valor central**, por não sofrer a influência dos valores extremos.

Fig. 3.5.

3.5.a. DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA EM ESCALA ARITMÉTICA

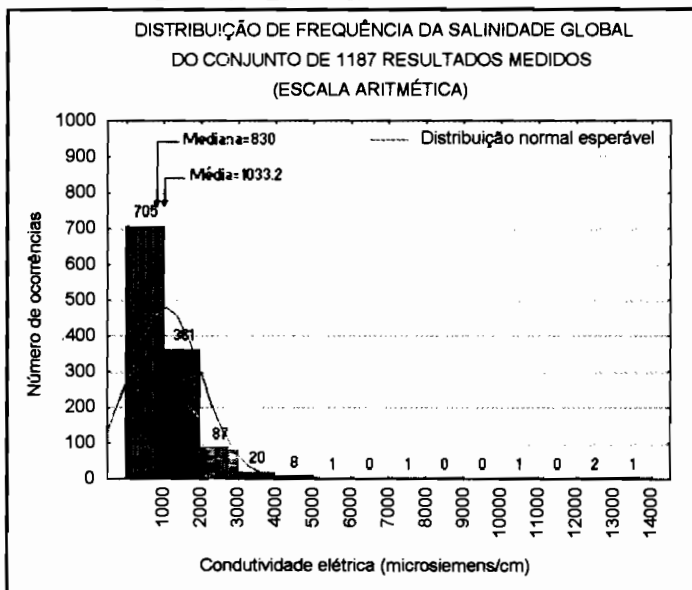
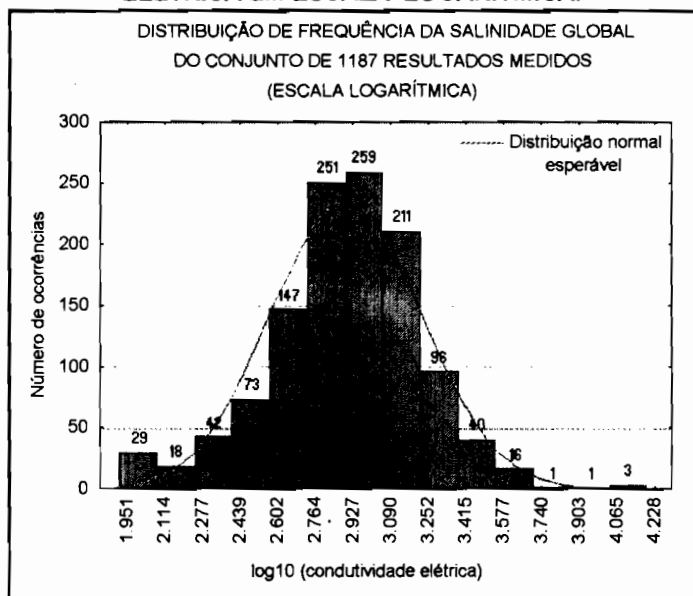


Fig. 3.5 (continuação).

3.5.b. DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA EM ESCALA LOGARÍTMICA.



Mas a nossa preocupação metodológica não é limitada a definir o valor central das populações correspondendo às várias fontes de água, mas também a dispersão ao redor deste valor central. Mais concretamente, trata-se de avaliar entre quais limites vai-se encontrar uma percentagem determinada de amostras. O cálculo clássico considera a população como normal para avaliar este intervalo, calculando uma distância simétrica de um lado e do outro da média, igual ao produto do desvio padrão por um fator específico da proporção que se pretende considerar. A outra abordagem possível é a aplicação dos métodos das estatísticas de ordem, que consistem simplesmente em utilizar os dados observados, sem nenhuma interpretação; se, por exemplo, se pretende avaliar o intervalo no qual se encontram 50% das amostras, eliminar-se-ão do conjunto de dados os 25% de valores menores e os 25% maiores. Fala-se neste caso de quartis (um quarto da população eliminada de cada lado) e de intervalo interquartil; os quartis são os quantis mais

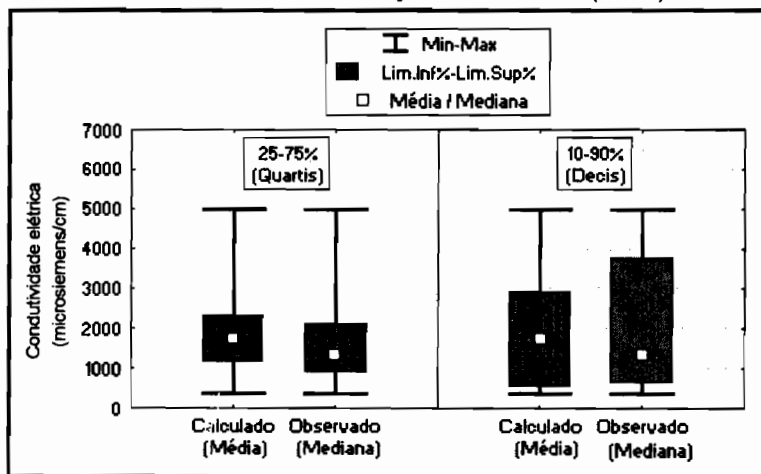
comumente utilizados; usa-se também o intervalo interdecil, que elimina um décimo da população a cada lado do valor central.

O método clássico apresenta a grande vantagem de permitir comparar várias populações entre si, aplicando testes de comparação das médias e das variâncias, com toda a segurança trazida pelo fato de ser juntamente avaliado o nível de probabilidade do risco de erro.

Os dois métodos geram resultados comparáveis quando a hipótese de normalidade é realizada; em caso contrário, os limites e intervalos calculados podem estar bastante longe da realidade, principalmente quando a variância for elevada devido a valores extremos muito afastados e/ou número reduzido de dados. Isto é justamente o caso da maioria dos sub-conjuntos da amostragem das águas do GAT. O gráfico 3.6, mostra a comparação dos dois métodos, para a condutividade elétrica, no caso bastante representativo da sub-população de poços nos rios, após eliminação dos valores extremos da propriedade Porteiras, superiores a 9.000 μ siemens/cm.

Fig. 3.6.

**COMPARAÇÃO DA MÉDIA, DA MEDIANA E DOS QUARTIS
CALCULADOS (Média \pm P. σ) E OBSERVADOS
VALORES DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA
DO SUB-CONJUNTO «POÇOS NOS RIOS» (N=63)**



Após ter sido constatado que as distribuições são sistematicamente assimétricas e que a hipótese de normalidade nunca é realizada, optou-se por usar os *métodos da estatística de ordem*, ou seja, *a mediana como parâmetro central e os intervalos interquartis como parâmetros de dispersão*.

Na realidade existia uma terceira opção: a de usar o método por cálculo, aplicando-o aos dados log-transformados para aproximá-lo mais da hipótese de normalidade. Isto foi descartado pelo motivo seguinte: a média logarítmica de 100 e 10.000 é 1.000, enquanto a média aritmética é 5.050. Sem poder afirmar que a reação de uma planta ou de um solo seja linear em relação a salinidade, tudo leva a considerar que essa reação é melhor aproximada pela média aritmética.

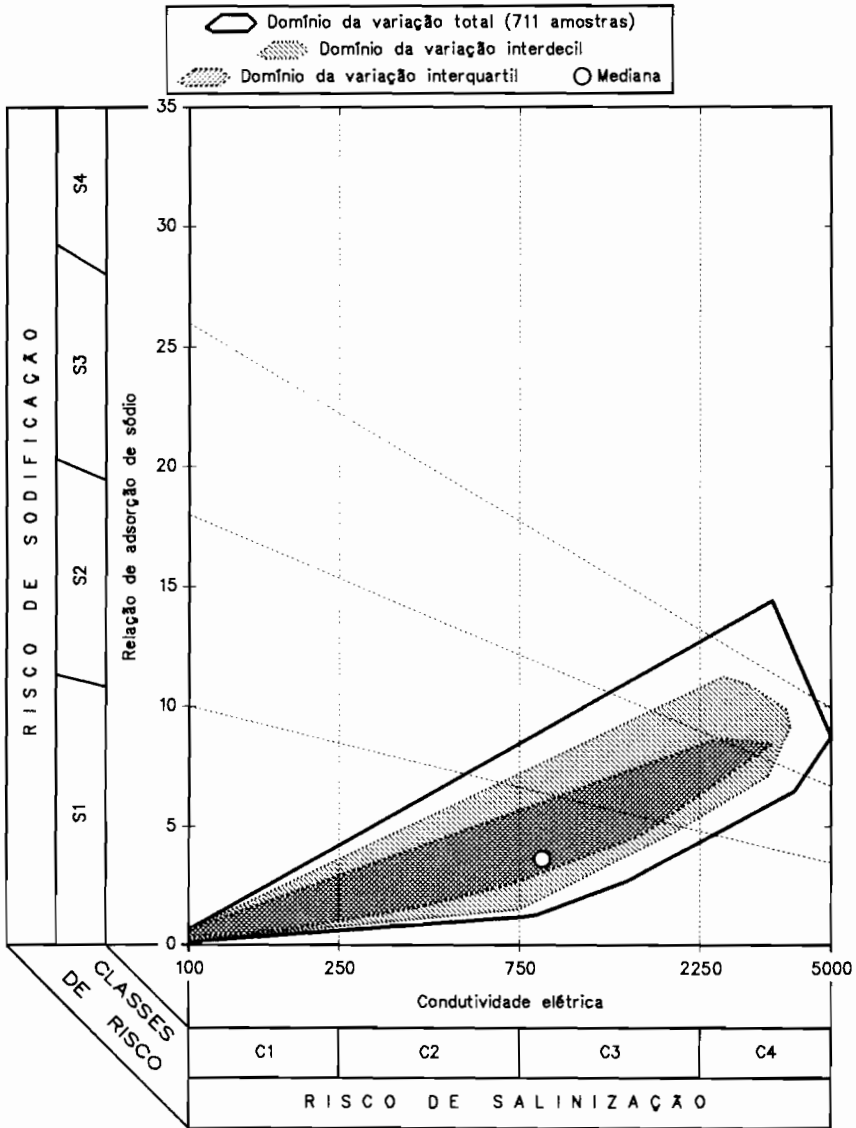
Em termos práticos, as comparações entre os vários tipos de fontes de água serão feitas confrontando-se as medianas e os intervalos interquartis, sendo as representações gráficas de maior ajuda. Quando se tratar de comparar um parâmetro entre várias populações, se utilizará o clássico «box and whisker plot» (figura 3.6). Tal será o caso do estudo da variação sazonal de salinidade, baseado unicamente sobre os dados de condutividade elétrica.

No caso de se caracterizar e comparar globalmente a qualidade das águas para uso na irrigação, o problema é mais complicado, por se tornar bidimensional, na medida em que se deve comparar conjuntamente a salinidade global e o RAS. Para isto, existe um método gráfico, raramente utilizado apesar de já em 1976 ter sido sugerido por Tukey (Exploratory Data Analysis). O princípio do método é simples: consiste em calcular os limites correspondendo ao quantil escolhido, sucessivamente e por classes^(*), sobre a variável X e sobre a variável Y. O conjunto de limites obtidos define o domínio de variação quantil procurado. De um ponto de vista técnico, o uso deste método requer um número suficiente de dados para se determinar os domínios interquartis. Como este número suficiente nem sempre é disponível para os sub-conjuntos que se pretende caracterizar e comparar, os domínios interdecis serão a

(*) O número de classe foi calculado pela fórmula $10 \times \log_{10}(NT/10)$, onde NT corresponde ao número total de amostras e as classes foram definidas na base de equifreqüência.

Fig. 3.7.

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS : RISCOS DE SALINIZAÇÃO E SODIFICAÇÃO
TODAS AS FONTES INDISCRIMINADAMENTE**



Cf. USDA Laboratory Salinity, 1954

base das comparações na continuação deste trabalho. Esta exigência de um número de dados suficiente se explica pelo fato de que, aplicado a uma só variável, o intervalo interdecil, por exemplo, consiste em conservar exatamente os 80% de valores centrais, mas a duas variáveis, a proporção de dados conservados pode variar entre 80%, se os processamentos sobre X e Y eliminam os mesmos dados, e 60% se os dois processamentos não eliminam nenhum dos dados comuns. Isto depende do grau de correlação entre X e Y.

A figura 3.7 mostra o resultado deste processamento aplicado ao conjunto completo de dados CE-RAS disponíveis, com todos os tipos de fontes, já apresentados conjuntamente na forma de nuvem de pontos na figura 3.1.

Constata-se que o limite dos domínios foram desenhados na forma de polígonos convexos. Mediante hipótese sobre a forma da curva exprimindo a relação SAR vs CE, seria possível limitar os domínios de maneira a acompanhar a curvatura indicada pela nuvem de pontos; mas, propositadamente, não foi apresentada nenhuma hipótese que possa em alguns casos introduzir um erro.

A localização dos domínios interquantis, enfim, mostra-se nitidamente assimétrica no sentido vertical, devido ao fato de que, ao contrário da escala logarítmica usada para a CE, a escala para o RAS é aritmética, enquanto a distribuição é igualmente assimétrica.

3.3. Comparação entre as águas dos vários tipos de fontes.

3.3.1. Comparação entre rios, açudes e poços.

As interpretações vão-se apoiar nos gráficos 3.8, 3.9, 3.10 e 3.11 (páginas seguintes), enquanto os parâmetros essenciais para essas três categorias de fontes, isto é, a mediana e os extremos para a condutividade elétrica e a razão de adsorção de sódio, são apresentados nas tabelas 3.2a e 3.2b a seguir.

Tab. 3.2a. Medianas e extremos de CE para os rios, os açudes e os poços.

	Número de amostras	CE (μ siemens/cm)		
		Mediana	Mínimo	Máximo
Rios	141	650	150	2.900
Açudes	190	725	100	4.000
Poços	380	1.050	140	5.000
«Todas as Fontes»	711	860	100	5.000

Tab. 3.2b. Medianas e extremos de RAS para os rios, os açudes e os poços.

	Número de amostras	RAS		
		Mediana	Mínimo	Máximo
Rios	141	2,3	0,9	7,3
Açudes	190	3,3	0,1	12,1
Poços	380	4,1	0,5	14,4
«Todas as Fontes»	711	3,6	0,1	14,4

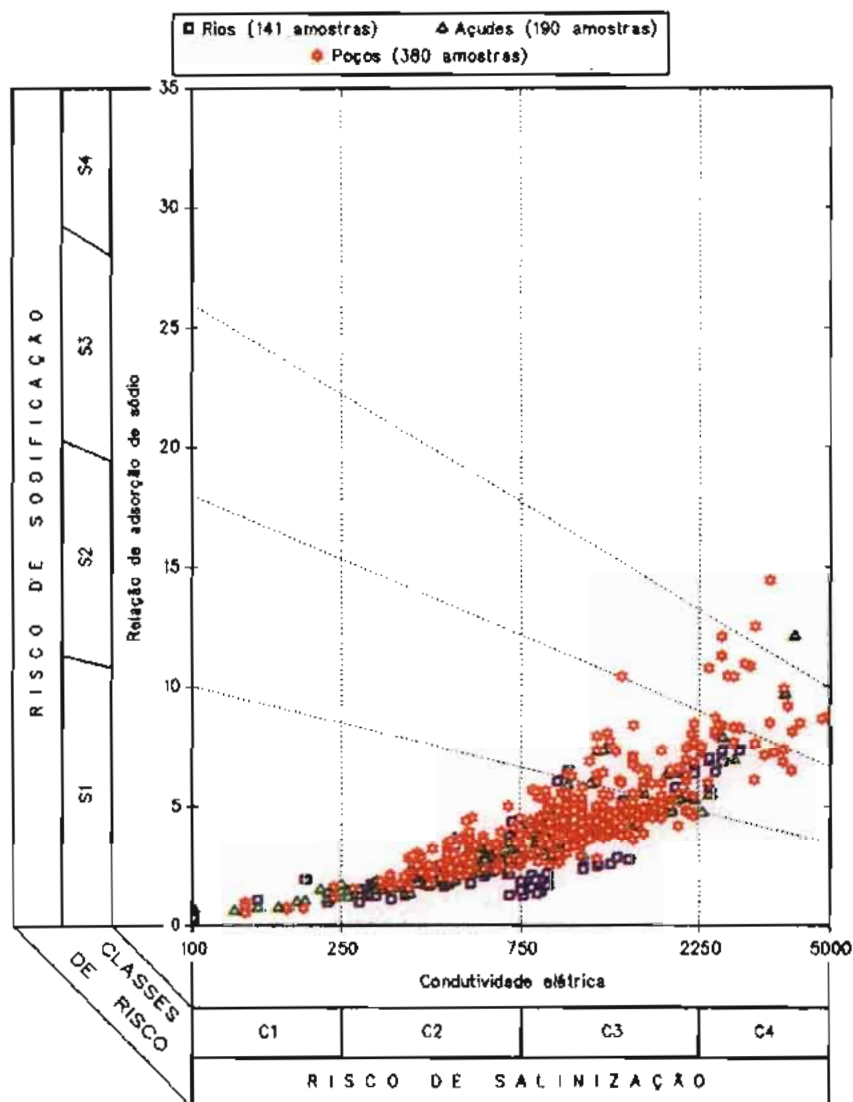
Estas duas tabelas mostram que as medianas e os valores máximos tanto da salinidade global como da sodicidade(*) crescem na ordem - rios, açudes e poços. Os mínimos não mostram esta ordenação, mas se situam em níveis muito baixos, de ordens de grandeza comparáveis para os três conjuntos. Enfim, os domínios de variação se superpõem amplamente.

A clássica nuvem de pontos RAS vs CE da figura 3.8, que representa, com símbolos e cores diferentes, os dados correspondentes a essas três categorias de fontes, mostra-se bastante confusa pelo fato de que, com as 711 amostras processadas, numerosos pontos se superpõem e, o que é mais enganador, os últimos pontos plotados - os dos poços - mascaram os primeiros e dão a impressão de predominar fortemente.

(*) Por comodidade e apesar de não serem totalmente corretos, o termo de sodicidade e o qualificativo sódico serão utilizados, a seguir, para exprimir o nível de RAS das águas.

Fig. 3.8.

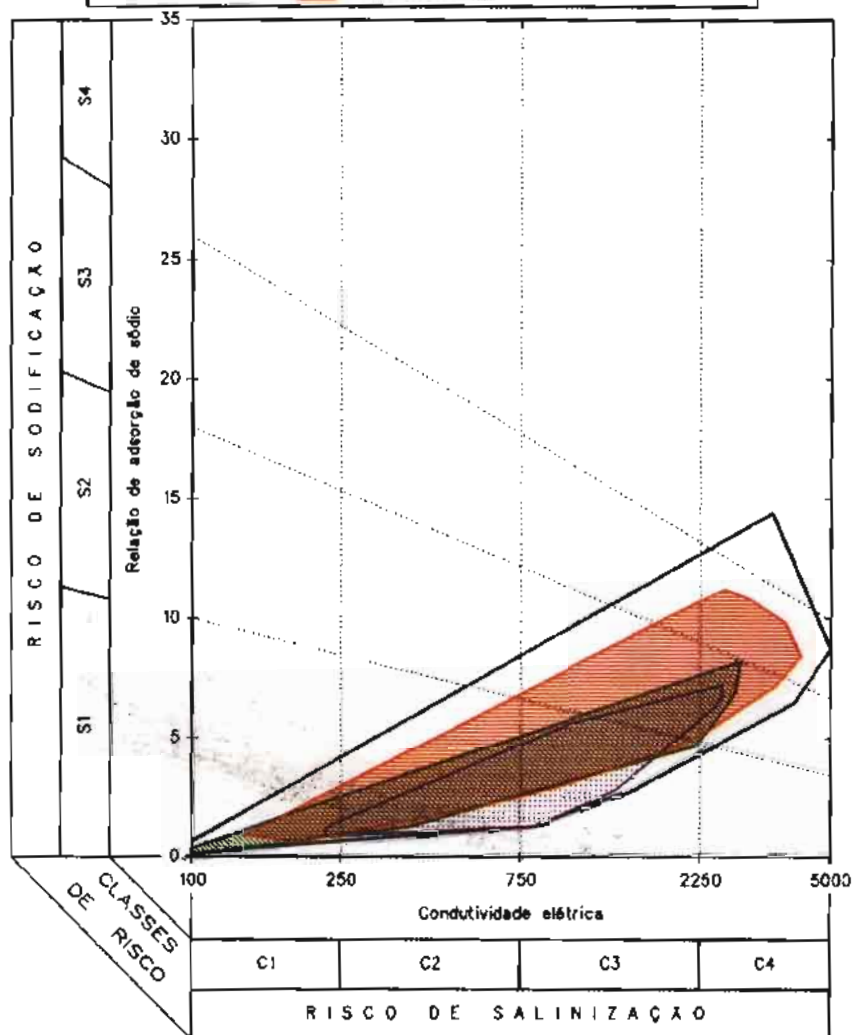
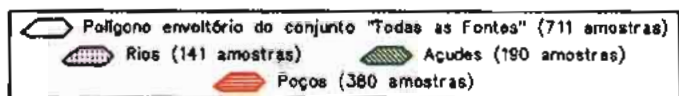
AVLIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS : RISCOS DE SALINIZAÇÃO E SODIFICAÇÃO
 DADOS RELATIVOS A TODAS AS FONTES



Cl. USDA Laboratory Salinity, 1954

Fig. 3.9.

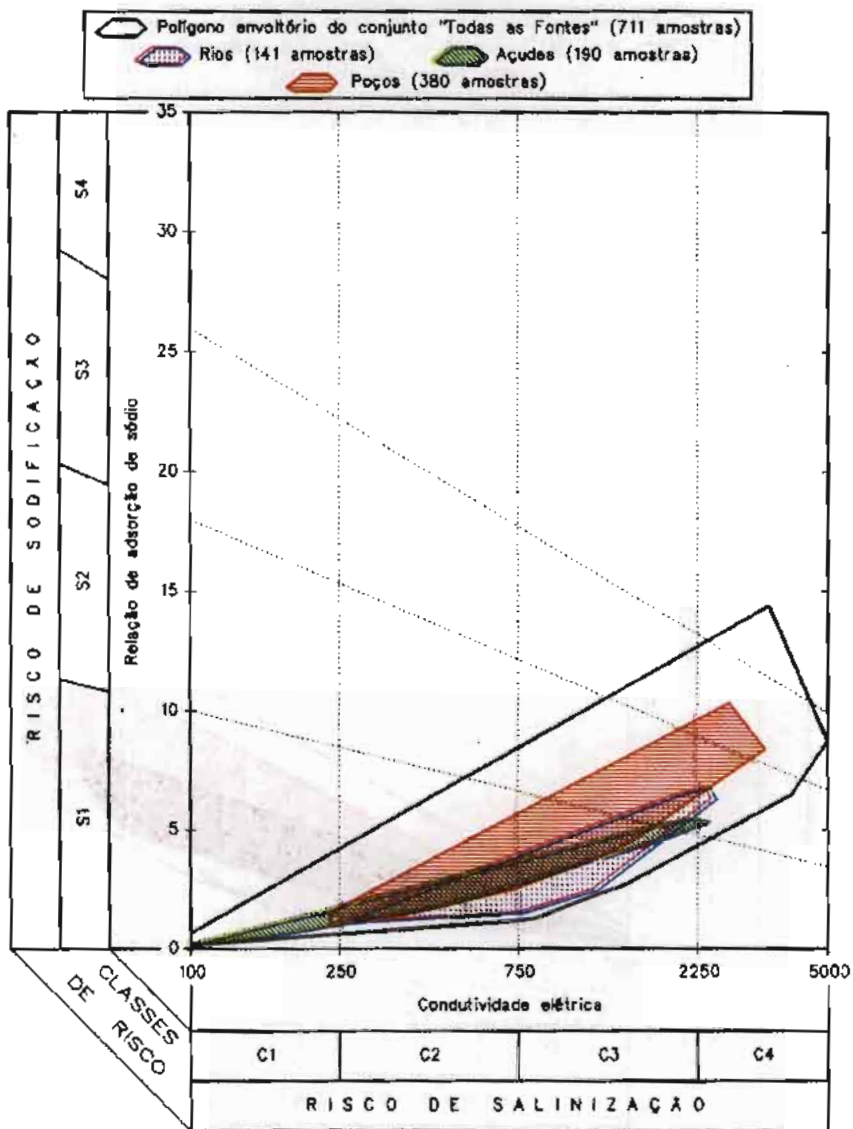
COMPARAÇÃO RIOS - AÇUDES - POÇOS
DOMÍNIOS INTERDECIS



Cl. USDA laboratory Salinity, 1954

Fig. 3.10.

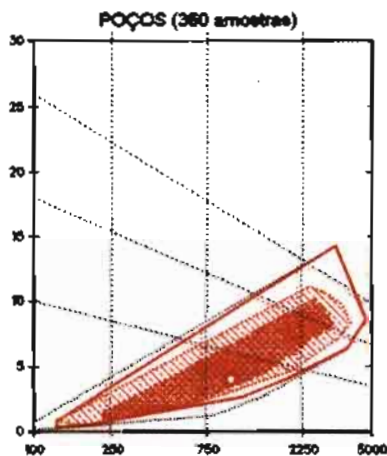
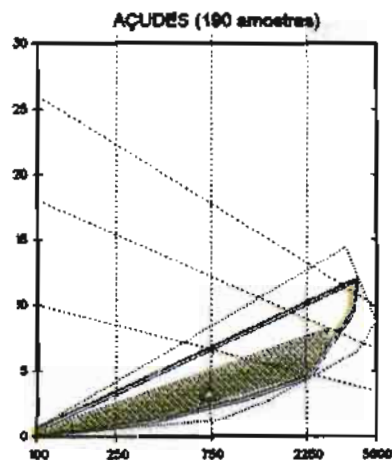
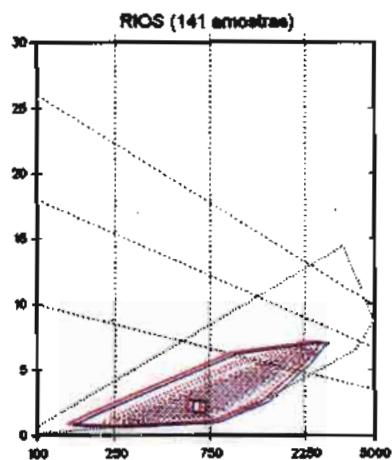
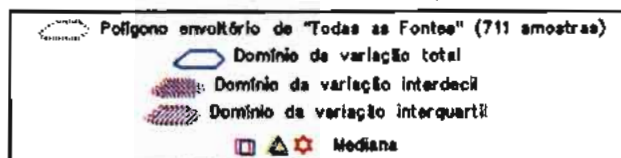
COMPARAÇÃO RIOS - AÇUDES - POÇOS
DOMÍNIOS INTERQUARTIS



Cf. USDA Laboratory Salinity, 1954

Fig. 3.11.

COMPARAÇÃO RIOS - AÇUDES - POÇOS
VARIAÇÃO TOTAL E VARIAÇÕES INTERQUANTIS
EM RELAÇÃO AO POLÍGONO ENVOLTÓRIO DA AMOSTRAGEM COMPLETA



O gráfico dos domínios interdecis (figura 3.9) mostra que, se efetivamente as três categorias de águas se superpõem, também se individualizam. Isto aparece mais nitidamente ainda considerando os domínios interquartis da figura 3.10. A faixa de variação de salinidade global dos rios vai de 250 a 2.250 μ siemens/cm aproximadamente; em relação a este domínio de variação interquartil dos rios, o dos açudes se estende do lado dos valores mais baixos, enquanto o dos poços se estende do lado das salinidades mais elevadas. No tocante ao RAS, a ordenação rios-açudes-poços, no sentido crescente, aparece de maneira particularmente clara.

Observando os gráficos da figura 3.11 que mostram, separadamente para cada categoria, o domínio da variação total e o das variações interdecil e interquartil em relação ao polígono envoltório da amostragem total, constata-se que esta ordenação se observa quaisquer que sejam os domínios de variação considerados.

Enfim, podem-se formular as seguintes conclusões:

- a categoria de **águas menos salinizadas corresponde aos rios**. Todavia, é bom não cair na ilusão de que qualquer água de rio é de boa qualidade. A presente amostragem apresenta um máximo de 2.900 μ siemens/cm de condutividade elétrica. **Em termos de sodicidade, as águas de rios são também as menos perigosas**: a área de dispersão dos pares CE/RAS, nitidamente se situa na metade menos sódica da amostragem total,
- **as águas de açudes recobrem quase toda a faixa de variação de salinidade observada**, com um máximo de 4.000 μ siemens/cm (que corresponde à propriedade Porteiras, já citada). Mas como para os rios, são **águas de sodicidade baixa**, os valores de RAS ficando aqui também na metade menos sódica da amostragem total,
- **as águas de poços recobrem a totalidade da faixa de variação observada, tanto para a salinidade como para a sodicidade**, mas a principal característica desta categoria é que **existe uma notável proporção dessas águas que, tendo salinidade igual, são mais sódicas que as outras categorias**: a metade mais sódica da área de dispersão da amostragem total corresponde **exclusivamente** a águas de poços.

3.3.2. Análise do sub-conjunto rios : comparação entre rios regularizados e rios perenes.

(A interpretação e os comentários apoiam-se nas tabelas 3.3a, 3.3b, e nas figuras 3.12, 3.13, 3.14)

Tab. 3.3a. Medianas e extremos de CE para os rios regularizados e perenes.

	Número de amostras	CE (μ siemens/cm)		
		Mediana	Mínimo	Máximo
Rios Regularizados	88	605	150	2.400
Rios perenes	53	850	230	2.900
«Todas os Rios»	141	650	150	2.900
«Todas as Fontes»	711	860	100	5.000

Tab. 3.3b. Medianas e extremos de RAS para os rios regularizados e perenes.

	Número de amostras	RAS		
		Mediana	Mínimo	Máximo
Rios Regularizados	88	2,5	1,0	6,4
Rios perenes	53	1,8	0,9	7,3
«Todas os Rios»	141	2,3	0,9	7,3
«Todas as Fontes»	711	3,6	0,1	14,4

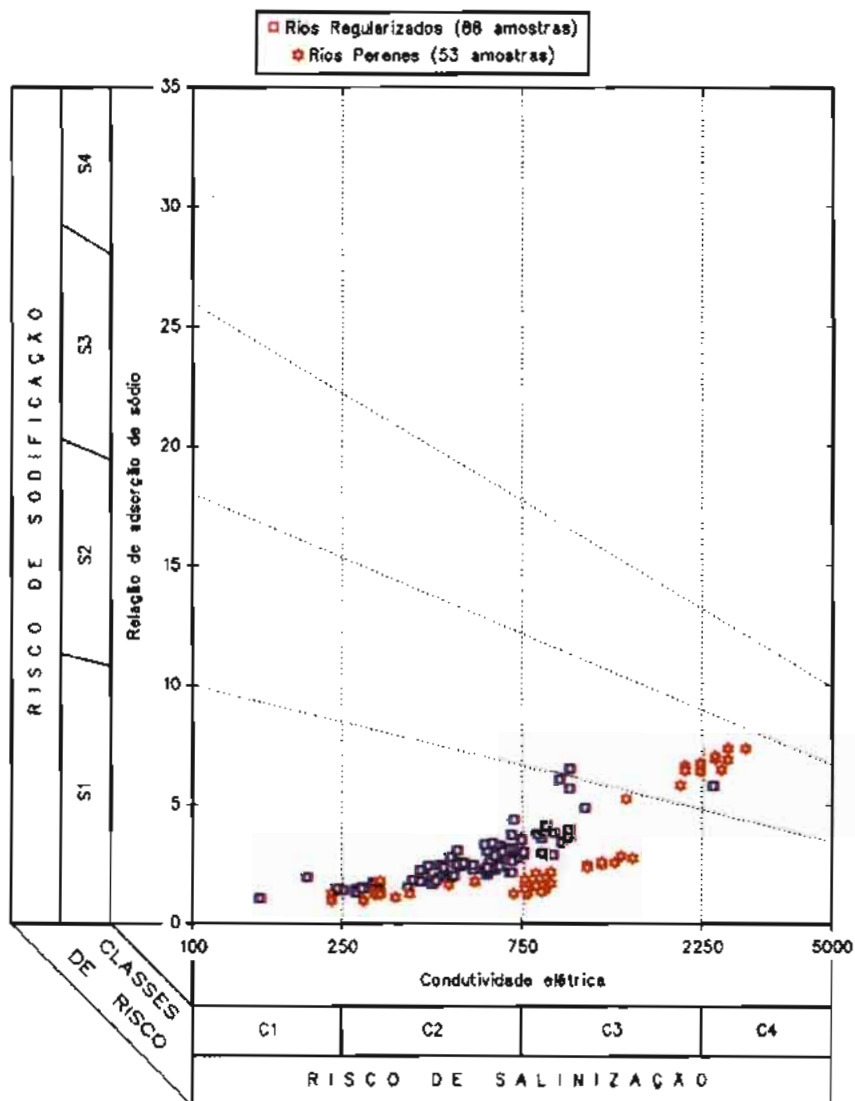
Para todos os parâmetros: mediana, mínimo e máximo, as águas dos rios perenes são mais salinas que as dos rios regularizados. Devido ao fato de que o valor máximo de CE para os rios corresponde a um ponto isolado (figura 3.12), isto aparece bem mais nitidamente nos gráficos mostrando os domínios de variação interquartil (figuras 3.13 e 3.14) que nas tabelas.

Pelo contrário, os RAS são, globalmente, um pouco mais elevados para os rios regularizados.

Um fato interessante a considerar é que os pequenos conjuntos de pontos agrupados de amostras de **rios perenes**, que aparecem no gráfico da figura 3.12, correspondem a rios específicos, que foram identificados na figura 3.15. Isto leva a concluir que, se as

Fig. 3.12

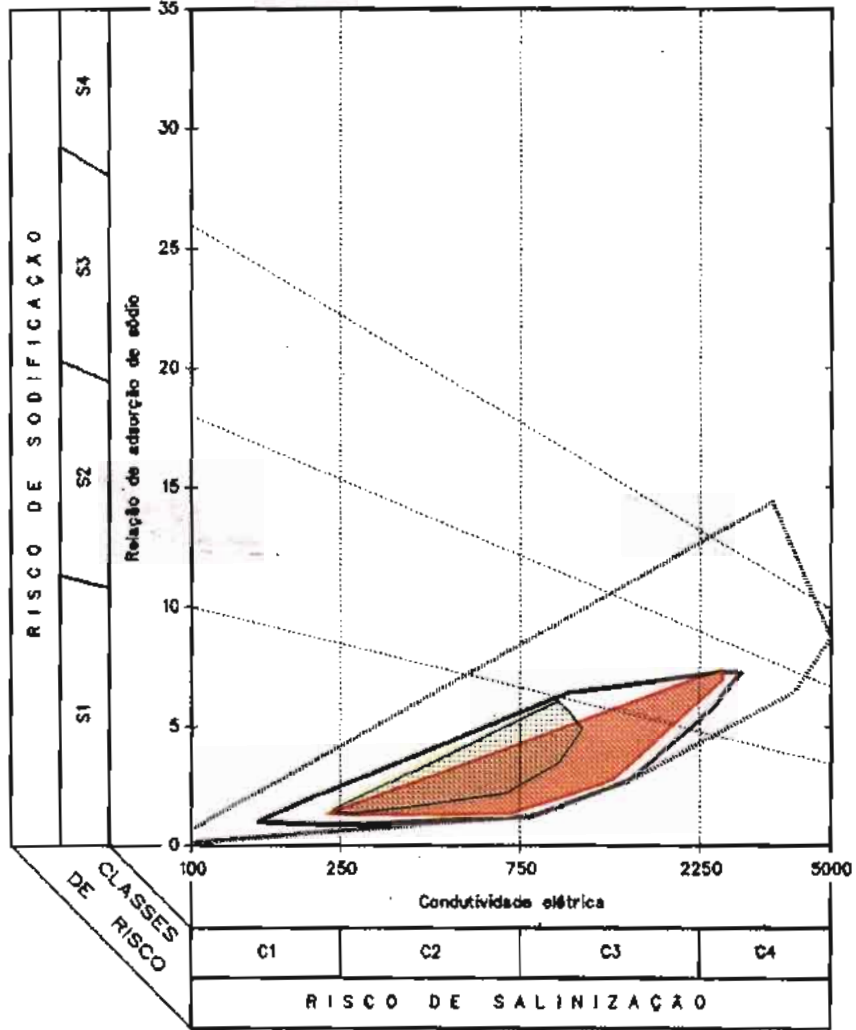
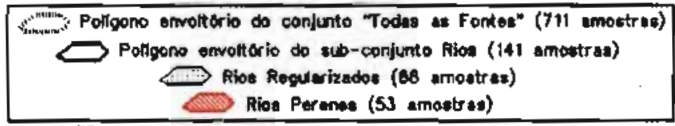
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS : RISCOS DE SALINIZAÇÃO E SODIFICAÇÃO
DADOS RELATIVOS A TODOS OS RIOS



Cf. USDA Laboratory Salinity, 1954

Fig. 3.13

COMPARAÇÃO RIOS REGULARIZADOS - RIOS PERENES
DOMÍNIOS INTERDECIS



Cf. USDA Laboratory Salinity, 1954

Fig. 3.14

COMPARAÇÃO RIOS REGULARIZADOS - RIOS PERENES
 VARIAÇÃO TOTAL E VARIAÇÕES INTERQUANTIS
 EM RELAÇÃO AOS POLÍGONOS ENVOLTÓRIOS
 DO SUB-CONJUNTO RIOS E DA AMOSTRAGEM COMPLETA

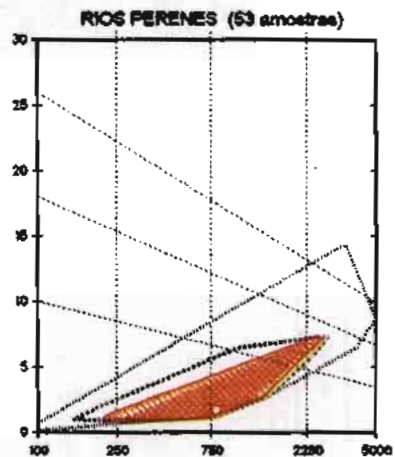
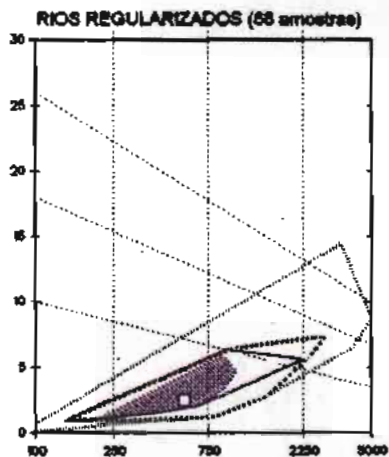
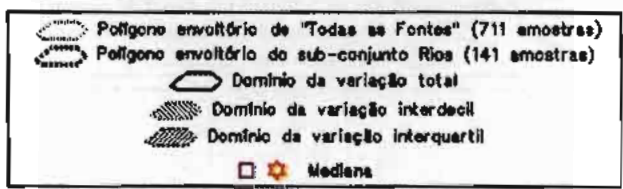
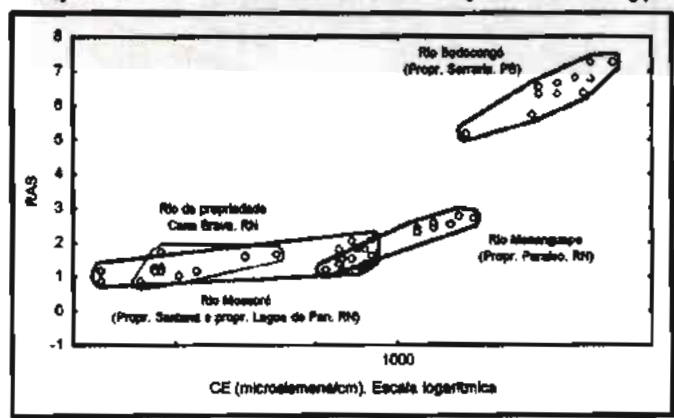


Fig. 3.15

POSIÇÃO DOS RIOS PERENES NA RELAÇÃO RAS vs log(CE)



águas de rios podem ser bastante diversificadas, cada rio se comporta de maneira própria e homogênea, apesar de apresentar variação sazonal bastante importante. Assim, o rio perene mais salgado da presente amostragem é um pequeno rio perene da zona do cristalino, o rio Bodocongó, situado na região de Boqueirão, na Paraíba, que também se caracteriza pela sodicidade das suas águas em comparação aos outros rios perenes que, todos, correspondem à formação calcária da Bacia sedimentar Potiguar, no Rio Grande do Norte. Tal resultado era de se esperar, em decorrência do que foi exposto no capítulo 1 sobre a relação entre a qualidade das águas dos rios e as características das bacias de alimentação, principalmente os solos e a litologia. Estas considerações, satisfatórias de um ponto de vista teórico, têm uma consequência prática sem dúvida pouco agradável: *se não existem dados significativos sobre a qualidade das águas de um determinado rio, é absolutamente indispensável caracterizar esta qualidade por uma campanha de medição abrangendo a variação sazonal, antes de se tomar qualquer decisão de montar um projeto de irrigação utilizando essas águas.*

No que diz respeito às águas de **rios regularizados**, o fato de serem mais sódicas e menos salinizadas não parece poder ser interpretado e, menos ainda, extrapolado, devido ao número reduzido de amostras. Tudo leva a pensar, pelo contrário, que a faixa de variação da salinidade deste tipo de águas deve ser bem maior do que a revelada pela presente amostragem, na medida em que as águas dos rios regularizados são o reflexo da qualidade das águas dos reservatórios que realizam a perenização, e que nem todos eles apresentam águas de boa qualidade. De um ponto de vista prático, *a avaliação da qualidade deste tipo de águas é igualmente indispensável antes de se decidir o seu uso para irrigação*, mas é mais fácil do que para os rios perenes, pelo fato de que, justamente, pode-se obter uma primeira ordem de grandeza desta qualidade a partir de algumas análises das águas da represa de regularização, que geralmente apresentam variação sazonal reduzida. A partir dessa ordem de grandeza prévia, pode-se descartar o rio, decidir utilizá-lo, ou em caso de dúvida, submeter a decisão final aos resultados de uma campanha de medições praticadas no próprio rio.

Em conclusão, já se sabia que os rios são uma das categorias de fontes de água para as quais existe menos informação anterior.

Diante desta situação, e pelo número reduzido de casos estudados no presente trabalho, não se pode pretender a representatividade desejada para formular conclusões definitivas em termos quantitativos. Apesar desta limitação, realizando a interpretação desses dados e integrando os outros conhecimentos disponíveis em termos de processos, pode-se chegar, pelo menos, às orientações formuladas acima, relativas às limitações de qualidade dessas águas e às precauções indispensáveis para o seu uso em irrigação. Enfim, deve-se considerar que a coleta de dados futuros provavelmente trará maior amplitude de variação da salinidade, levando a maiores limitações do uso que se poderia tentar formular hoje de maneira quantitativa. Isto é mais um motivo para confirmar a **absoluta necessidade de caracterizar este tipo de águas antes de decidir usá-las.**

3.3.3. Análise do sub-conjunto açudes : comparação entre açudes pequenos, médios e grandes.

(A interpretação e os comentários apoiam-se nas tabelas 3.4a, 3.4b, e nas figuras 3.16, 3.17, 3.18)

Tab. 3.4a. Medianas e extremos de CE para os açudes pequenos, médios e grandes.

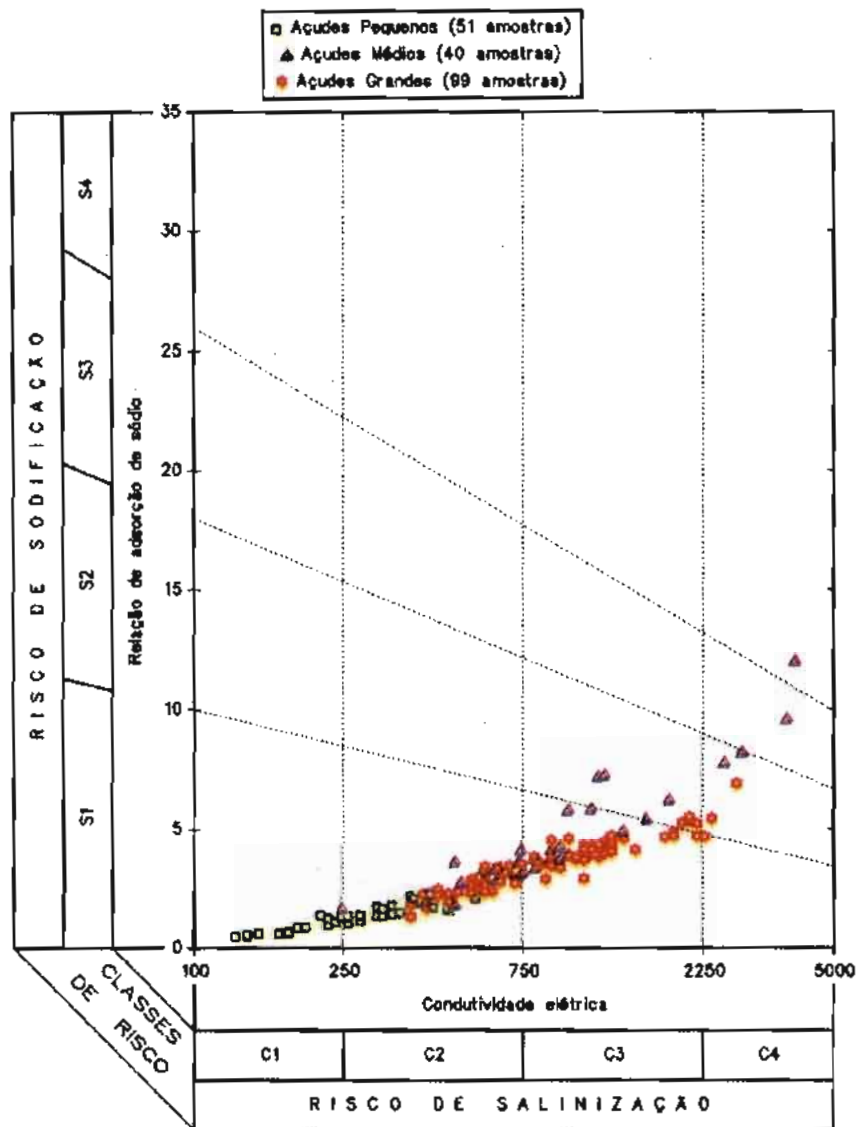
	Número de amostras	CE (μ siemens/cm)		
		Mediana	Mínimo	Máximo
Açudes pequenos	51	230	100	570
Açudes médios	40	825	250	4.000
Açudes grandes	99	1.100	380	2.800
«Todas os Açudes»	190	725	100	4.000
«Todas as Fontes»	711	860	100	5.000

Tab. 3.4b. Medianas e extremos de RAS para os açudes pequenos, médios e grandes.

	Número de amostras	RAS		
		Mediana	Mínimo	Máximo
Açudes pequenos	51	1,1	0,1	2,3
Açudes médios	40	3,8	1,7	12,1
Açudes grandes	99	3,9	1,3	6,9
«Todas os Açudes»	190	3,3	0,1	12,1
«Todas as Fontes»	711	3,6	0,1	14,4

Fig. 3.16.

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS : RISCOS DE SALINIZAÇÃO E SODIFICAÇÃO
 DADOS RELATIVOS A TODOS OS AÇUDES



Cr. USDA Laboratory Salinity, 1954

Fig. 3.17.

COMPARAÇÃO AÇUDES PEQUENOS - MÉDIOS - GRANDES
DOMÍNIOS INTERDECIS

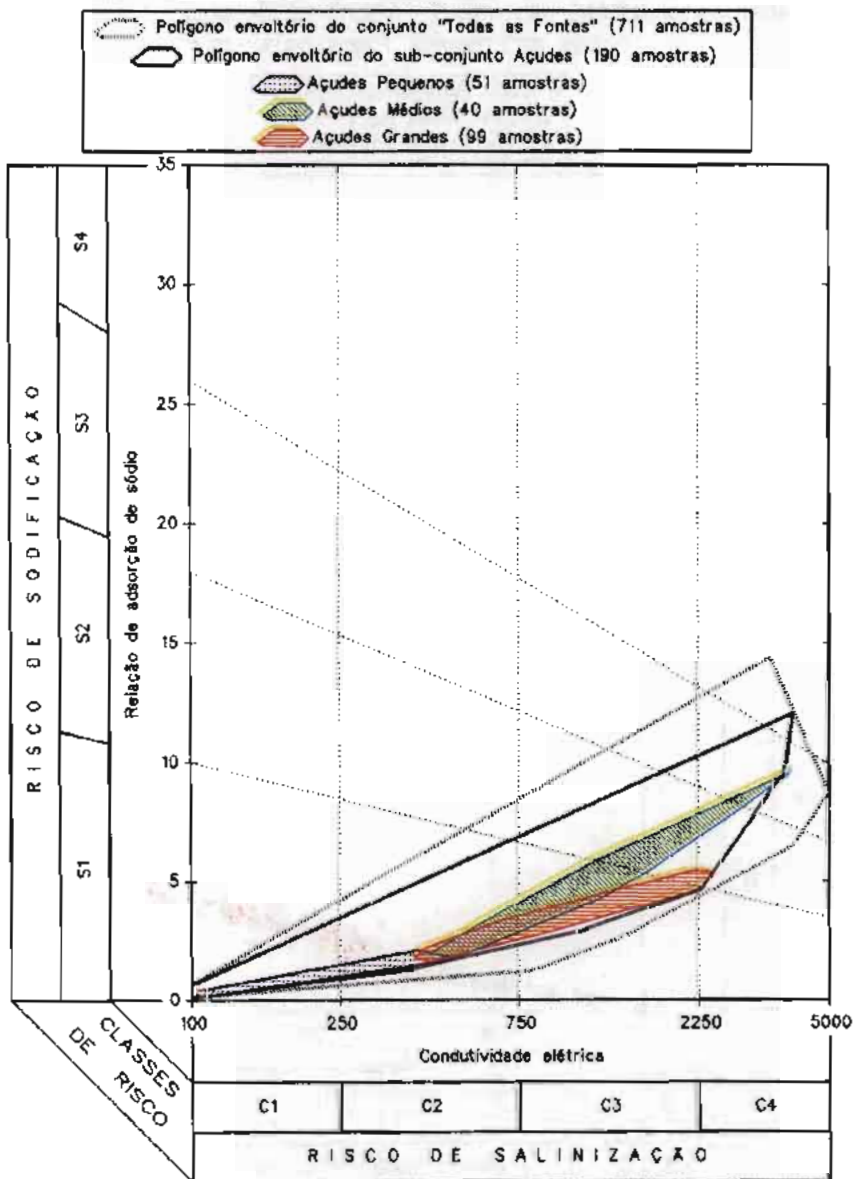
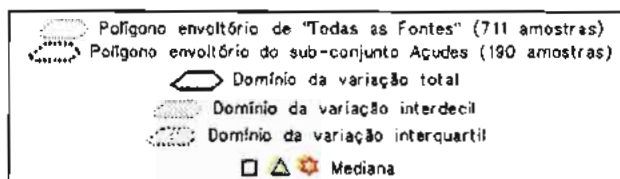
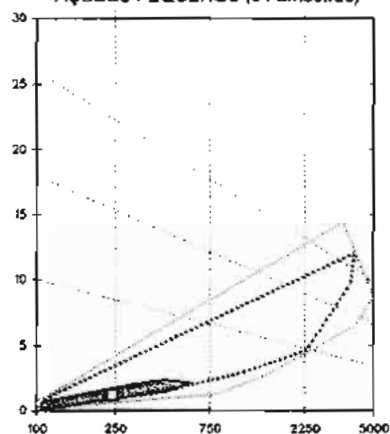


Fig. 3.18.

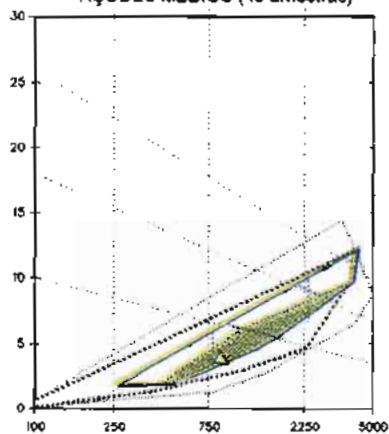
COMPARAÇÃO AÇUDES PEQUENOS - MÉDIOS - GRANDES
 VARIAÇÃO TOTAL E VARIAÇÕES INTERQUANTIS
 EM RELAÇÃO AOS POLÍGONOS ENVOLTÓRIOS
 DO SUB-CONJUNTO AÇUDES E DA AMOSTRAGEM COMPLETA



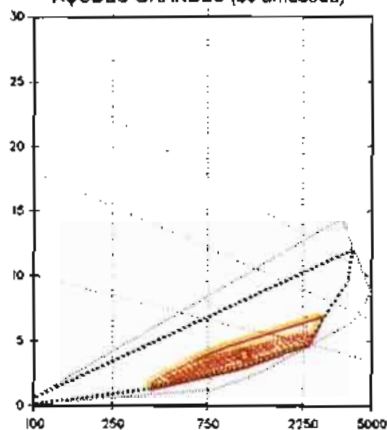
AÇUDES PEQUENOS (51 amostras)



AÇUDES MÉDIOS (40 amostras)



AÇUDES GRANDES (99 amostras)



Tanto as tabelas 3.4a, 3.4b, como os gráficos 3.16 e 3.17 levam a mesma conclusão: os três grupos de açudes se diferenciam nitidamente. Os açudes pequenos se mostram muito pouco salinizados; os açudes médios chegam à salinidade alta de 4.000 μ siemens/cm com RAS proporcionalmente maior do que os outros grupos e os açudes grandes aparecem intermediários com salinidade limitada a um máximo da ordem de 2.800 μ siemens/cm.

Os açudes são, sem dúvida, o tipo de fonte de água mais conhecido no Nordeste mas estes resultados, em relação com o tamanho dos reservatórios, não se enquadram com o que se sabe sobre os processos que determinam a salinidade dos açudes, discutidos no capítulo 1 e resumidos a seguir.

A partir da água inicial trazida pelo(s) rio(s), que pode ser de qualidade bastante diversificada em relação com as características das bacias, o processo de concentração é a evaporação; mas o resultado deste processo se exprimirá na dependência direta dos termos do balanço hídrico do reservatório, sendo que a evaporação extrai água e concentra a solução; as infiltrações e os volumes de água retirados para qualquer tipo de uso eliminam, conjuntamente, água e sais na concentração do momento e, enfim, os escoamentos que ocorrem diluem as águas concentradas e podem realizar uma eliminação líquida de sais previamente acumulados quando chegam a provocar sangria. O balanço final entre estes diferentes termos depende, em primeiro lugar, do dimensionamento do reservatório que determina a frequência de lavagem através das sangrias. A priori, o número de combinações dos fatores é sem limite, como comprova a faixa de variação de salinidade extremamente larga, evidenciada por inventários anteriores, que assinalam casos com concentrações próximas da água do mar.

A priori, poderia não existir relação entre a dimensão dos açudes (no sentido de capacidade) e os parâmetros de dimensionamento que regulam os termos do balanço. Mas, na prática, esta relação existe devido a vários motivos que são principalmente históricos para os grandes açudes.

Os **grandes açudes** construídos pelo DNOCS têm seus deflúvios anuais subdimensionados, acarretando limitações das sangrias, o que significa maiores concentrações salinas. Deste ponto de vista, a

nossa amostragem apesar de numericamente reduzida, cai em uma faixa aceitável, ainda que bastante otimista: não são freqüentes os casos com águas melhores que a classe C2 (750 μ siemens/cm) e a observação dos arquivos do DNOCS mostra que existem casos de grandes açudes com águas bem mais salinizadas do que o nosso máximo observado de 2.800 μ siemens/cm (açude Poço Branco, no Rio Grande do Norte).

No que diz respeito a **pequenos e médios açudes**, o mais geral é encontrar açudes que secam mais ou menos freqüentemente; tanto que, para autores antigos, como Guerra (1934, citado por Molle, 1991b), essencialmente preocupados com o armazenamento e não com o uso da água, a freqüência de risco de esvaziamento por evaporação constituía o critério escolhido para distinguir os médios dos pequenos açudes, esses últimos sendo aqueles que secam mais freqüentemente. Em decorrência do que foi lembrado acima sobre os processos e fatores de concentração das águas nos açudes, não há nada surpreendente em constatar que *a distinção entre pequenos e médios açudes do presente trabalho, que ficou em critérios bastante subjetivos e não levou em consideração nenhum critério de balanço hidrológico, não tem significação nenhuma em termos de nível de salinidade*. O caso de maior concentração salina observada (4.000 μ siemens/cm) ocorreu no açude médio da propriedade Porteiras, na Paraíba que chegou a secar, e provavelmente ia-se observar concentração bem mais elevada acompanhando o processo na última fase de esvaziamento por evaporação. Sendo feita esta restrição, o conjunto global formado pelos açudes pequenos e médios do presente trabalho, apesar de numericamente bastante reduzido, dá um retrato representativo do que se pode esperar: **uma extrema diversidade de comportamento e uma enorme faixa de variação de salinidade**, que se juntam, nos casos de esvaziamento, com uma variação sazonal igualmente considerável.

Para concluir sobre os açudes pequenos e médios com um enfoque prático, podem-se destacar os dois pontos a seguir: 1) antes de planejar um projeto de irrigação baseado no uso das águas de um pequeno ou médio açude, é indispensável caracterizar o balanço de água e de sais, caso a caso; e, para isto, existem as ferramentas e todas as orientações desejáveis: basta recorrer ao Manual do Pequeno Açude (Molle, 1992); 2) caso um açude apresente risco de esvaziamento por evaporação, isso não significa que não presta

para irrigação. É claro que o uso deve descartar qualquer cultura perene, mas, se forem suficientes o prazo para secar e o volume de água disponível, pode-se planejar uma cultura anual que consistirá simplesmente em utilizar a água concorrendo com a evaporação. Este caso necessita uma avaliação prévia do volume de água disponível e um dimensionamento adaptado da superfície a ser irrigada; todas as orientações para isto também se encontram no Manual citado.

3.3.4. Análise do sub-conjunto poços : comparação entre poços naturais, poços amazonas e poços nos rios.

(A interpretação e os comentários apoiam-se nas tabelas 3.5a, 3..5b, e nas figuras 3.19, 3.20, 3.21)

Tab. 3.5a. Medianas e extremos de CE para os poços naturais, amazonas e nos rios.

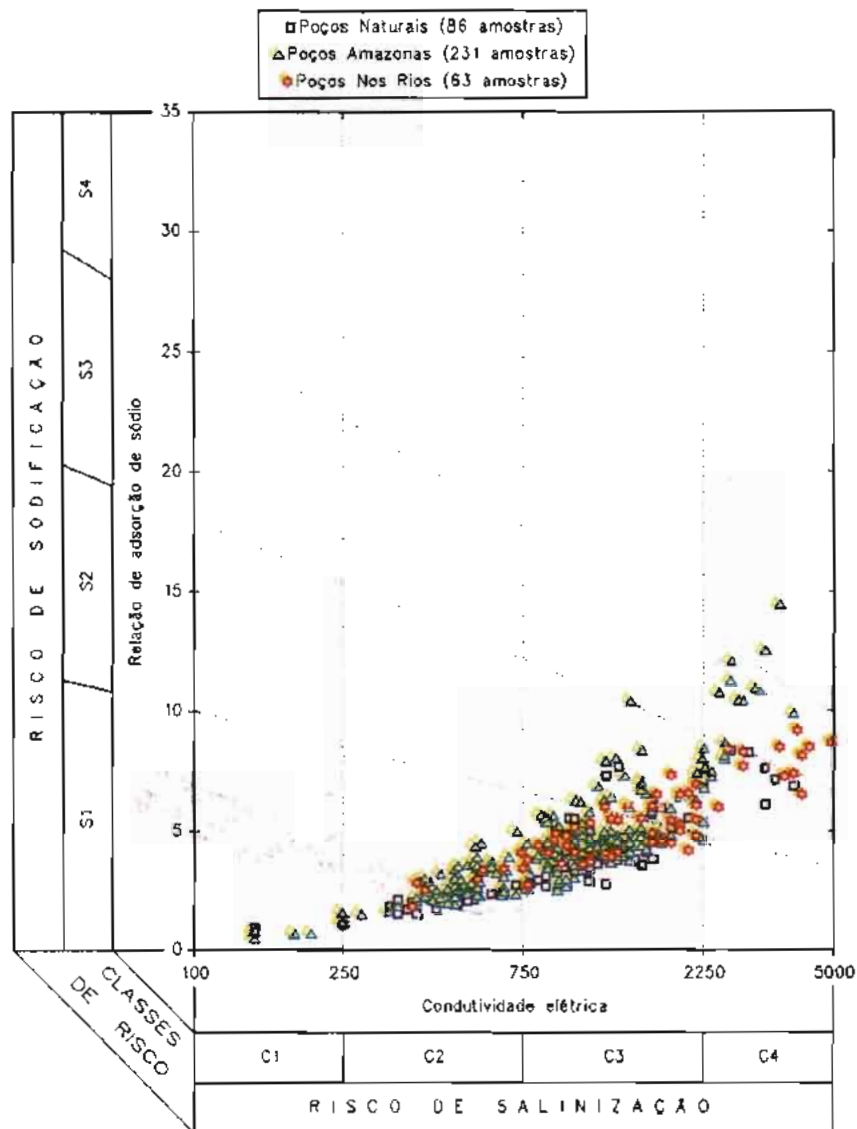
	Número de amostras	CE (μ siemens/cm)		
		Mediana	Mínimo	Máximo
Poços naturais	86	1.035	140	3.800
Poços amazonas	231	1.000	140	3.800
Poços nos rios	63	1.380	370	5.000
«Todas os Poços»	380	1.050	140	5.000
«Todas as Fontes»	711	860	100	5.000

Tab. 3.5b. Medianas e extremos de RAS para os poços naturais, amazonas e nos rios.

	Número de amostras	RAS		
		Mediana	Mínimo	Máximo
Poços naturais	86	3,7	0,9	8,3
Poços amazonas	231	4,1	0,5	14,4
Poços nos rios	63	4,8	1,8	9,1
«Todas os Poços»	380	4,1	0,5	14,4
«Todas as Fontes»	711	3,6	0,1	14,4

Fig. 3.19.

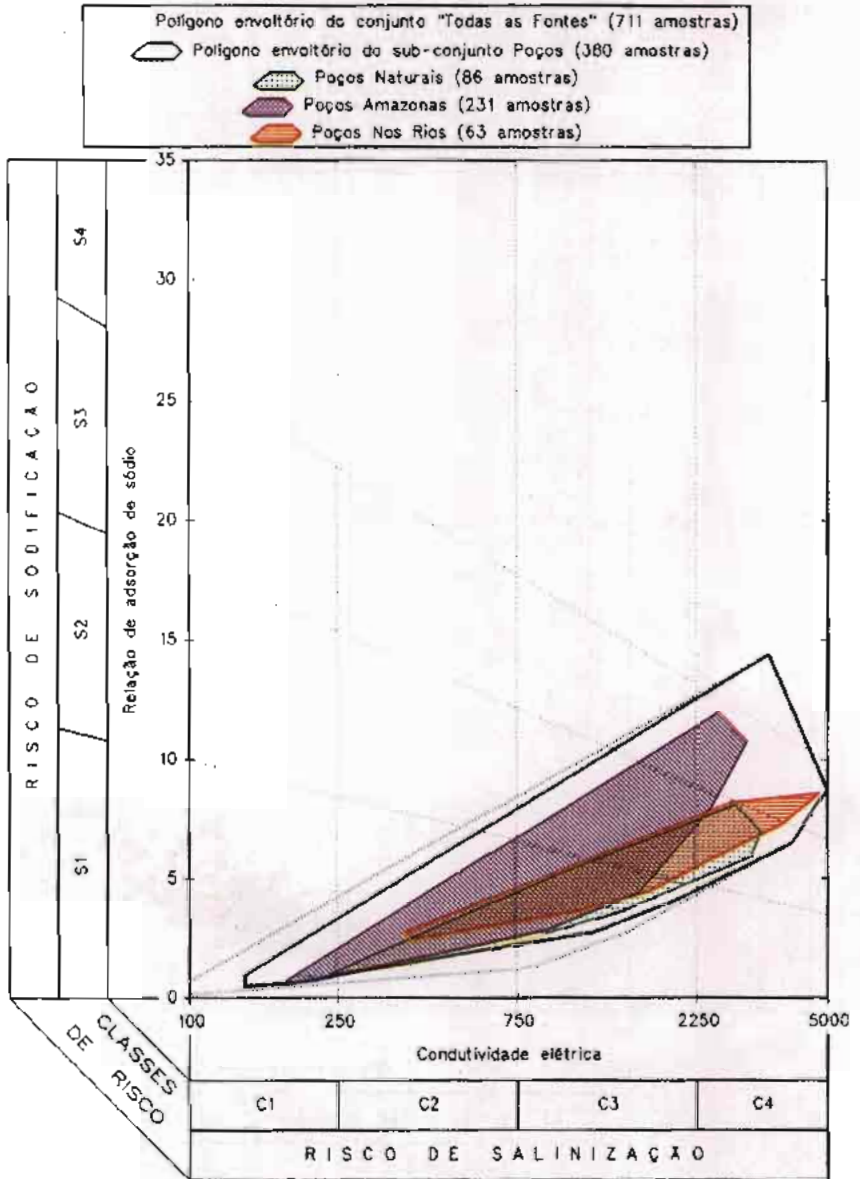
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS : RISCOS DE SALINIZAÇÃO E SODIFICAÇÃO
 DADOS RELATIVOS A TODOS OS POÇOS



C1 1989 - Laboratório Salinas - 1984

Fig. 3.20.

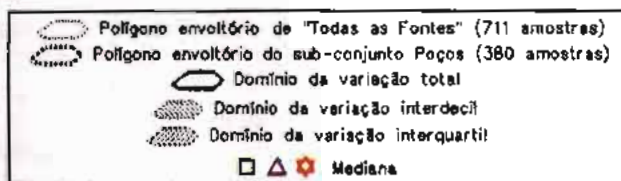
COMPARAÇÃO POÇOS NATURAIS - AMAZONAS - NOS RIOS
DOMÍNIOS INTERDECIS



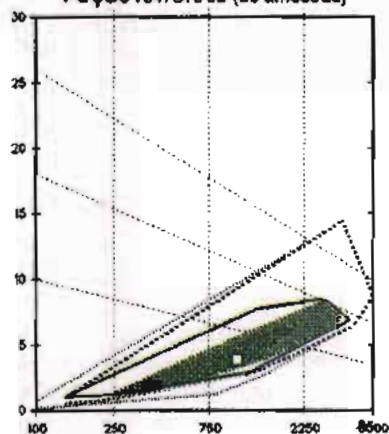
USDA Laboratory Salinity, 1954

Fig. 3.21.

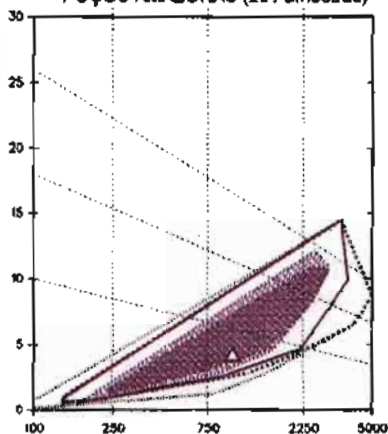
COMPARAÇÃO POÇOS NATURAIS - AMAZONAS - NOS RIOS
 VARIAÇÃO TOTAL E VARIAÇÕES INTERQUANTIS
 EM RELAÇÃO AOS POLÍGONOS ENVOLTÓRIOS
 DO SUB-CONJUNTO POÇOS E DA AMOSTRAGEM COMPLETA



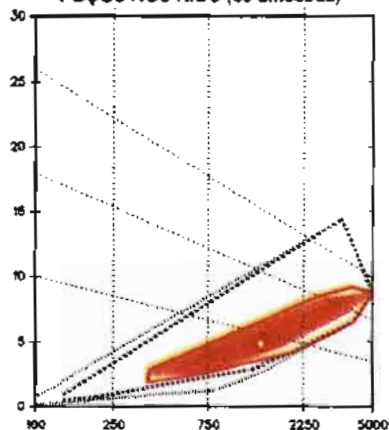
POÇOS NATURAIS (86 amostras)



POÇOS AMAZONAS (231 amostras)



POÇOS NOS RIOS (83 amostras)



As tabelas 3.5a e 3.5b indicam que, para a salinidade global, os poços naturais e os poços amazonas apresentam medianas muito próximas e amplitude total de variação igual, enquanto as águas de poços nos rios são mais concentradas, com medianas maiores de aproximadamente 300 μ siemens/cm, mínimo maior de 230 e máximo chegando a 5.000 μ siemens/cm, ou seja, 1.200 superior aos máximos das duas outras populações. No que diz respeito à sodicidade, os resultados são um pouco menos nítidos, mas se distingue que, fora os mínimos que se mostram bastante confusos, os valores das medianas e dos máximos para o RAS acompanham os valores correspondentes para a CE, com duas exceções: as águas de poços naturais apresentam uma mediana bastante mais elevada em relação ao que deixava esperar a mediana dos valores de CE, e mais nitidamente ainda as águas dos poços amazonas apresentam valores de RAS bem mais elevados de que o que era de esperar para a mediana, mas sobretudo para o máximo, que chega ao valor de 14,4, ou seja, um real risco de sodificação, por se situar na classe S3.

O gráfico da figura 3.20 mostra que este máximo de RAS para os poços amazonas não corresponde a um ponto isolado, e os gráficos das figuras 3.21 e 3.22 confirmam e precisam as conclusões tiradas do exame das tabelas. Os vários domínios de variação - totais, interdecis, e interquartis - para os poços naturais e os poços nos rios se superpõem perfeitamente sobre um intervalo de aproximadamente 80%, a população das amostras de poços nos rios, em relação à de poços naturais, mostrando uma simples translação em direção às maiores concentrações. O sub-conjunto de poços amazonas é mais espalhado no que diz respeito aos valores de RAS, recobrando totalmente os dois outros sub-conjuntos, mas se dispersando amplamente do lado dos RAS maiores onde não se encontra nenhum ponto dos outros sub-conjuntos de poços, *nem de nenhum outro sub-conjunto da totalidade da amostragem estudada*. Já na comparação dos conjuntos de nível mais elevado - rios, açudes e poços - se tinha assinalado (parágrafo 3.3.1) que unicamente amostras de poços se encontravam na metade de maior RAS da área de dispersão da amostragem completa. Pode-se afirmar agora que se trata unicamente de amostras de poços amazonas.

Em breve, todas as águas superficiais de rios, açudes, poços naturais e poços nos rios constituem uma grande família

bastante homogênea do ponto de vista da relação RAS-CE, na qual se individualiza o conjunto de águas subterrâneas pouco profundas dos poços amazonas, com águas mais sódicas. Este resultado é bastante importante, tanto do ponto de vista científico, pois levanta a questão sobre os processos que provocam esta diferença, como em termos de conseqüências práticas, pois as águas dos poços amazonas constituem a categoria que pode apresentar real risco de sodificação. E vale salientar que, se algumas conclusões anteriores tiveram que ser apresentadas com reservas, por não serem baseadas sobre um número suficiente de dados, esta separação em duas grandes categorias, além de muito nítida, baseia-se sobre 480 amostras para as águas superficiais e 231 para as águas de poços amazonas, números que deixam pouco espaço para um fenômeno inteiramente aleatório.

Voltando para as diferenças constatadas entre as três categorias de poços consideradas, podia-se esperar mais **altas salinidades para os poços naturais e poços nos rios**, por corresponderem estes dois tipos de fontes a águas diretamente expostas à evaporação, em comparação com as águas dos poços amazonas, protegidas da evaporação de maneira bastante eficiente desde que a profundidade do lençol ultrapasse um a dois metros. Ora, isto se observa para os poços nos rios e não para os poços naturais. Não temos nenhuma explicação a propor para esta diferença de comportamento entre estes dois tipos de fontes, senão que pode simplesmente corresponder à diferença de qualidade das águas de escoamento que alimentam os rios, ou a condições de concentração diferente em relação com a pluviometria local do ano. Tais fatores podem-se exprimir perfeitamente com apenas um ano de amostragem e números bastante reduzidos de pontos estudados para esses dois tipos de fontes.

No que diz respeito à **sodicidade mais elevada das águas dos poços amazonas**, o problema é o seguinte: classicamente se admite que a evaporação é o fator que indiretamente determina a salinidade das águas subterrâneas, que acumulam, por intermédio das infiltrações, os sais concentrados na zona superficial exposta à evaporação. Se este processo fosse o único, à concentração salina igual, deveria corresponder igual composição catiônica e RAS igual para as águas superficiais e as águas de poços amazonas. Mas não é o que se observa. Os processos complementares susceptíveis de interferir para modificar as composições iônicas das águas

provenientes da superfície podem consistir, de um lado, em precipitações químicas que simples variações de fatores como a temperatura e o teor de bióxido de carbono em relação com a profundidade, podem provocar; de outro lado, em interações com os minerais dos aluviões, interações que sempre ocorrem no sentido de realizar o equilíbrio geral entre a fase sólida e a fase em solução.

Enfim, e para concluir com um **enfoque prático sobre essas águas de poços**, a situação pode-se resumir assim: mesmo que alguns poços apresentem águas de excelente qualidade, **o caso mais freqüente é de águas de uso problemático pelo menos para o risco de salinização**, que atinge comumente a classe C3 e pode chegar a C4; **para os poços amazonas, a situação ainda pode ser mais problemática pelo fato de um risco sério de sodificação**. Nessas condições, é absolutamente indispensável avaliar a quantidade e a qualidade das águas disponíveis antes de decidir investir em um projeto de irrigação. Neste caso, é fundamental considerar conjuntamente quantidade e qualidade, bem como levar em consideração a variação sazonal de salinidade: o objetivo deve ser determinar o pico sazonal de salinidade e a vazão mínima do poço naquela época, pois é justamente quando as águas são de pior qualidade. Neste caso, o irrigante deveria aplicar uma superdose de água suficiente para manter a solução do solo ao menor nível possível de concentração, mas, freqüentemente, a vazão do poço é insuficiente para atender esta necessidade. Conseqüentemente, é na base da conjunção desses dois parâmetros e nas piores condições que deve ser decidido e dimensionado qualquer projeto, para evitar o fracasso.

Após determinar esses parâmetros quantitativos e qualitativos das fontes, poderá, às vezes, ser difícil a escolha entre um poço no rio, que provavelmente fornecerá águas mais salinas na época de estiagem, e um poço amazonas, com águas de pico de salinidade menor, mas com risco de sodificação significativo. Em tal caso, os fatores de decisão serão o tipo de solo a ser irrigado e a eficiência da drenagem : se a drenagem não for perfeitamente realizada e/ou se o solo for bastante argiloso e susceptível de degradação por sodificação, a opção deverá ser pela água mais salina, junto com a escolha de uma planta de adequada resistência aos sais; em caso contrário, poder-se-á optar pela água mais sódica e menos salinizada, que permitirá a escolha de uma planta de menor resistência aos sais.

3.4. Composição iônica das águas estudadas

3.4.1. Importância do assunto.

O presente trabalho não é um estudo exaustivo da geoquímica das águas da região e, neste sentido, não se pretende apresentar uma análise detalhada dos equilíbrios iônicos das águas coletadas. Mas também é um assunto que não pode ser ignorado, tendo em vista a importância da composição iônica como imagem explicativa da evolução responsável pela qualidade observada e como característica determinante da qualidade das águas para uso em irrigação.

A classificação do Laboratório de Riverside, que foi utilizada como referência para toda a caracterização apresentada até aqui, comporta uma falha, no sentido de que, no que diz respeito à composição da água, é exclusivamente baseada sobre os equilíbrios catiônicos, sintetizados no RAS. Mas, entre duas águas de mesma concentração global em sais e mesmo RAS, uma sendo com proporção dominante de cloretos nos ânions em solução e a outra com proporção dominante de bicarbonatos, a segunda será muito mais perigosa do ponto de vista de risco de sodificação.

A publicação original da classificação de Riverside compensa esta insuficiência, propondo alguns coeficientes adicionais dentro dos quais o chamado «Carbonato de Sódio Residual», conhecido como «CSR», definido alguns anos antes por Eaton (1950). O CSR é definido pela fórmula $CSR = (CO_3^{--} + HCO_3^-) - (Ca^{++} + Mg^{++})$, se exprime em miliequivalentes/litro, e as normas de uso das águas baseadas nele são as seguintes:

- CSR inferior a 1.25 : nenhuma limitação,
- CSR entre 1.25 e 2.5 : águas duvidosas para uso na irrigação,
- CSR superior a 2.5 : uso desaconselhado para irrigação.

Posteriormente, várias adaptações da RAS foram propostas no mesmo sentido. Em 1985, Ayers e Wescot, publicaram pela FAO o documento «Water Quality for Agricultura», revisão 1, que, em matéria do uso das águas para a irrigação, até hoje fica a referência que complementa e atualiza as bases estabelecidas pelo Laboratório de Riverside em 1954. Os autores, nesta publicação, propuseram a

RAS calculada, como definida por Suarez (1981). Para o presente trabalho, a escolha de substituir a RAS tradicional pela RAS calculada (RASc) podia ser uma opção perfeitamente válida, que foi descartada pelo motivo que, para o usuário, o cálculo da RAS clássica é muito mais fácil. Vale salientar que Medeiros (1992) estabeleceu para o sub-conjunto das nossas amostras que ele estudou, a seguinte regressão entre RAS e RASc:

$$\text{RASc} = - 0,263 + 1,14 \times \text{RAS} \text{ (com } R^2 = 0,99\text{)}.$$

Isto é, para as nossas águas, a RASc é superior à RAS de mais ou menos 10%.

Cabe, no momento, explicar de maneira simples a importância dada aos bicarbonatos-carbonatos. É bom lembrar em primeiro lugar que, em comparação com os cloretos e sulfatos, que são sais neutros, os carbonatos-bicarbonatos são sais alcalinos. Por isto, quando aparecem na solução do solo, esta se torna de pH alcalino. Ora, o processo de sodificação, que consiste na substituição pelo Na^+ , do Ca^{++} e Mg^{++} fixados no complexo de adsorção do solo, além de necessitar, na solução em contato com o solo, uma proporção suficiente de sódio em relação a soma cálcio-magnésio (é esta condição que avalia o RAS), é fortemente favorecido por condições alcalinas.

Quando, na natureza, uma água inicialmente pouco concentrada e normalmente equilibrada entre os cátions Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} e os ânions Cl^- , SO_4^- , HCO_3^- (o teor de CO_3^{--} é geralmente negligenciável pois CO_3^{--} exige pH de 8,4 para aparecer) começa a se concentrar por evaporação, durante uma primeira fase, os teores de todos os íons aumentam conforme o fator de concentração. Mas, rapidamente, os limites de solubilidade dos sais menos solúveis, em particular o sulfato de Ca e sobretudo os carbonatos de Ca e Mg vão ser atingidos e esses sais vão-se precipitar. Por eliminação das frações do cálcio e magnésio inicialmente presentes, a solução se torna proporcionalmente mais concentrada em sódio e o RAS vai crescendo. Este aumento do RAS aparece assim como a consequência da presença de bicarbonatos na água. Mas, de outro lado, essas precipitações também controlam o teor dos bicarbonatos e mantêm assim uma reação neutra na solução; para isto, normalmente vai-se observar, paralelamente ao enriquecimento

relativo em sódio, um aumento relativo dos sulfatos e mais ainda dos cloretos, que são mais solúveis.

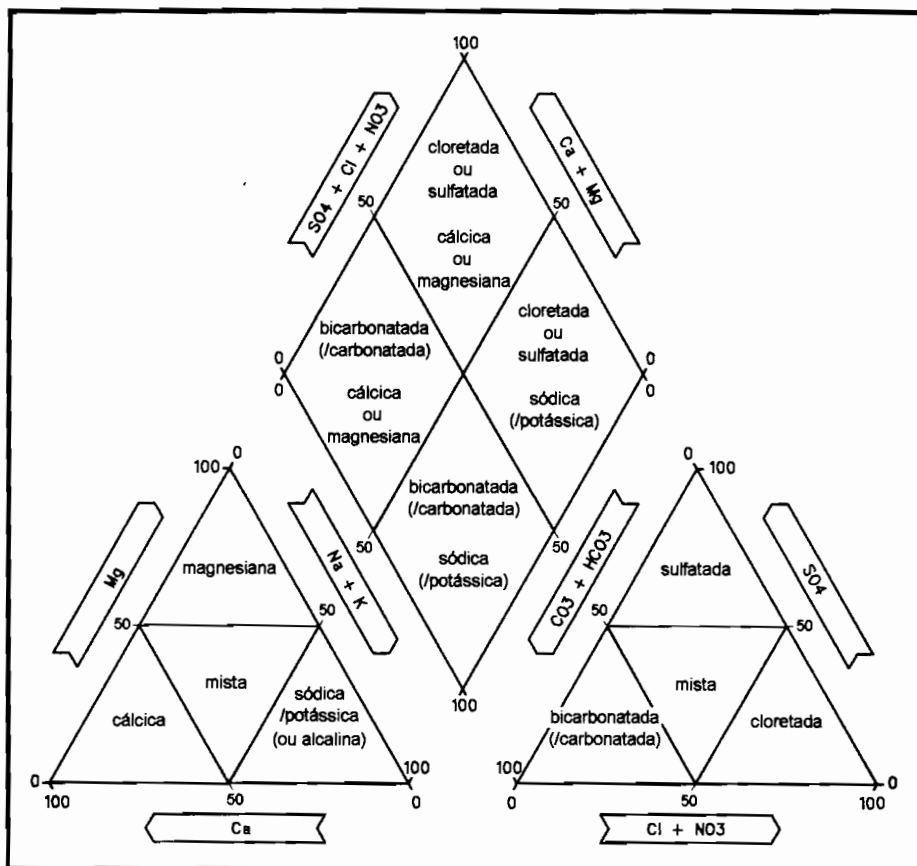
A situação pode-se tornar bem pior se, na água original, os bicarbonatos dominam e se não existem, nem na água, nem no solo, quantidades suficientes de cálcio e magnésio para permitir este processo de regulação, pois nessas condições, a solução vai-se concentrar em bicarbonatos, possivelmente em carbonatos, e se tornar alcalina, aumentando, as vezes drasticamente, o risco de sodificação. Assim, um déficit de $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ em relação a soma $\text{CO}_3^{--} + \text{HCO}_3^-$ representa potencialmente um excesso de bicarbonatos-carbonatos disponível para formar o perigoso carbonato de sódio. Isto explica o nome de «Carbonato de Sódio Residual» utilizado por Eaton, este coeficiente avaliando simplesmente a quantidade de $\text{CO}_3^{--} + \text{HCO}_3^-$, que será controlada às custas do solo, uma vez deduzida a quantidade de $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ trazida pela própria água.

3.4.2. Representação das composições iônicas das águas e terminologia utilizada.

A representação e a comparação das composições iônicas será realizada utilizando-se o chamado «triângulo de Piper», que apresenta a vantagem de dar uma visão sintética, tanto da composição catiônica como aniônica, a partir das proporções relativas (%) dos íons expressas em miliequivalentes/litro. A representação (ver a figura 3.22) consiste em dois triângulos, um para os cátions e um para os ânions. Um losango se encaixa entre os dois triângulos, utilizando os mesmos eixos e as mesmas escalas que os lados dos triângulos imediatamente paralelos, ou seja, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ de um lado, e $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{--}$ do outro lado. Os lados opostos do losango correspondem aos grupos de íons complementares, ou seja $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ de um lado e $\text{SO}_4^- + \text{Cl}^-$ do outro lado. Acompanhando a concentração de uma solução neste losango, pode-se observar diretamente se a evolução se faz no sentido da via neutra ou alcalina, e como vai mudando a proporção relativa de sódio.

A figura 3.22, explicita os termos utilizados para exprimir, respectivamente para os cátions e para os ânions, a dominância de tal ou qual íon ou grupo de íons, e mostra no losango como são combinados esses qualificativos para denominar uma água, por exemplo, de bicarbonatada-cálcica, cloretada sódica, etc.

Fig. 3.22



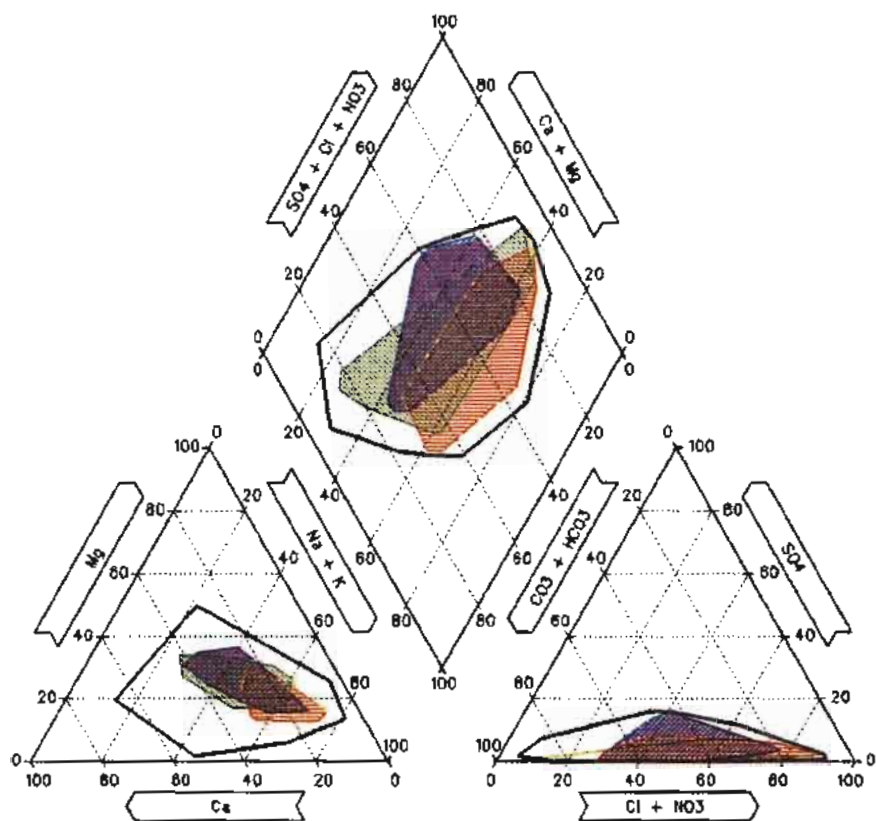
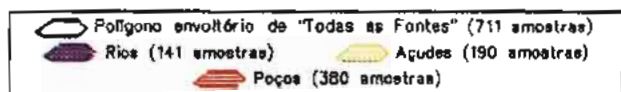
3.4.3. Imagem geral das composições iônicas das águas estudadas. Comparação entre rios, açudes e poços.

Dando continuidade à caracterização das águas já realizada pela análise dos riscos de salinização e sodificação, as composições iônicas da totalidade das amostras vão ser examinadas começando pela comparação entre rios, açudes e poços.

O exame do gráfico da figura 3.23, que mostra os domínios de variação interdecis dessas três grandes categorias de águas, em

Fig. 3.23.

COMPOSIÇÃO IÔNICA DAS ÁGUAS
 COMPARAÇÃO RIOS - AÇUDES - POÇOS
 DOMÍNIOS DE VARIAÇÃO INTERDECIS



Cl. Piper (USGS)

relação ao polígono envoltório da variação total da amostragem completa, permite fazer os seguintes comentários:

- para a amostragem completa, de todas as fontes reunidas e considerando o domínio de variação total:
 - composição aniônica : não existe água sulfatada, a proporção máxima dos sulfatos ficando abaixo de 18%; as águas se dividem em bicarbonatadas e cloretadas, a faixa de variação abrangendo do polo quase exclusivamente carbonatado ao quase exclusivamente cloretado;
 - composição catiônica: não existe água magnésiana, a proporção de magnésio atingindo, mas sem ultrapassar, o limite dos 50%; a nuvem está centrada no domínio das águas mistas, penetra amplamente o domínio das águas sódicas e menos profundamente o das águas cálcicas.
- no que diz respeito à comparação entre rios, açudes e poços, na base dos domínios interdecis:
 - as composições iônicas das três categorias de fontes se superpõem amplamente,
 - para as composições aniônicas, os rios ocupam nitidamente a parte mais central, sendo a única categoria de águas que apresentam teor relativo de sulfatos superior a 10%; os açudes se espalham mais do lado das águas bicarbonatadas e os poços do lado das águas cloretadas;
 - para as composições catiônicas, os domínios interdecis dos rios e dos açudes são praticamente superpostos, enquanto as águas de poços se espalham nitidamente do lado sódico.

Esta análise confirma a individualização das águas de poços em relação às águas das outras fontes, individualização já evidenciada através da análise do par de parâmetros CE-RAS e que chegou, após análise mais detalhada, a ser atribuída estritamente aos poços amazonas, cujas águas apresentam RAS maior, isto é, proporção relativa de sódio mais elevada. Aqui a maior proporção relativa de sódio se acompanha de um aumento relativo também dos cloretos.

Este aumento relativo concomitante do sódio e dos cloretos está de acordo com os dados da literatura que convergem para salientar que, partindo de águas superficiais menos concentradas, bastante

diversificadas e oscilando entre os tipos misto e bicarbonatado sódico-cálcico, o processo de concentração provoca uma homogeneização e gera quase sistematicamente águas cloretadas sódicas.

No momento, a interpretação na base de nuvens de pontos (ou de domínios de dispersão) não permite ultrapassar esta constatação de concordância, devido ao fato de que a representação da composição iônica não se acompanha de nenhuma informação sobre o nível de salinidade global das águas, que permita identificar uma seqüência evolutiva.

Preocupados em melhor precisar os caracteres específicos das águas dos poços amazonas e, em particular, verificar se o risco de sodificação, identificado como susceptível de atingir níveis sérios, não se complica, a altas concentrações, com problemas de bicarbonatos predominantes, vamos agora comparar este subconjunto de águas de poços amazonas com as águas de todas as outras fontes, operando por faixas de concentração.

3.4.4. Comparação, por faixas de concentração, entre as águas de poços amazonas com as águas de todas as outras fontes.

As faixas de concentração escolhidas são três:

- CE inferior a 500 μ siemens/cm : águas de salinidade baixa;
- CE superior a 500 e inferior a 1.500 μ siemens/cm : águas de salinidade média;
- CE superior a 1.500 μ siemens/cm: águas de salinidade alta.

As águas foram reduzidas a duas grandes categorias : todas as fontes menos os poços amazonas (chamadas a seguir de águas superficiais) e poços amazonas. Os gráficos 3.24, 3.25, e 3.26 permitem comparar os domínios de variação interdecis dessas águas e acompanhar a evolução no sentido das concentrações crescentes.

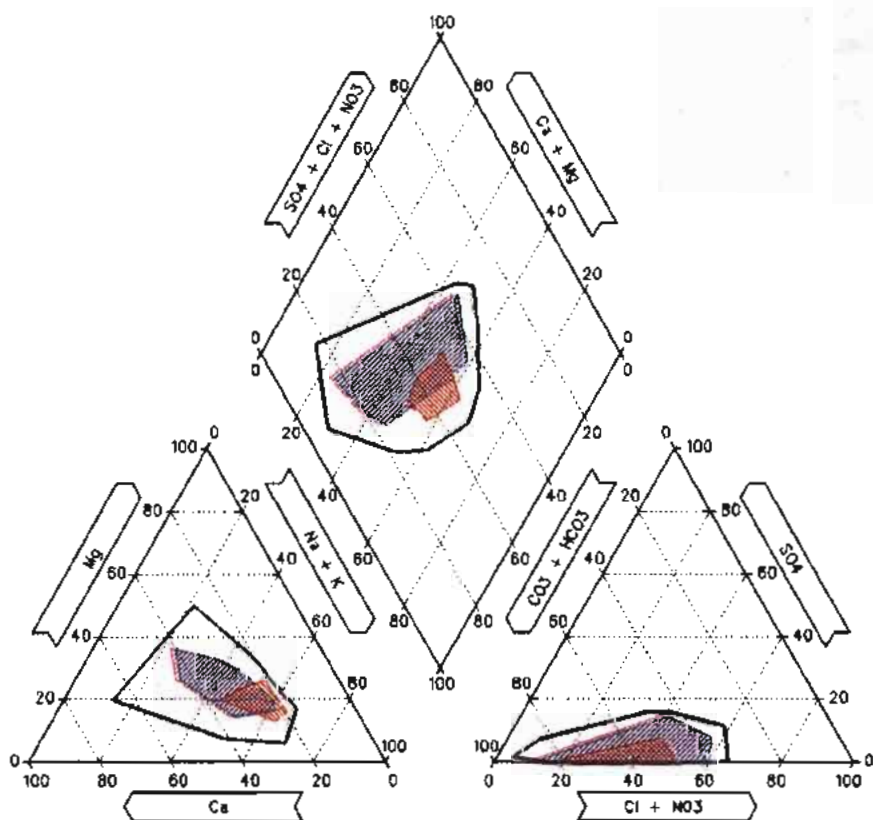
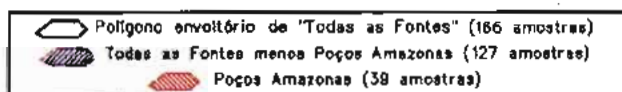
Os resultados podem ser resumidos assim:

- para as salinidades baixas, os domínios são pequenos, as águas superficiais são essencialmente bicarbonatadas cálcicas

Fig. 3.24.

COMPOSIÇÃO IÔNICA DAS ÁGUAS
 COMPARAÇÃO TODAS AS FONTES (MENOS POÇOS AMAZONAS) - POÇOS AMAZONAS
 DOMÍNIOS DE VARIAÇÃO INTERDECIS

Amostras de salinidade baixa
 CE inferior a 500 microsiemens/cm

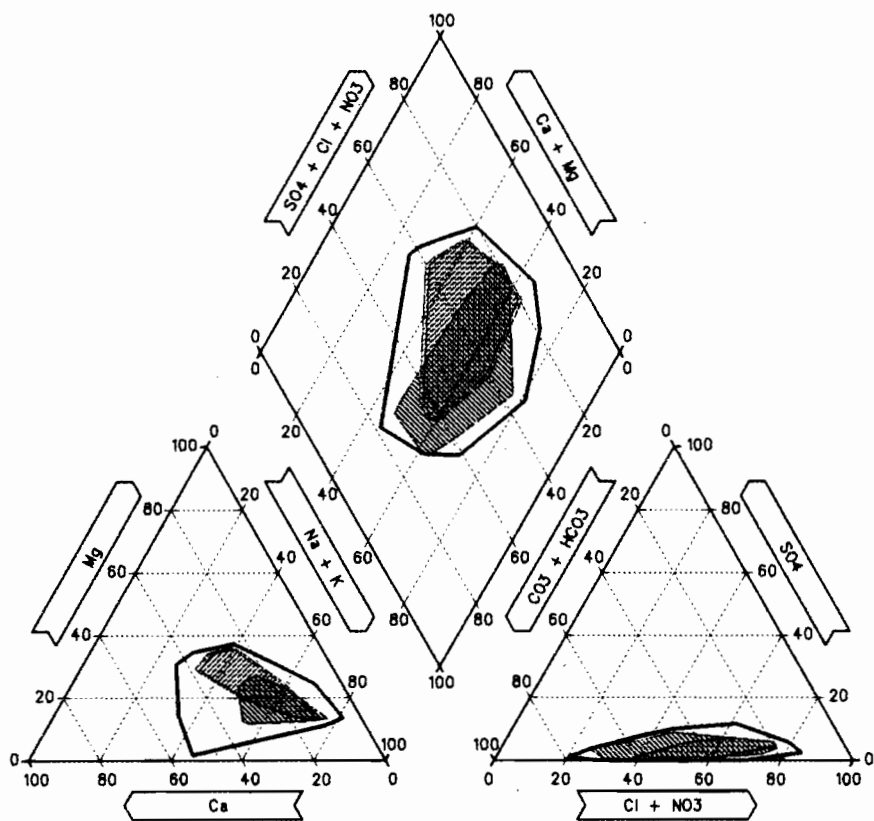
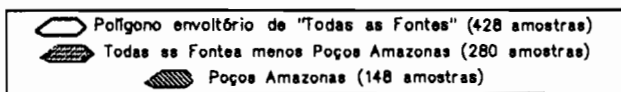


cf. Piper (USCS)

Fig. 3.25.

COMPOSIÇÃO IÔNICA DAS ÁGUAS COMPARAÇÃO TODAS AS FONTES (MENOS POÇOS AMAZONAS) - POÇOS AMAZONAS DOMÍNIOS DE VARIAÇÃO INTERDECIS

Amostras de salinidade média
CE superior a 500 e inferior a 1500 microsiemens/cm

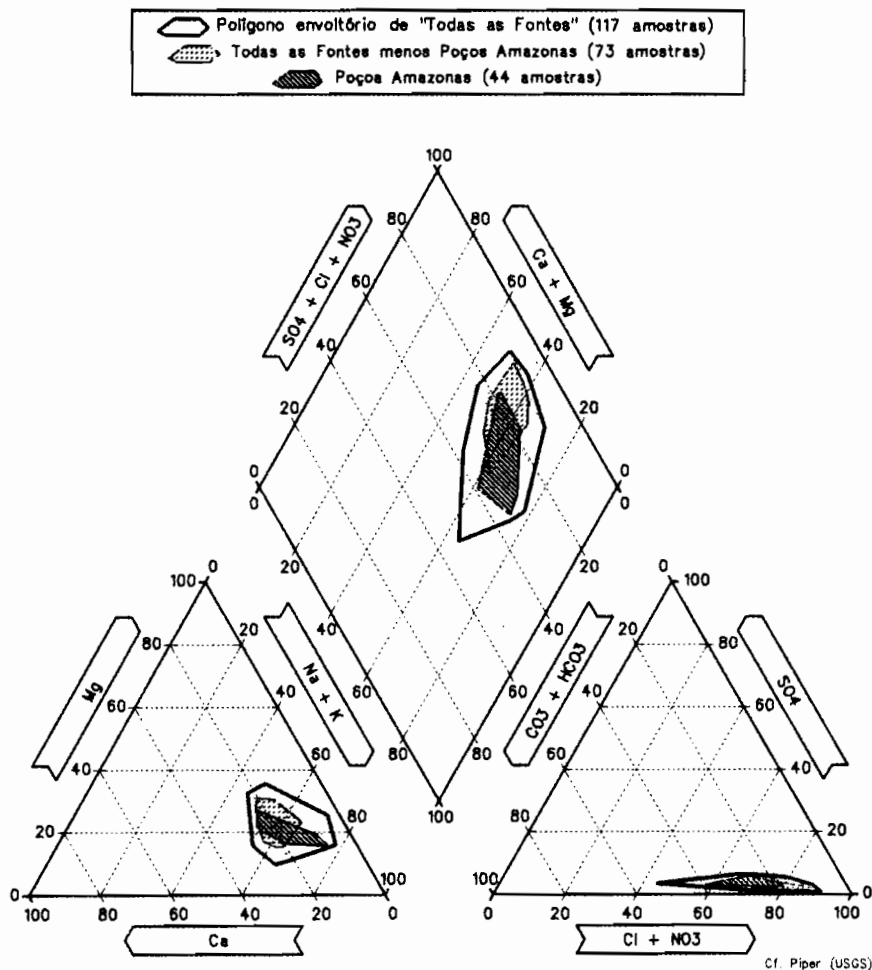


Cf. Piper (USGS)

Fig. 3.26.

COMPOSIÇÃO IÔNICA DAS ÁGUAS COMPARAÇÃO TODAS AS FONTES (MENOS POÇOS AMAZONAS) - POÇOS AMAZONAS DOMÍNIOS DE VARIAÇÃO INTERDECIS

Amostras de salinidade alta
CE superior a 1500 microsiemens/cm



se espalhando ligeiramente do lado das águas mistas e sódicas, enquanto as águas de poços amazonas, nitidamente individualizadas, são estritamente bicarbonatadas sódicas;

- para as salinidades médias, os domínios são bastante extensos, o que parece normal para uma zona de transição. As águas superficiais variam de bicarbonatadas sódicas a cloretadas sódicas e cálcicas. O domínio de variação dos poços amazonas se mostra bem individualizado, no que diz respeito aos cátions, o tipo sódico sendo quase exclusivamente dominante, confirmando o que já foi evidenciado várias vezes. No que diz respeito aos ânions, a tendência para os poços amazonas seria uma proporção ligeiramente superior de águas bicarbonatadas em relação ao observado para as outras fontes;
- para as salinidades elevadas, os domínios se tornam de novo pequenos; tanto as águas superficiais como as de poços amazonas são estritamente de tipo cloretado sódico, constatando-se, ainda, para as águas de poços amazonas, um caráter sódico mais pronunciado (como evidenciado na análise da relação RAS vs CE), junto aqui também, com um deslizamento do lado de uma proporção ligeiramente maior de bicarbonatos em relação ao que se observa para as outras fontes.

Esses resultados confirmam que: **1) as águas menos concentradas são bastante diversificadas, mais frequentemente do tipo bicarbonatado cálcico e, possivelmente, de tipo misto sódico; 2) as águas mais concentradas são sistematicamente cloretadas sódicas: acima de 1.500 μ siemens/cm de condutividade elétrica, não se observa mais praticamente nenhuma ocorrência de tipo bicarbonatado ou misto.**

A nossa preocupação de verificar se, ao RAS maior observado para os poços amazonas em relação às outras fontes, se acrescentava, para as concentrações mais elevadas, alguns problemas de carbonatos, recebeu assim um elemento de resposta essencial: mesmo quando constatada uma proporção ligeiramente maior de bicarbonatos para as águas de poços amazonas do que para as outras fontes, a diferença é pouca, e aplica-se perfeitamente, às águas dos poços amazonas, a conclusão de que, acima de 1.500 μ siemens/cm de condutividade elétrica, o tipo de

água é exclusivamente cloretado sódico. Isto representa a garantia de que, nesses poços, as águas não mostram nenhuma tendência a evoluir naturalmente no sentido de uma predominância de carbonatos. A existência de águas profundas muito mais concentradas, e ainda cloretadas sódicas, confirma também esta conclusão.

Apesar de todos esses argumentos tranquilizadores, deve-se considerar que, para o uso na irrigação, certos problemas de carbonatos não estão totalmente excluídos. Pois a análise realizada das composições iônicas se apoia exclusivamente sobre as proporções entre íons, e não leva em consideração o valor da diferença $(\text{CO}_3^{--} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$, que representa o CSR ou «Carbonato de Sódio Residual» de Eaton, parâmetro que pode perfeitamente ultrapassar o valor crítico de 2,5 em águas cloretadas sódicas. Esta eventualidade, pelo menos, deve ser estudada em caso de problemas, pois foi constatado CSR superiores a 2,5 em alguns casos de águas problemáticas do presente trabalho. No total, para as 711 amostras processadas, foram contabilizados 17 casos de CSR superior a 2,5, correspondendo a três poços amazonas, dois na região de Canindé, no Ceará, e um na região de Pombal, na Paraíba, que mereceriam estudos mais aprofundados.

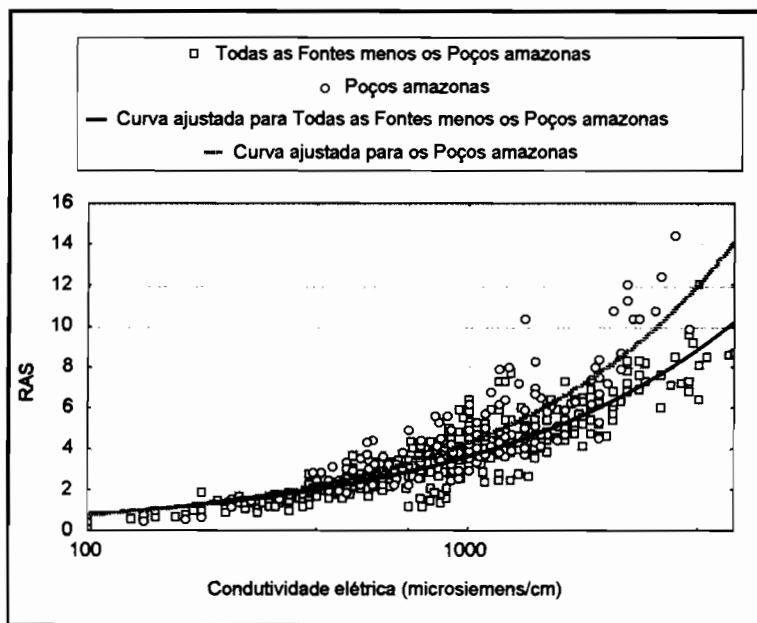
3.5. Ferramentas práticas para avaliar a qualidade das águas unicamente a partir da condutividade elétrica.

Uma vez identificadas as categorias de águas homogêneas, pode-se procurar estabelecer, para essas categorias, regressões que, utilizadas como ábacos, permitam estimar, a partir da única CE, os dois outros parâmetros mais importantes para avaliar a qualidade de uma água para uso em irrigação: o RAS e o teor de cloretos.

Para a avaliação do RAS, foram assim estabelecidas duas regressões da forma $\text{RAS} = a \cdot \text{CE}^b$, uma para o sub-conjunto das águas chamadas superficiais (todos os rios, todos os açudes, poços naturais e poços nos rios) e a outra para os poços amazonas.

Fig. 3.27

REGRESSÕES RAS = a. CE^b, ESTABELECIDAS PARA AS DUAS GRANDES CATEGORIAS DE ÁGUAS IDENTIFICADAS



A figura 3.27 mostra as curvas ajustadas^(*), com as nuvens de pontos correspondentes, e os resultados do ajuste são dados a seguir:

^(*) Existem duas maneiras de realizar um ajuste a uma função de forma $y = a \cdot x^b$. A primeira consiste em praticar um ajuste linear sobre as variáveis log-transformadas. Como já explicado a respeito do uso das médias logarítmicas, isto significa considerar, para a minimização dos desvios quadrados realizada no ajuste, que o ponto equidistante de 100 e 10.000 é 1.000. O outro método, mais complicado em termos de cálculos, pratica sobre as variáveis não transformadas e considera que o ponto equidistante de 100 e 10.000 é 5.050. Foi escolhido este segundo método para realizar os ajustes apresentados.

águas superficiais:

$$\text{RAS} = 0,042752 \times \text{CE}^{0,642995}$$

Número de amostras = 480

$$R = 0,903 - R^2 = 81,5\%$$

poços amazonas:

$$\text{RAS} = 0,025983 \times \text{CE}^{0,739311}$$

Número de amostras = 231

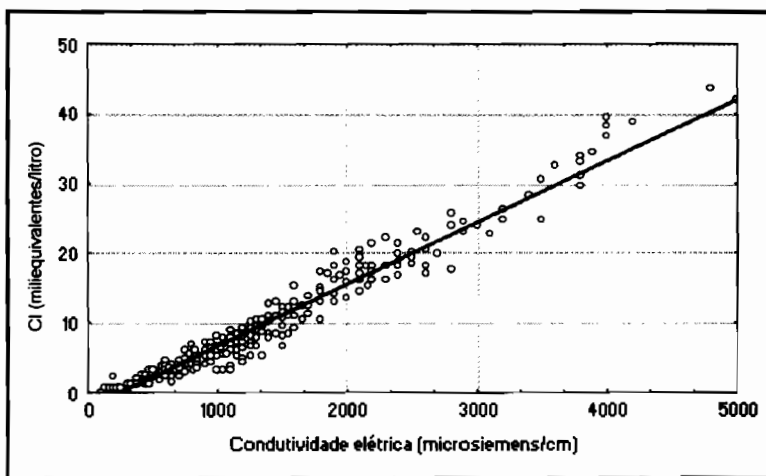
$$R = 0,866 - R^2 = 74,9\%$$

Tendo em vista a proporção da variância explicada por essas regressões, respectivamente de 81,5 e 74,9%, o seu uso para avaliação do RAS pode ser considerado bastante confiável.

Para a avaliação dos cloretos, a regressão é linear e uma regressão para todas as águas se mostrou perfeitamente satisfatória (os cloretos são perfeitamente conservativos e, para isto, constituem em um excelente traçador de concentração). A figura 3.28 mostra a reta ajustada com as nuvem de pontos correspondentes, e os resultados do ajuste são dados a seguir:

Fig. 3.28

**REGRESSÃO $\text{Cl} = a + b \times \text{CE}$, ESTABELECIDADA
PARA A TOTALIDADE DA AMOSTRAGEM DE ÁGUAS ESTUDADAS**



$$CI = -2,116 + 0,00884 \times CE$$

Número de amostras = 711

$$R = 0,982 - R^2 = 96,4\%$$

○ R^2 de 96,4 % mostra uma boa confiabilidade para as estimativas realizadas com esta regressão.

CAPÍTULO 4

A VARIAÇÃO SAZONAL DE SALINIDADE DAS ÁGUAS

Comparação entre os vários tipos de fontes

4.1. A variação sazonal de salinidade das águas: uma realidade difícil de se verificar.

Para quem vivenciou a pequena irrigação no Nordeste, a variação sazonal de salinidade das águas é uma realidade concreta e terrível. A memória do Programa GAT está marcada de experiências infelizes, de casos de fracassos até dramáticos, por se ter investido em projetos de irrigação sem se proceder à escolha de culturas adaptadas e sem levar em consideração a época do ano em que a água se torna restrita em quantidade e, ao mesmo tempo, de pior qualidade.

Conforme o que foi exposto anteriormente, é evidente que as sucessões de estações chuvosas e secas devem corresponder, para as águas, a alternâncias de diluição e concentração. Mas, no detalhe, a coisa é complicada. Excetuando o caso de uma chuva caindo na superfície de um açude, o que representa uma simples diluição, as soluções, antes de chegar a uma fonte, já caminharam sobre os solos e no interior dos solos e dos sedimentos, interagindo a cada instante com o material com que entra em contato. Essas interações dependem principalmente do tempo de contato, isto é, da velocidade das transferências, e dos caracteres respectivos da solução e do material, cada um variando no espaço e no tempo. Um exemplo bastante conhecido e nítido desta variação sazonal diz respeito aos primeiros escoamentos da época chuvosa, que são geralmente mais concentrados por dissolver produtos solúveis

acumulados nos solos durante a época seca; mas na realidade a carga solúvel de um rio deve, a priori, ser considerada como variável ao longo do conjunto início do escoamento-enchente-depleção, esses episódios variando para cada chuva ao longo da estação chuvosa. O problema é que, apesar de ter sido identificado de maneira bastante promissora o papel dos vários tipos de solos, no que diz respeito à química das águas que uma bacia gera, a identificação dos caminhos reais de circulação nos solos e nos sedimentos e o conhecimento dos processos e fatores que atuam para determinar a qualidade química das soluções ainda são incipientes.

No caso das águas subterrâneas, a situação é mais precária ainda. Geralmente não são conhecidos, com precisão, nem o volume dos reservatórios, dos quais se pretende conhecer a dinâmica, nem as quantidades e a qualidade das soluções que os alimentam.

Isto explica por que a evolução da salinidade pode ser modelizada, como fez Laraque (1991), no caso de um açude do qual se conhecem os parâmetros que permitem calcular o fator de concentração do reservatório a partir das variações de volume, mas, por enquanto é praticamente impossível nos outros casos e, especialmente, para as águas subterrâneas. A amostragem realizada no presente trabalho foi extremamente instrutiva deste ponto de vista: um acompanhamento mensal da concentração salina representa condições confortáveis para estudar a variação sazonal. Além da realização das amostragens, também foi medida a chuva na tentativa de evidenciar uma relação entre a concentração das águas e o fator pluviométrico. O parâmetro chuva foi, sem dúvida, de grande ajuda para realizar a análise de consistência dos dados, mas esta análise foi a oportunidade de constatar a extrema diversidade de reação da salinidade das fontes à chuva, com atrasos imprevisíveis, eficiência da diluição às vezes muito diferente do que se esperava, etc, confirmando a total impossibilidade de relacionar diretamente as variações de salinidade com os dados pluviométricos.

O resultado prático é que, não dispondo dos elementos que permitiriam fazer previsão de comportamentos a partir de modelagem, é difícil até definir um plano de amostragem que possa, com poucas amostras, atingir a variação sazonal procurada.

Enfim, vale salientar que um estudo da variação sazonal de salinidade é obrigatoriamente dispendioso e demorado. Para o presente trabalho, que amostrou 71 fontes durante dois anos, pretendia-se chegar a $71 \times 2 = 142$ pares de mínimo-máximo anuais, que, devido a falhas na realização das amostragens, se reduziram a 76. É muito pouco para caracterizar estatisticamente a variação sazonal de oito tipos de fontes, apesar de dois anos de trabalho de campo. E considerando a grande variação interanual da pluviometria na região, nada comprova, a priori, que dois anos sejam suficientes para gerar informações significativas sobre essa variação sazonal.

4.2. Metodologia utilizada para o estudo da variação sazonal de salinidade.

A condutividade elétrica é a variável utilizada para determinar a variação sazonal da salinidade, e como cada ponto de amostragem corresponde a uma fonte estudada, os dados para caracterizar essa variação se reduziram - no melhor dos casos e na ausência de dados que não existem ou foram eliminados - a dois pares de mínimo-máximo anuais, um para o ano de 1988 e outro para o ano de 1989.

Os parâmetros analisados a seguir são: esses mínimos e máximos anuais, e também a diferença que representa a amplitude anual de variação.

A análise foi feita em duas etapas:

- uma comparação entre as variações observadas para os dois anos sucessivos, cuja finalidade foi obter, para os vários tipos de fontes, uma idéia da semelhança de comportamento interanual que condiciona as possibilidades de extrapolação dos resultados; em breve, saber se o estudo realizado, sobre dois anos, traz uma informação utilizável ou se a avaliação da variação sazonal de salinidade necessita, obrigatoriamente, e qualquer que seja o tipo de fonte, seqüências de uma dezena, ou mais, de anos de observações.
- o processamento, para cada tipo de fonte, dos dados dos dois anos juntos, no sentido de caracterizar a variação sazonal

observada por alguns parâmetros sintéticos, que serão as medianas, os intervalos interquartis e os extremos observados.

No que diz respeito aos tipos de fontes de água e com base nos resultados e discussões do capítulo anterior, foram reagrupados os açudes pequenos com os açudes médios, e os poços naturais com os poços nos rios. Os tipos de fontes, dessa maneira, se reduzem a seis:

Rios perenes (5 pontos de amostragem), Rios regularizados (10 pontos de amostragem), Açudes pequenos e médios (9 pontos de amostragem), Açudes grandes (9 pontos de amostragem), Poços naturais e nos rios (15 pontos de amostragem), Poços amazonas (23 pontos de amostragem)

4.3. Comparação das variações sazonais de salinidade observadas em 1988 e 1989.

Os gráficos 4.1a, 4.1b e 4.1c^(*) apresentam esta comparação para os três parâmetros: mínimo anual de CE, máximo anual de CE e amplitude anual de variação da CE. Todos os tipos de fontes foram plotados em gráficos únicos, mas com símbolos diferentes permitindo identificá-los. Para facilitar a comparação, foi utilizada a mesma escala para os três parâmetros; também foi figurada a primeira bissetriz que representa a igualdade entre os dois anos, complementada por uma faixa de variação arbitrariamente escolhida de $\pm 250 \mu\text{siemens/cm}$, que será utilizada para discutir os resultados na base de uma referência constante.

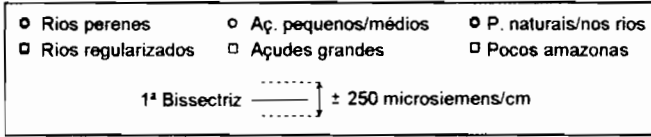
O primeiro exame destes gráficos permite:

- evidenciar a importância da variação sazonal de salinidade. Considerando todas as fontes reunidas, os mínimos anuais não

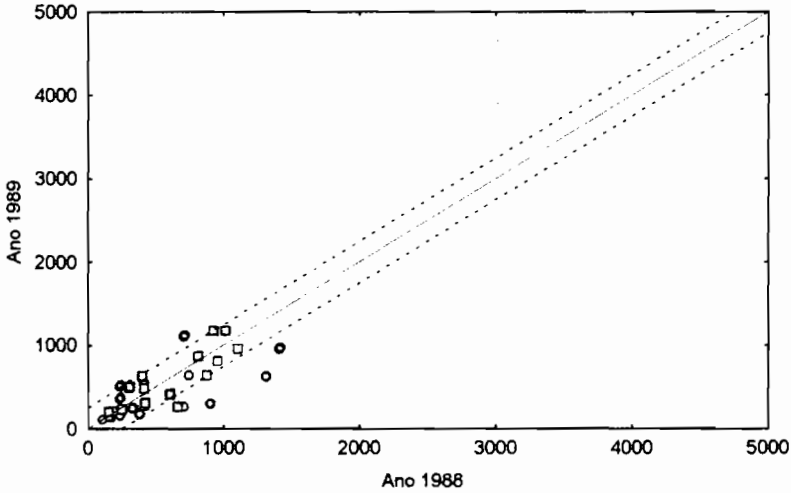
(*) Além do fato, já exposto, de que falhas na amostragem reduziram o número de pares mínimo-máximo anuais para o estudo da variação sazonal, o número de dados disponíveis para fazer esta comparação entre 1988 e 1989 é mais reduzido ainda, pois é necessário que um ponto de estudo, para permitir a comparação, não apresente falta do parâmetro comparado simultaneamente para os dois anos.

Fig. 4.1.

**COMPARAÇÃO DOS MÍNIMOS ANUAIS, MÁXIMOS ANUAIS
E AMPLITUDES ANUAIS DE VARIAÇÃO DE SALINIDADE GLOBAL
(Condutividade elétrica = CE) OBSERVADOS EM 1988 E 1989**



4.1a. MÍNIMOS ANUAIS



4.1b. MÁXIMOS ANUAIS

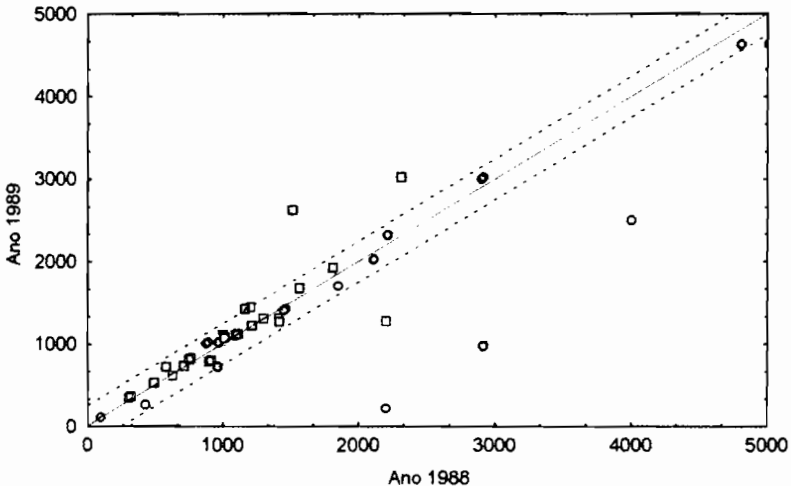
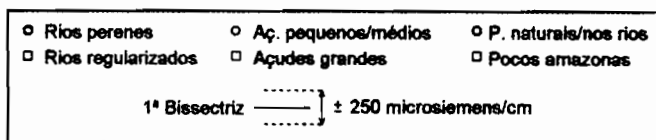
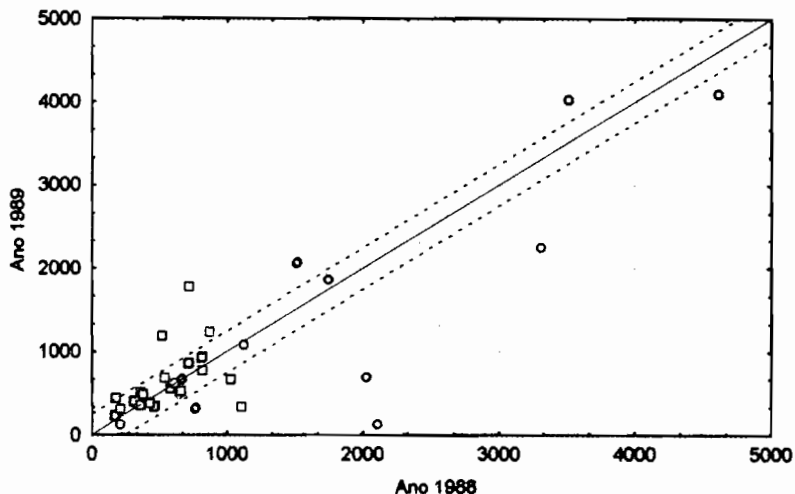


Fig.4.1 (Continuação).



4.1c. AMPLITUDES ANUAIS DE VARIAÇÃO



ultrapassam $1.450 \mu\text{siemens/cm}$, enquanto os máximos anuais atingem 5.000. Veremos a seguir, no parágrafo 4.4, que utiliza mais completamente a informação disponível, que o maior mínimo observado chega até $2.900 \mu\text{siemens/cm}$, mas, mesmo com esta restrição, a variação sazonal de salinidade é considerável;

- constatar que, de uma maneira global, uma proporção de 75% dos casos apresenta uma boa concordância entre os dois anos de 1988 e 1989. Para os outros 25%, aproximadamente a metade, ou seja 10 a 15% do total, apresenta valores muito diferentes, com razão às vezes superiores a 1 para 2. Os casos de maiores discrepâncias são relativos ao parâmetro máximo anual de salinidade.

Fazendo um exame detalhado de todos os casos que ficaram fora do intervalo $\pm 250 \mu\text{siemens/cm}$, no sentido de procurar algum fator que pudesse introduzir uma coerência para explicar esses desvios entre os dois anos, constata-se que os diversos tipos de fontes se comportam de maneira diferente:

- *nenhum rio regularizado* apresenta sensível diferença entre os anos 1988 e 1989. Isto significa que a qualidade das águas do reservatório de regularização não apresenta variação interanual importante;
- *três, dos quatro rios perenes* que foram considerados para esta comparação, apresentam mínimos anuais de salinidade global sensivelmente diferentes entre os dois anos, enquanto os máximos anuais se mostram quase perfeitamente iguais. A constatação desta semelhança dos máximos anuais se enquadra bem com a forte aridez regional, que reproduz cada ano condições hídricas secas muito semelhantes nos solos das bacias. No que diz respeito à dispersão dos mínimos anuais, muito provavelmente, trata-se de um problema de amostragem inadaptada para evidenciar mínimos reais que acontecem no momento das enchentes: com um número anual de enchentes bastante reduzido, uma amostragem mensal tem pouca probabilidade de coletar dados representativos;
- *dois dos açudes pequenos e médios*, sobre os 5 comparados, apresentam variação enorme da amplitude anual de variação sazonal de salinidade entre os dois anos, devido a máximos extremamente diferentes. Trata-se de dois açudes cujo dimensionamento provoca possível esvaziamento por evaporação (o da propriedade Porteiros, na Paraíba, já citado anteriormente, e que secou em 1988, e o da propriedade Ipueiras, também na Paraíba, que o irrigante teve que substituir, em época seca, por outra fonte de água, devido a escassez das reservas naquela estação);
- *um açude grande*, sobre os 5 comparados, apresentou em 1988 um máximo anual de salinidade quase duplo do de 1989. Trata-se de um caso interessante, pois corresponde a um ponto de amostragem do açude de Boqueirão, na Paraíba, situado na propriedade Serra do Pituassu. Ora, o mesmo açude foi

amostrado em quatro outros pontos, e todos eles mostraram grande estabilidade interanual. Acontece que a propriedade Serra do Pituassu explorou um braço profundo do açude; é um fato bem conhecido que, em condições semelhantes, um braço de menor profundidade tende a salinizar-se mais, sem que a circulação entre o braço e o resto do açude seja suficiente para realizar a homogeneização. Este fato bastante espetacular deve ser levado em consideração, quando houver alternativas, no momento de decidir o local de captação.

- *três dos poços naturais e poços nos rios, sobre os 5 comparados, apresentam variação sensível de comportamento anual, seja nos valores de mínimo anual, seja nos valores de máximo anual, e um quarto caso apresenta, em 1988, um máximo anual quase o triplo do de 1989.* Como comentado anteriormente, este tipo de fonte, conforme a configuração do local, pode ser dos mais propícios, como certos açudes pequenos e médios, à concentrações excessivas pela evaporação;
- *enfim, apenas dois, dos 10 poços amazonas comparados, mostraram sensíveis diferenças entre os valores de máximos anuais de salinidade. O comportamento destes dois poços é muito diferente do resto do conjunto, e as diferenças são importantes, enquanto os outros poços apresentam comportamento muito semelhante entre os dois anos. Temos motivos para formular a hipótese de que esses dois casos correspondem a poços que se beneficiaram de uma diluição excepcional devida ao alagamento do local, mas não conseguimos informações seguras para confirmar esta hipótese.*

Além de considerar o fator tipo de fonte, tentamos encontrar uma relação entre as diferenças observadas e as chuvas, mas sem sucesso.

Afinal, após colocar à parte o caso dos rios perenes, verifica-se que, ***assimilando mais uma vez uma fonte de água a um reservatório, chega-se à conclusão de que o fator de coerência procurado e o parâmetro mais importante para determinar as variações sazonais de salinidade é a inércia do reservatório, que condiciona a sua resposta aos fatores de variação de***

salinidade de origem climática, ou seja, o efeito de diluição das chuvas e o efeito de concentração da evaporação. Esta inércia é relacionada, em primeiro lugar, ao volume de água do reservatório, ao qual se adiciona, para os poços amazonas, a proteção, pela profundidade, contra o impacto direto dos eventos climáticos. Após constatada, essa relação é tão simples que parece uma evidência. Mas também a coisa é tão coerente, que compensa o número reduzido de dados disponíveis para este estudo de variação sazonal.

4.4. Distribuição dos mínimos anuais, máximos anuais e amplitudes de variação anual de salinidade para os vários tipos de fontes.

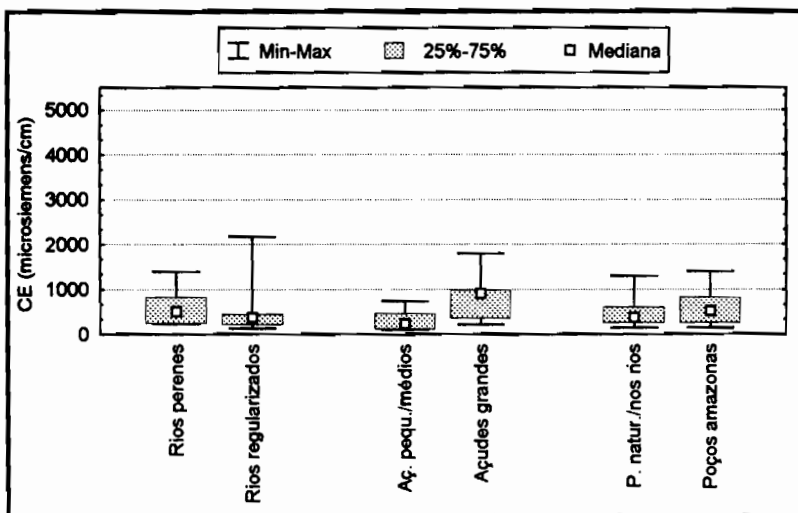
Vale assinalar, previamente, um problema de metodologia: tratar juntamente todos os dados disponíveis para os dois anos, apesar de todas as fontes não possuírem sistematicamente um par de parâmetros mínimo-máximo anual para cada ano, consiste implicitamente em duplicar o peso daqueles pontos que têm os dois anos completos. Tendo em vista que 75% das fontes consideradas apresentam um comportamento interanual homogêneo e o resto não, esta maneira de proceder pode introduzir um desvio nas distribuições que se pretende estabelecer, se os pontos de peso duplo não são aleatoriamente repartidos em relação a esta diferença de comportamento. Visto o número limitado de dados disponíveis, foi decidido tratar juntamente todos os dados existentes, assumindo o risco de um certo erro, mas aproveitando a totalidade da informação existente.

Os gráficos 4.2a, 4.2b e 4.2c apresentam as distribuições observadas, sucessivamente, para os três parâmetros, cada gráfico permitindo comparar os seis tipos de fontes entre si. A mesma escala foi utilizada para os mínimos e os máximos, a fim de facilitar as comparações.

Estes gráficos confirmam, e precisam em termos quantitativos, os resultados já evidenciados no parágrafo anterior. Fora os casos dos rios perenes, o conceito de inércia aplicado aos vários tipos de fontes, consideradas como reservatórios, permite fazer alguns comentários simples e significativos:

Fig. 4.2.

**4.2a. DISTRIBUIÇÃO DOS MÍNIMOS ANUAIS
DE SALINIDADE GLOBAL (Condutividade elétrica = CE)
PARA OS VÁRIOS TIPOS DE FONTES**



**4.2b. DISTRIBUIÇÃO DOS MÁXIMOS ANUAIS
DE SALINIDADE GLOBAL (Condutividade elétrica = CE)
PARA OS VÁRIOS TIPOS DE FONTES**

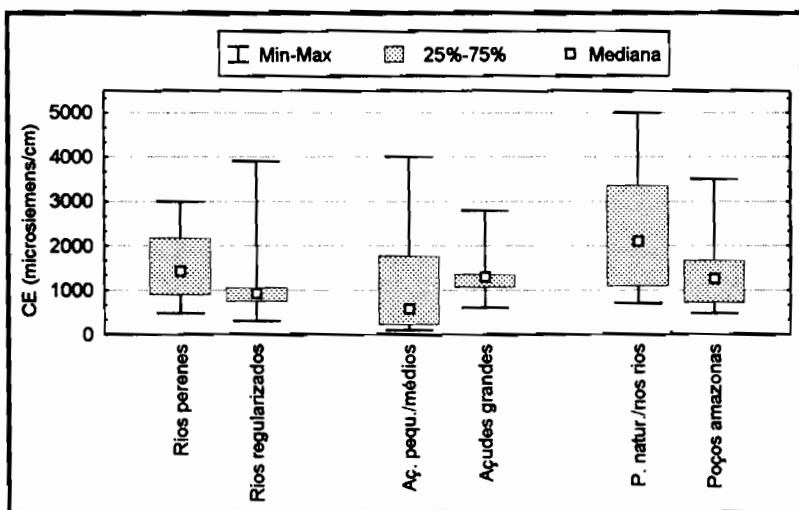
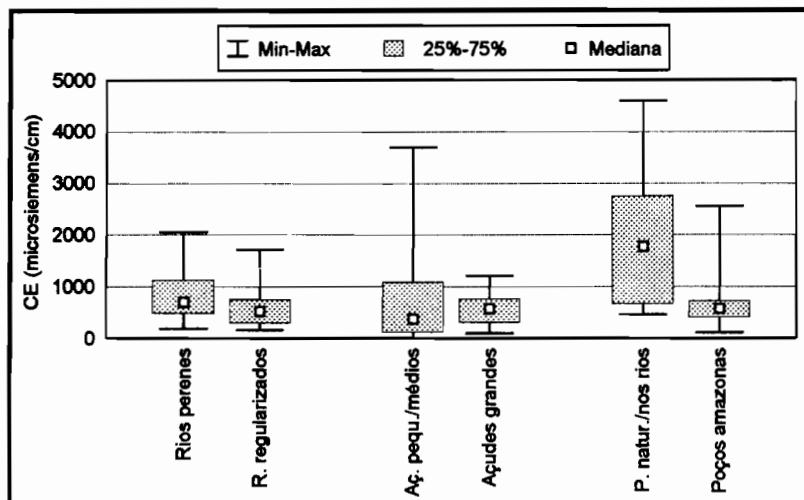


Fig.4.2 (Continuação).

4.2c. DISTRIBUIÇÃO DAS AMPLITUDES ANUAIS DE VARIAÇÃO DE SALINIDADE GLOBAL (Condutividade elétrica = CE) PARA OS VÁRIOS TIPOS DE FONTES



- **a qualidade das águas dos rios perenes** (e também dos rios temporários que não foram estudados neste trabalho) **deve ser considerada à parte**. Ela exprime a resultante, a nível de uma bacia, dos processos biogeoquímicos que caracterizam a dinâmica do sistema e pelos quais as águas de escoamento adquirem os seus caracteres iniciais. A amostragem estudada não pode pretender ser regionalmente representativa devido ao número reduzido de rios contemplados. Mesmo assim, e se os mínimos anuais de salinidade mostram dispersão reduzida e correspondem a águas de boa qualidade, **a diversidade de qualidade dessas águas aparece nitidamente através dos máximos anuais de salinidade, dos quais 50% oscilam entre 1.000 e 2.000 μ siemens/cm**; correlativamente, as amplitudes de variação anual de salinidade são importantes: 50% dos valores observados se situam entre 500 e 1.100 μ siemens/cm, podendo atingir 2.000.

- duas categorias de fontes, **os grandes açudes e os rios perenizados**, estes últimos sendo dependentes dos primeiros, **apresentam uma grande inércia diante das solicitações de origem climática, que tendem a diluir ou concentrar as soluções. Conseqüentemente, as amplitudes anuais de variação de salinidade são as mais baixas**, da ordem de 500 μ siemens/cm; a dispersão destes valores de amplitude também são reduzidas, com 50% em uma faixa igualmente da ordem de 500 μ siemens/cm; enfim, os maiores valores de amplitude anual ultrapassam ligeiramente 1.000 μ siemens/cm para os açudes, chegando a perto de 2.000 para os rios regularizados. No que diz respeito aos valores dos mínimos e dos máximos anuais, esses parâmetros dependem diretamente da amostragem; se o presente conjunto se caracteriza por uma boa qualidade das águas e uma dispersão muito reduzida, tudo que se conhece sobre os açudes leva a pensar que, desde que uma amostragem se tornasse mais ampla, abrangeria águas piores e mostraria maior dispersão.
- ao contrário, duas categorias de fontes, **os açudes pequenos e médios e os poços naturais e poços nos rios**, **apresentam inércia reduzida diante das solicitações de origem climática, que tendem a diluir ou concentrar as soluções.** Conforme o dimensionamento dos primeiros e a configuração dos segundos, podem existir casos em que a evaporação chegue a concentrações elevadíssimas, que tornam as águas inutilizáveis para a irrigação. Apesar de a nossa amostragem ser reduzida numericamente, ela dá uma imagem bastante fiel dessas duas categorias que **se caracterizam por uma extrema diversidade, com valores dos máximos anuais freqüentemente na faixa de 1.000 a 2.000 ou 3.000 μ siemens/cm respectivamente, e podendo atingir e ultrapassar 4.000 e 5.000**, apesar de valores de mínimos anuais de salinidade pouco dispersos e correspondendo a águas de boa qualidade;
- **os poços amazonas, enfim, constituem uma categoria de fonte de água à parte, caracterizada por uma grande inércia diante das solicitações de origem climática, que tendem a diluir ou concentrar as soluções, por dois motivos: um volume suficiente do reservatório, e a sua proteção, pela profundidade, dos efeitos diretos das**

chuvas e da evaporação. Um resultado é que as amplitudes anuais de variação de salinidade são as menos elevadas, apenas algumas centenas de μ siemens/cm para os 50% centrais da distribuição, mas com extremo superior atingindo 2.500. Isto compensa parcialmente o fato de que os valores dos mínimos anuais, sobretudo dos máximos anuais, ficam em uma faixa de qualidade já problemática para o uso em irrigação, esses máximos oscilando, para 50% dos casos, entre 700 e 1.800 μ siemens/cm. Um outro grande problema do uso dos poços amazonas para a irrigação é que a vazão se torna freqüentemente limitada, quando - devido à qualidade pior - necessitaria mais água.

Finalizando este estudo da variação sazonal de salinidade das águas com um enfoque prático, vale salientar dois pontos:

- no momento, fora o modelo de simulação de Laraque (1991) relativo aos pequenos e médios açudes, não existe ferramenta que, a partir de algumas medições de salinidade da água e da determinação de outros parâmetros relativos a uma fonte de água, permita estimar de maneira confiável qual será o pico sazonal de salinidade mais importante para decidir e elaborar um projeto de irrigação;
- nesta situação, permanece a projeção estritamente estatística, uma possibilidade consistindo em utilizar as figuras 4.2b e 4.2c para avaliar este pico, com um nível dado de probabilidade. Estes gráficos não foram estabelecido apenas para interpretar os dados disponíveis, mas também com esta finalidade. Só queremos insistir sobre três condições para utilizá-lo: 1) lembrar as reservas feitas sobre a representatividade da amostragem estudada, fora os poços amazonas, que se baseiam sobre uma sub-amostra de 23 casos acompanhados; 2) considerar esta ferramenta como temporária, destinada a ser aprimorada à medida da aquisição de novo dados; 3) em decorrência das precedentes restrições, considerar a estimativa como indicativa e nunca decidir o investimento em um projeto de irrigação sem complementar essas indicações por medições de salinidade.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1. Resultados adquiridos pela análise dos resultados das águas do GAT.

A caracterização das águas estudadas, do ponto de vista dos riscos de salinização e de sodificação, permitiu reagrupar os oito tipos de fontes contemplados em dois sub-conjuntos: 1) de um lado, as que podem ser chamadas de águas superficiais e reúnem os rios perenes, os rios regularizados, os açudes pequenos, os açudes médios, os açudes grandes, os poços naturais e os poços nos rios; 2) do outro lado, os poços amazonas, onde para uma salinidade global comparável, observa-se um risco de sodificação sensivelmente maior.

O estudo comparado das composições iônicas confirmou que, em relação às águas iniciais pouco concentradas bastante diversificadas, mais freqüentemente de tipo bicarbonatado cálcico e, possivelmente, de tipo misto sódico, as águas mais concentradas são sistematicamente cloretadas sódicas: acima de 1.500 μ siemens/cm de condutividade elétrica, não se observa praticamente nenhuma ocorrência de tipo bicarbonatado ou misto. Foi comprovado que isto se aplica também para as águas de poços amazonas, acerca dos quais se podia temer que os RAS mais elevados observados correspondessem a águas evoluindo em um sentido carbonatado ou menos nitidamente cloretado. Esta característica de as águas mais concentradas serem sempre cloretadas sódicas é fundamental e constitui uma grande sorte para a região, pois se as águas apresentam em grande proporção um risco de salinização bastante alto, esta evolução natural das águas protege-as de riscos elevados de sodificação, que são muito mais

delicados de manejar e muito mais perigosos em termos de danificação do patrimônio solos.

A *variação sazonal de salinidade*, que representa mais uma complicação e uma limitação extremamente importante para o uso das águas da região em irrigação, foi estudada a partir de três parâmetros: os mínimos anuais de condutividade elétrica, os máximos anuais, e as amplitudes anuais de variação.

O caso das águas dos rios deve ser considerado à parte. As suas composições exprimem, a nível de uma bacia, a resultante dos processos biogeoquímicos que caracterizam a dinâmica do sistema e pelos quais as águas de escoamento adquirem os seus caracteres iniciais; os dados disponíveis sobre rios perenes confirmaram a grande diversidade de concentração dessas águas, que variam amplamente no espaço e no tempo.

Para todos os outros tipos de água, assimilando uma fonte de água a um reservatório, chegou-se à conclusão de que o parâmetro mais importante para determinar as variações sazonais de salinidade é a inércia do reservatório, que condiciona a sua resposta aos fatores de variação de salinidade de origem climática, ou seja, o efeito de diluição das chuvas e o efeito de concentração da evaporação.

Assim, os *grandes açudes*, pela importância dos seus volumes de água, os *rios regularizados*, que são o reflexo das águas dos reservatórios de regularização e os *poços amazonas*, devido à importância dos volumes dos reservatórios - que também ficam protegidos, pela sua profundidade, da ação direta das chuvas e da evaporação - são os tipos de fontes de maior inércia e menor amplitude de variação sazonal de salinidade.

Ao contrário, os *açudes pequenos e médios* são reservatórios de inércia muito diversificada, conforme o dimensionamento, e os *poços naturais e poços nos rios* são fontes de inércia geralmente muito reduzida: é para estes tipos de fontes que se observam *amplitudes de variação sazonal de salinidade até excessivas* (a mediana para os poços naturais e poços nos rios é ligeiramente superior a 2.000 μ siemens/cm), *esta amplitude de variação sazonal de salinidade se tomando, então, o fator mais importante para decidir da possibilidade e da maneira de usar essas águas para a irrigação.*

Tentando colocar os resultados obtidos por este trabalho em relação ao panorama geral apresentado no primeiro capítulo, podem-se fazer os comentários a seguir: as *águas dos rios* sempre foram as esquecidas e ainda assim continuam, devido ao número restrito de rios estudados aqui; as informações coletadas sobre os açudes, embora reduzidas, se enquadram bem em relação aos dados abundantes e aos conhecimentos aprofundados já existentes sobre esses reservatórios. A **contribuição mais importante** concerne: 1) *aos lençóis aluviais explorados pelos poços amazonas*, para os quais a caracterização realizada é segura, devido a uma amostragem numericamente importante; 2) *às águas do escoamento subalveolar dos rios, raramente consideradas, exploradas pelos poços naturais e os nos rios*, para as quais, apesar de uma amostragem numericamente limitada, os resultados alcançados podem ser considerados como significativos, devido aos comportamentos contrastados e coerentes observados; 3) *à variação sazonal de salinidade das águas* que, fora o caso dos açudes, nunca tinha sido abordada de maneira sistemática.

5.2. Alguns assuntos de reflexão de ordem geral, relativos ao uso das águas da região em irrigação.

5.2.1. Não pode haver irrigação sem drenagem.

Pode parecer até grosseiro lembrar um princípio tão básico, que ninguém deve ignorar e que, além do mais, não tem nenhum caráter específico em relação à região. Mas esta colocação se justifica por três motivos: o primeiro é que, para o pequeno produtor rural que não tem tradição na prática da irrigação, uma tendência geral freqüentemente observada consiste em superirrigar, pensando que, quanto mais água colocar, melhor. Deve-se tomar providências para fazer evoluir esta mentalidade, pois, de imediato, este procedimento aumenta a necessidade de uma drenagem eficiente; o segundo motivo é que a conclusão de que as águas da região são pouco perigosas do ponto de vista do risco de sodificação pode levar a alguma liberdade em relação à exigência de drenagem; o terceiro motivo é que tal atitude é extremamente perigosa: a ausência de drenagem suficiente leva não apenas à salinização, mas também à sodificação, mesmo com águas de relativamente boa qualidade. E isto é amplamente comprovado na região: já em 1978, Goes estimava entre 25 e 30% o total das áreas afetadas por salinização

nos perímetros irrigados do DNOCS, e sabe-se que uma sensível proporção desta área afetada por sais também é sodificada e que este triste resultado, freqüentemente corresponde a solos irrigados com águas de qualidade aceitável, mas sem drenagem suficiente.

5.2.2. Necessidade de políticas alternativas de irrigação, para aproveitar as águas da região.

O GAT tinha colocado a pequena irrigação em primeiro lugar dentro das tecnologias que deviam ajudar o pequeno produtor rural da região semi-árida nordestina a integrar a economia de mercado e melhorar a sua condição sócio-econômica. Considerando esta meta e o investimento a ser realizado para montar qualquer projeto de irrigação, mesmo de pequena irrigação, foram escolhidas culturas susceptíveis de maior retorno econômico no contexto do mercado, isto é, essencialmente culturas frutíferas (com uma posição privilegiada para a bananeira que, por infelicidade, é uma planta bastante sensível aos sais), as quais necessitam irrigação contínua, por se tratar de plantas perenes.

Os problemas ocorridos na produção devido à salinidade das águas, com casos de real fracasso, permitem concluir que esta solução deve ser limitada às condições favoráveis, e que ***devem ser procuradas soluções alternativas para aproveitar, tanto as águas de qualidade problemática, como águas apresentando grande variação sazonal de salinidade.*** E é bom lembrar, aqui, que as águas dos lençóis aluviais constituem uma reserva de volume considerável (cf. estimativas gerais apresentadas no capítulo 1), mas que são águas problemáticas.

Sem dúvida, resta adequar o aspecto econômico, mas tecnicamente essas alternativas são simples e vão ser apresentadas a seguir, por comparação ao caso ideal de água de boa qualidade, que não apresenta variação sazonal de salinidade limitante e, evidentemente, sem limitação sazonal de quantidade:

- a água é de qualidade medíocre, ou apresenta variação sazonal de salinidade, que, sem chegar a impedir o seu uso, constitui um fator limitante sério; pode-se conservar a irrigação contínua, mas há necessidade de escolher uma planta resistente aos sais;

- a água apresenta variação sazonal de salinidade que proíbe o seu uso na época do pico de concentração: a única solução consiste em usar plantas anuais, e programar o calendário de maneira a melhor aproveitar o recurso na época em que a qualidade fica aceitável. A atitude será semelhante no caso de limitação sazonal da vazão de um poço ou no caso de um pequeno açude de reserva limitada, que deverá ser aproveitada em vez de deixar a evaporação consumi-la e salinizar o reservatório;
- a água é de qualidade bastante ruim, ou a quantidade toma-se insuficiente logo que aparece a época seca: é possível a irrigação de complementação, às vezes chamada, na região, de irrigação de salvação. Este tipo de irrigação pode utilizar águas de salinidade bastante elevada, que permitirão as culturas sobreviverem, durante os períodos secos, no máximo por algumas semanas, os sais trazidos sendo, logo a seguir, lavados pelas chuvas naturais. A irrigação de complementação visa, em primeiro lugar, eliminar os riscos de fracasso das culturas pluviais tradicionais, regularizando assim a produção, mas deve-se encarar as possibilidades realmente oferecidas, incluindo o aumento da produção pela escolha de plantas mais produtivas e de ciclo mais longo, bem como a diversificação das culturas praticadas.

5.3. Sugestões para os irrigantes e os extensionistas.

5.3.1. Medir a salinidade da água. Livrar-se da imprecisão das classes de risco.

Um condutivímetro portátil é um aparelho simples e robusto, que permite medições confiáveis, funciona meses com pilhas comuns encontradas no comércio e custa na faixa de 100 a 300 dólares. Uma medição se faz no campo em alguns minutos, não necessita formação especializada, exigindo só um mínimo de cuidado e de limpeza. O resultado é lido, diretamente em mili ou microsiemens/cm, sem necessitar cálculos. Até as calibrações que devem ser feitas periodicamente são extremamente simples.

São várias as vantagens em realizar tais medições:

- dispor de resultados imediatos e baratos, sem comparação com os prazos e os preços de análises realizadas por laboratórios especializados;
- livrar-se das classes de Riverside, pois a classe C3, que já é uma classe de risco sério de salinização e na qual se encontram um pouco mais que 50% das águas contemplados pelo presente trabalho, vai de 750 a 2.250 μ siemens/cm. É evidente que uma água com uma CE de 800 μ siemens/cm quase não apresenta limitação de uso, mas, a partir de 1.500, as restrições começam a se tornar realmente severas.

Uma vez medida a condutividade elétrica, utilizar os ábacos das figuras 3.27 e 3.28 para avaliar o RAS ou o teor de cloretos.

5.3.2. Nunca tomar decisão sem ter uma boa estimativa não apenas da quantidade, mas também da qualidade da água, incluindo a variação sazonal de salinidade.

No que diz respeito à implantação, ao dimensionamento e, mais geralmente, ao manejo de um novo projeto de irrigação, a regra é simples:

Escolher com cuidado os tipos e os locais possíveis de *captação de água*. Alguns casos particulares foram abordados anteriormente neste trabalho: evitar por exemplo, se for possível, os braços profundos de um açude, avaliar as vantagens e desvantagens entre um poço no rio e um poço amazonas afastado do rio, etc.

Uma vez escolhida a fonte de água, ou selecionadas várias alternativas, pode-se obter uma *indicação prévia, para um tipo de fonte determinado, das faixas de salinidade máximas e das amplitudes de variação anuais possíveis*, a partir dos gráficos 4.2a e 4.2b.

A seguir, não se deve deixar de *realizar medições para avaliar a salinidade das águas e a sua variação sazonal*. No caso de pequeno açude, usar o *Manual do Pequeno Açude* (Molle, 1992), no qual se encontram todas as medidas para melhor avaliar o recurso e decidir do seu uso, não apenas com vista à irrigação, mas como um todo. Além do mais, alguns princípios e ferramentas daquele manual, principalmente os que tratam do dimensionamento de um perímetro

irrigado em relação às quantidades e qualidades de água disponíveis, podem constituir um guia extremamente útil para outros tipos de fontes.

5.3.3. Sugestões de ordem prática para o manejo da irrigação.

As sugestões poderiam ser múltiplas, mas, dentro do nosso assunto de salinidade das águas, resumem-se a um princípio: ***incluir o fator salinidade da água no monitoramento da irrigação.***

Basicamente, a questão é a seguinte: antes de possíveis problemas específicos de toxidez, a primeira, e absolutamente geral, consequência da *presença de sais na solução do solo consiste em reduzir a disponibilidade da água para as plantas*. Isto é devido à pressão osmótica, diretamente proporcional a concentração salina, que se adiciona ao potencial de retenção da água pelo solo do qual a planta extrai a água de que precisa. Sendo o turno de rega calculado para limitar essas forças de retenção a um nível limite otimizado para cada planta, incluir o fator salinidade da água no monitoramento da irrigação significa ***acompanhar a salinidade da água de irrigação e reduzir o turno de rega à proporção que vai crescendo esta salinidade.*** Esta adaptação cabe ao projetista e simplesmente queremos salientar aqui que esta correção não é de ordem de grandeza negligenciável: a pressão osmótica se calcula pela fórmula $P_o = 0,36 \times CE$ (P_o é obtido em milibars enquanto CE é expresso em μ siemens/cm). Isto é uma concentração de 1.000 μ siemens/cm, muito comum na solução do solo, sempre mais concentrada do que a água de irrigação e que correspondem a 1/3 de atmosfera.

A nível de campo, a aplicação desta correção será efetuada diferentemente, conforme o sistema de monitoramento da irrigação. Caso o monitoramento seja realizado na base de tensiômetros, o que é bastante raro (mas altamente recomendável), a correção se deduz imediatamente da altura manométrica escolhida para voltar a irrigar. Caso seja realizado na base de intervalos fixos calculados pelo projetista, o mais simples e eficiente é o projetista calcular várias opções, cada uma adaptada a uma faixa de salinidade. E se isto não existe, resta ao irrigante manejar a planta na base da observação direta e tentar detectar quando aparecem os primeiros sinais de estresse.

5.4. Sugestões aos poderes públicos.

Aos técnicos, extencionistas e irrigantes caberia apresentar aos órgãos públicos, notadamente ao CNPq, EMATER's, Universidades, Bancos de Desenvolvimento etc., as seguintes sugestões:

- incentivar todas as formas de pesquisas que visem a melhor entender a resistência das culturas aos sais, a avaliar a resistência efetiva aos sais das variedades disponíveis e produzir variedades de alta produtividade, resistentes aos sais. Pois está comprovado que pouco se conhece na região sobre o assunto, que este critério raramente foi levado em consideração pelos geneticistas e que a disponibilidade de tais plantas é uma das condições mais importantes para aproveitar as águas da região na irrigação;
- incentivar as pesquisas sobre o papel do solo na aquisição dos caracteres químicos iniciais das águas de escoamento, tanto a nível da análise dos processos, como por estudos integrados a nível de bacias. A idéia é que sendo comprovada a importância deste fator e destes processos para a qualidade das águas, e existindo numerosos mapas de solos na região, estes dados poderiam ser utilizados como um indicador da qualidade das águas, da mesma maneira que entram no modelo hidrológico que permite avaliar os deflúvios das pequenas bacias e dimensionar os reservatórios a serem projetados (Cadier, 1991);
- incentivar todas as formas de levantamento das águas disponíveis na região semi-árida do Nordeste, principalmente no cristalino, incluindo as fontes de extensão limitada, a avaliação da salinidade dos vários tipos de fontes de água e o aspecto de variação sazonal de salinidade, de maneira a se chegar, a curto ou médio prazo, a um zoneamento quantitativo e qualitativo dos recursos de águas realmente disponíveis na região para a pequena irrigação;
- criar um Banco de dados sobre a salinidade das águas dos vários tipos de fontes da região, tendo em vista as dificuldades de acesso às informações hoje disponíveis. O Banco, por estar em um único local, não só facilitaria o acesso às informações mas, também, garantiria a sua confiabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, J.P.T. - **Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste**, Folha 15, Jaguaribe SE, SUDENE, Recife, Série Hidrogeologia, 1971.
- ALVARGONZALEZ, R. - **O Desenvolvimento do Nordeste Árido**, Vol 1 e 2, Ministério do Interior, DNOCS, Fortaleza-CE, 1984.
- ANDRADE, G.O. de; LINS, R.C. - **Os Climas do Nordeste**, In: As Regiões Naturais do Nordeste, o Meio e a Civilização, CONDEPE, Pg. 95/138, Recife-PE, 1971.
- ARAÚJO, J.A. de A. - **Barragens no Nordeste do Brasil: Experiência do DNOCS em barragens na região semi-árida**. Fortaleza, DNOCS, 1982. 158p.
- ARAÚJO Filho, J.B. - **Efeitos de diferentes níveis de salinidade de solo na composição química da folha e crescimento de cultivares de bananeira (Musa sp.)**. Campina Grande, UFPB, 1991.
- AUDRY, P.; SUASSUNA, J. - **A Qualidade da Água na Irrigação do Trópico Semi-árido: um estudo de caso**, In: Seminário Franco-Brasileiro de Pequena Irrigação, Pesquisa e Desenvolvimento, Anais do Encontro, SUDENE e Embaixada da França, Recife, 11 a 13 de dezembro de 1990.
- AYRES. R.S. & WESTCOT, D.W. - **Water quality for Agriculture**. Bull. Irrigation and Drainage nº 29, rev.1, Roma, FAO, 173p., 1985.
- AYRES. R.S. & WESTCOT, D.W. - **A Qualidade da Água na Agricultura**. Tradução de H.R. Gheyi, J.F. de Medeiros, F.A.V. Damasceno. Campina Grande, UFPB, 1991. xxviii, 218p.: il, 22cm (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29 Revisado 1)

- AZEVEDO, H.M. de; MATOS, J. de A. - Avaliação da Performance de Dez Módulos de Irrigação em Pequenas Propriedades do Semi-árido Paraibano, In: Seminário Franco-brasileiro de Pequena Irrigação, Pesquisa e Desenvolvimento, SUDENE/Embaixada da França, Recife-PE, 11 a 13 de dezembro de 1990.**
- AZEVEDO, H.M. de; MATOS, J. de A.; CUNHA, M. de F. B. da - Avaliação da Performance de Sistemas Integrados de Produção (SiP) em Propriedades do Semi-árido Paraibano, Informativo SUEP n° 08, UFPB, Campina Grande-PB, janeiro de 1991.**
- BARRETO Filho, F.L. - Estudos de Condutividade Hidráulica em Solos com Diferentes Teores de Sódio Trocável. Campina Grande, UFPB, 1989. 42p. (Tese de Mestrado).**
- BELTRÃO, A.E.A. - Considerações sobre a Qualidade Química de Água de Poço Angico-Petrolina, Pernambuco, Recife, SUDENE, 1967. 16 f.**
- BELTRÃO, A.E.A. - Inventário Hidrogeológico do Nordeste, Folha 6, Fortaleza SE, SUDENE, Recife, Série Hidrogeologia, 1971.**
- BERNARDO, S. - Manual de Irrigação, 3ª Edição, Viçosa-MG, UFV, Imp. Universitária, 1984, 463 pg.**
- BRESLER, E. - Application of a Conceptual Model to Irrigation Water Requirement and Salt Tolerance of Crops. Soli Sci. Soc. Am. J., 51:789-93, 1987.**
- BRYSSINE, C. - Salinity Problems in the Arid Zones. UNESCO, 1961. p. 245-249.**
- CADIER, E.; ALBUQUERQUE, C.H.C.; ARAUJO Filho, P.F.; NASCIMENTO, P.H.P.; MONTGAILLARD, M. - Dimensionamento de Pequenos Reservatórios Superficiais do Nordeste Semi-árido. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 6, 1989, Foz do Iguaçu, Anais do encontro, ABRH, 1989. v.1, p. 202-213.**

- CADIER, E. - **Hydrologie des Petits Bassins du Nordeste Brésilien Semi-aride**. Thèse de Doctorat. Montpellier, França, 1991. 396 p.
- CAMPELLO, S. - **Modélisation de L'écoulement sur de Petits Cours D'eau do Nordeste (Brésil)**. Thèse. ORSTOM, Paris VI. 121 p.
- CAMPELLO, S., SANGUINETTI, P.A., VIEIRA, H.J.P., et alii. - **Planificação, instalação e operação de uma rede de pequenas bacias representativas em fase de rotina: a experiência da SUDENE**. V Simpósio brasileiro de Hidrologia e de Recursos Hídricos. Tomo 1, 1983.
- CARVALHO, O. de - **Plano Integrado para o Combate Preventivo aos Efeitos das Secas no Nordeste**, MINTER, Série Desenvolvimento Regional, nº 1, Brasília-DF, abril/ 1973.
- CARVALHO, O. de - **O Nordeste Semi-árido: Questão de Economia Política**, Campinas-SP, UNICAMP, Tese de Doutorado, 1985.
- CEDERSTROM, D.J. - **Água Subterrânea: uma Introdução**. USAID, Rio de Janeiro, 1964, 280 p.
- CHADA FILHO, L. - **Água Subterrânea em Rochas Pré-cambrianas do Nordeste**. *Água Subterrânea*, Recife, 1 (3):21-31, jun./ago., 1965. Inclui bibliografia. Sinopse em Inglês.
- CORDEIRO, G.G. - **Caracterização dos Problemas de Sais dos Solos Irrigados de Projeto São Gonçalo**. Campina Grande-PB, UFPB, 1978. 108p. (Tese de Mestrado).
- CORDEIRO, G.G.; BARRETO, A.N. & CARVAJAL, A.C.N. - **Levantamento das Condições de Salinidade e Sodicidade do Projeto de Irrigação de São Gonçalo (2a. parte)**. Petrolina, CPATSA/EMBRAPA, 1988. 57p.
- COSTA, R.G. - **Caracterização da Qualidade de Água de Irrigação na Microrregião Homogênea de Catolé do Rocha (MRH - 89)**. Tese de Mestrado, Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba, 1982. 89p.

- COSTA, R.G.; GHEYI, H.R. - Variação da Qualidade de Água de Irrigação da Microrregião Homogênea de Catolé do Rocha PB. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 19:1012-1025, 1984.**
- COSTA, W.D. - Análise dos Fatores que Influenciam na Hidrogeologia do Cristalino. Água Subterrânea, Recife, 1 (4):14-47, set./dez., 1965. Inclui bibliografia. Sinopse em Inglês.**
- CRUZ, W. - Alguns Aspectos de Circulação e Salinização de Água Subterrânea em Rochas Cristalinas no Nordeste do Brasil. SUDENE, Recife, Série Hidrogeologia 8, Divisão de Documentação, 1967.**
- CRUZ, W.B.; FRANÇA, H.P.M. - Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste, Folha 14, Jaguaribe SO, SUDENE, Recife, Série Hidrogeologia, 1971.**
- CRUZ, W.B.; MELO, F.A.F. - Zoneamento Químico e Salinização da Águas Subterrâneas do Nordeste do Brasil. In: Boletim de Recursos Naturais - SUDENE. 7(1/4):7-40. jan.-dez. 1969.**
- CRUZ, W.B.; MELO, F.A.F. - Estudo Geoquímico preliminar das águas subterrâneas do Nordeste do Brasil, SUDENE, Divisão de Documentação, Série Hidrogeologia n° 19, Recife, Junho de 1974.**
- DAKER, A. - A Água na Agricultura - Manual de Hidráulica Agrícola. Vol. I, II, III, 3ª ed. Rio de Janeiro. 1970.**
- DEMÉTRIO, J.G.A.; DOHERTY, F.R.; ARAUJO FILHO, P.F. de; SCHEFFER, S. - Qualidade de Água Subterrânea no Nordeste Brasileiro, UFPE/IPA/LAMEPE, Comunicação Oral, In: 45ª Reunião Anual da SBPC, Anais da Reunião, Recife-PE, 11 a 16 de julho de 1993, pg. 79.**
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. - Efeito da Água no Rendimento das Culturas. Tradução de H.R.Gheyi, A.A de Souza, F.A.V. Damasceno, J.F de Medeiros. Campina Grande, UFPB, 1994. xxiv, 306 p.:il,22 cm (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33)**

- DUQUE, J.G. - Solo e Água no Polígono das Secas, Coleção Mossoroense, Vol. CXLII, Mossoró-RN, 1980 a.**
- DUQUE, J.G. - O Nordeste e as Plantas Xerófilas, Coleção Mossoroense, Vol. CXLIII, Mossoró-RN, 1980 b.**
- EATON, M. - Significance of Carbonate in irrigation Waters. Soil Sci., 69, p. 123-133, 1950.**
- EBERT, H. - O Embasamento Cristalino do Nordeste como Eventual base de Abastecimento com Águas Subterrâneas; estudo baseado no levantamento hidrogeológico de uma parte do Cariri paraibano. Recife, SUDENE, 1961. 15 f.**
- FERREIRA, J.C. - Hidrogeologia das Bacias Sedimentares do Tucano e Jatobá. Salvador, PETROBRÁS, 1964.**
- GHEYI, H.R. - Prevenção, Manejo e Recuperação dos Solos Irrigados com Problemas de Sais. Relatório final. Convênio FINEP/UFPB, B/74/81/210/00/00. Campina Grande, UFPB, 1983.**
- GHEYI, H.R. - Efeito da Qualidade da Água no Crescimento inicial da Bananeira Nanica (resumo). In: Seminário Franco-Brasileiro de Pequena Irrigação, Pesquisa e Desenvolvimento. Anais do encontro, p. 154/160. SUDENE, Recife, 1990.**
- GHEYI, H.R. et alii. - Efeito da Salinidade do Solo em Crescimento Inicial de Diferentes Cultivos de Bananeira. In: Seminário Franco-Brasileiro de Pequena Irrigação, Pesquisa e Desenvolvimento. Anais do encontro, p. 161/167, SUDENE, Recife, 1990.**
- GHEYI, H.R.; SILVA JUNIOR, L.G.A ; MEDEIROS, J.F. de. Avaliação da Qualidade de Água de Irrigação mediante Utilização de Relações Empíricas, Sessão de Painéis, In: 45ª Reunião Anual da SBPC, Anais da Reunião, Recife-PE, 11 a 16 de julho de 1993.**

- GOES, E.S. O problema de salinidade e drenagem em projetos de irrigação do Nordeste e a ação da pesquisa com vistas a seu equacionamento.** IN: REUNIÃO SOBRE SALINIDADE EM ÁREAS IRRIGADAS. Anais da reunião, Fortaleza, SUDENE, 4 e 5 de maio de 1978, p. 04-24.
- GUERRA, P.; GUERRA, T. - Secas Contra as Secas.** Mossoró; [s.n.], 1980. 313 p. (Col. Mossoroense, 29; Série C)
- KREYSING, K; LENZ, R. ; RIBEIRO, G.F. Salinização das águas subterrâneas no centro do polígono das secas do Nordeste brasileiro -** Estudo hidrogeológico no Oeste de Pernambuco e Nordeste da Bahia, vol. 1, SUDENE, Divisão de Documentação, Série Hidrogeologia nº 46, Recife, agosto de 1973.
- LARAQUE, A. - Estudo e Previsão da Qualidade Química da Água dos Açudes do Nordeste Semi-árido Brasileiro.** Recife, SUDENE, 1989. 95p. (Convênio SUDENE/ORSTOM. Série Hidrologia, 26).
- LARAQUE, A. - SIMSAL: Um Modelo de Previsão da Salinização dos Açudes do Nordeste Brasileiro.** Recife, 1989. VIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Vol 2, pp. 638-649. Foz do Iguaçu. 1989.
- LARAQUE, A. - Comportements hydrochimiques des "Açudes" du Nordeste Bresilien Semi-aride.** Thèse de Doctorat. Montpellier, França, 1991. 394 p.
- LEAL, A.S. - Considerações sobre Circulação de Água em Rochas Cristalinas e Salinização em Região Árida - Área Piloto de Juazeiro/Curaçá BA.,** SUDENE, Recife, Série Hidrogeologia 24, 1969.
- LEAL, O. - Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste.** Folha 9, Jaguaribe NO, SUDENE, Recife, 1971.
- LEAL, A.S. - Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste,** Folha 19, Aracajú NO, SUDENE, Recife, Série Hidrogeologia, 1971.

- LEAL, J.M. - Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste, Folha 20, Aracajú NE, SUDENE, Recife, Série Hidrogeologia, 1971.**
- LEITE, L.M. - Caracterização da Qualidade da Água Superficial na Bacia Capiá-AL para Fins de Irrigação. Campina Grande, UFPB, 1991. 96p. (Tese de Mestrado)**
- LEPRUN, J.C. - Primeira Avaliação das Águas Superficiais do Nordeste: Relatório de fim de convênio de manejo e conservação do solo do Nordeste brasileiro, Recife, SUDENE-DRN, 1983, Pg. 91-141, Convênio SUDENE/ORSTOM.**
- MACHADO, R.T.M. - Avaliação Organizacional de Casos do Subprograma Geração e Adaptação de Tecnologias (PDCT/GAT), Escola Superior de Agricultura de Lavras-MG, Tese de Mestrado, 1992.**
- MANOEL FILHO, J. - Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste, Folha 10 Jaguaribe NE, SUDENE, Recife, Série Hidrogeologia, 1971.**
- MANOEL FILHO, J. - Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste, Folha 11, Paraíba NO, SUDENE, Recife, Série Hidrogeologia, 1971.**
- MEDEIROS, J. F. - Qualidade da água de irrigação nas propriedades assistidas pelo subprograma GAT/PDCT-NE nos Estados do RN, PB e CE e evolução da salinidade nas áreas irrigadas. Tese de mestrado, Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba, novembro de 1992, 179 p.**
- MOLINIER, M; AUDRY, P; DESCONNETS, J.C.; LEPRUN, J.C. - Dinâmica da Água e das Matérias num Ecossistema Representativo do Nordeste Brasileiro: Condições de Extrapolação Espacial à Escala Regional, ORSTOM, Recife, 1989.**
- MOLLE, F.; CADIER, E. - Potencialidades dos Açudes e Dimensionamento das Áreas Irrigadas. Rev. ITEM. ABID, n° 27, p.32-36, 1986.**

- MOLLE, F. - Perdas por Evaporação e Infiltração em Pequenos Açudes.** Recife; SUDENE-DPG-PRN-GT.HME, 1989.172p. (Brasil. SUDENE Hidrologia, 25). "Convênio SUDENE/Cooperação Francesa".
- MOLLE, F. - Aspectos do processo de salinização dos açudes.** SUDENE/Cooperação Francesa - ORSTOM, Recife, 1990,21 p.
- MOLLE, F. - Marcos Históricos e Reflexões sobre a Açudagem e seu Aproveitamento.** Mossoró. ESAM, 1991a. (Coleção Mossoroense, 653; série C).
- MOLLE, F. - Caractéristiques et Potentialités des Açudes du Nordeste Brésilien.** Thèse de doctorat. Montpellier, França, 1991b. 381 p.
- MOLLE, F.; CADIER, E. - Manual do Pequeno Açude: construir, conservar e aproveitar pequenos açudes,** SUDENE/ORSTOM/TAPI, Recife, 1992.
- NASCIMENTO, P.A.B. - Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste,** Folha 29, Bahia NE, SUDENE, Recife, Série Hidrogeologia, 1971.
- NEVES, B.B.B. - Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste,** Folha 24, Aracajú SO, SUDENE, Recife, Série Hidrogeologia, 1970.
- OLIVEIRA, F.T.G. de; BATISTA DA SILVA, J. - Retorno do Investimento em Pesquisa Feita pela EMBRAPA: Contribuição ao Controle dos Efeitos da Seca no Nordeste,** In: Quinto Livro das Secas, Coleção Mossoroense, Vol. CXCI, Mossoró-RN, 1983.
- PEREIRA, F.A.M.; HOLANDA, J.S.; MEDEIROS, J.D.F. & BRITO, R.A.L. - Qualidade de Água para Irrigação no Seridó-RN.** Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 9. 1991. Natal. Anais. Fortaleza, 1992. 2v. em 5. (Tomo 1). p. 543-562.

- PEREIRA, F.A.M.; MEDINA, B.F.; GHEYI, H.R. & ETCHEVERS, J.D. - **Solos Afetados por Sais no Nordeste. II. Correlação Entre Sódio Solúvel e Intercambiável.** R. Bras. Ci. Solo, 6:167-70, 1982.
- PEREIRA, Z.M.P. - **Possibilidades do Uso de Água Salina na Recuperação de Solos Sódicos do Perímetro Irrigado de São Gonçalo.** In: Seminário Nacional de Irrigação e Drenagem, 3, 1975, Fortaleza. Anais. Fortaleza, MINTER/DNOCS/ABID, 1977.
- PIMENTA, H.S. - **Efeito do Sódio Trocável, da Concentração Salina e da Relação de Adsorção de Sódio na Condutividade Hidráulica de um Solo Aluvial.** Piracicaba, USP, 1991. 95p. (Tese de Mestrado).
- REBOUÇAS, A. da C. - **Algumas Considerações sobre a Hidrogeologia dos Terrenos Cristalinos do Nordeste.** B. Rec. Nat. /da/SUDENE, Recife, 3 (1/4): 109-22, 1965
- REBOUÇAS, A. da C.; GASPARY, J. - **Perspectives sur L'utilisation des Eaux Souterraines dans le Nort-est Brésilien.** Terres et eaux, Paris, 19 (49): 17-33, oct./dec. 1966.
- REBOUÇAS, A.C.; GASPARY, J. - **As Águas Subterrâneas do Nordeste: Estimativas Preliminares.** SUDENE, Recife, Divisão de Documentação, 1966, 29 p.
- REBOUÇAS, A. da C. ; MARINHO, M.E - **Hidrologia das Secas do Nordeste do Brasil,** Recife-PE, SUDENE-DRN, Divisão de Hidrologia, 1972, 12 p, (BRASIL. SUDENE. Hidrogeologia, 40).
- REBOUÇAS, A.C. - **Le Problème de l'eau dans la Zone Semi-aride du Brésil.** Strasbourg, L'Universite Louis Pasteur de Strasbourg. 1973. Tese.
- SALASSIER, B. **Manual de Irrigação.** 3ª ed. Viçosa, UFV, Impr. Univ. 1984, 463 p.

- SANTOS, J.P., AZEVEDO, S.G. & MISTRETTA, G.M. - **Novos Aspectos da Salinização das Águas do Cristalino do Rio Grande do Norte**. São Paulo, IPT, 1984. 27p. (Comunicação Técnica, 314).
- SCALLOPI, E.D. & BRITO, R.A.L. - **Qualidade da Água e do Solo para Irrigação**. Belo Horizonte. Informe Agropecuário. 139(12):80-94, jun. 1986.
- SILVA, A.B.; SILVA, F.A.C. - **Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste**, Folha 5, Fortaleza SO, SUDENE, Recife, Série Hidrogeologia, 1971.
- SILVA Junior, L.G.A. - **Método Empírico para Avaliação da Qualidade da Água de Irrigação**. Tese de Mestrado, Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba, 1993, 103 p.
- SIQUEIRA, L. - **Aspectos Hidrogeológicos do Cariri Paraibano**. B. Rec. Nat. /da/SUDENE, Recife, 1 (1): 11-44, out./dez., 1963. Inclui bibliografia, Resumo em português e Inglês.
- SIQUEIRA, L. - **Contribuição da Geologia à Pesquisa de Água Subterrânea no Cristalino**. Água Subterrânea, Recife, 2 (9): 1-29, jan/mar. 1967.
- SOUZA, H.R. de - **O impacto da Irrigação sobre o Desenvolvimento do Semi-árido Nordestino: Situação Atual e Perspectivas**, Revista Econômica do Nordeste, Vol. 21, nº 3/4, p. 481-516, Fortaleza-CE, jul/dez. 1990.
- SOUZA SILVA, A. de; PORTO, E. R.; LIMA, L.T. de; GOMES, P.C. F. - **Cisternas Rurais: Dimensionamento, Construção e Manejo**, EMBRAPA/CPATSA, Circular Técnica nº 12, Petrolina-PE, setembro, 1984.
- SOUZA SILVA, A.; PORTO, E.R.; SOARES, J.M. - **Tecnologias para o Desenvolvimento de Propriedades Agrícolas do Trópico Semi-árido**, In: Pequenos Agricultores V: Métodos de Execução de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIP), Série Documentos nº 66, EMBRAPA/CPATSA, Petrolina-PE, 1990.

- SUAREZ, D.L. - **Relation between pHc and sodium adsorption ratio (SAR) and an alternate method of estimating SAR of soil or drainage waters.** Soil Sci. Soc. Amer. J., 45: 469-475, 1981.
- SUASSUNA, J. - **Opções e limitações tecnológicas para a Região Semi-árida do Nordeste.** Coleção Mossoroense, série B, n° 658, Mossoró, 1989.
- SUASSUNA, J. - **O PDCT e a Pequena Irrigação no Nordeste,** In: Seminário Franco-Brasileiro de Pequena Irrigação, Pesquisa e Desenvolvimento, Anais do Encontro, SUDENE e Embaixada da França, Recife, 11 a 13 de dezembro de 1990.
- SUASSUNA, J.; AUDRY, P. - **Estudo da Salinidade das Águas de Irrigação das Propriedades do GAT e da sua Evolução Sazonal, Durante os anos de 1988 e 1989: catálogo das observações de campo e dos resultados das análises,** CNPq/BID/PDCT-NE/FUNDAJ, Recife, setembro de 1992 a, Pg. 318.
- SUASSUNA, J.; AUDRY, P. - **Estudo da Salinidade das Águas Utilizadas em Pequena Irrigação no Nordeste e da sua Evolução Sazonal, durante os anos de 1988 e 1989,** CNPq/ORSTOM/FUNDAJ, Informe Técnico, In: I Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Anais do Simpósio, Recife, 25 a 27 de novembro de 1992 b, Pg. 303-305.
- SUASSUNA, J.; AUDRY, P. - **Estatística de Salinidade das Águas de Irrigação do Nordeste Semi-árido Brasileiro,** ORSTOM/FUNDAJ, Comunicação Oral, In: 45ª Reunião Anual da SBPC, Anais da Reunião, Recife - PE, 11 a 16 de julho de 1993, Pg. 53.
- SUASSUNA, J. - **A Pequena Irrigação do Nordeste: Algumas Reflexões,** IN: Caderno de Estudos Sociais, Fundação Joaquim Nabuco, Vol. 09, n° 1, janeiro/junho, Recife, 1993.
- SUASSUNA, J. - **A Pequena Irrigação no Nordeste: Algumas Preocupações,** Revista Ciência Hoje, Vol. 18, n° 104, Outubro de 1994.

- SUASSUNA, J. - **Difusão de Tecnologia Agrícola: uma Experiência no Nordeste Brasileiro.** IN: *Ciência & Trópico*, Fundação Joaquim Nabuco, Recife, 1994, no Prelo.
- SUSZCZYNSKI, E. -**Hidrogeologie des Terrains Cristallins du Nordeste Brasilien.** Recife, SUDENE - DRN/HG, 1967. 15 p. mapas.
- TALTASSE, P. et alii. - **Inventário dos Recursos Hídricos da Bacia do Rio Piranhas PB.** SUDENE, Recife, Série Hidrogeologia 43, Divisão de Documentação, 1973.
- TUKEY, J.W. - **Exploratory Data Analysis.** Addison- Wesley Publishing Company, Reading, USA, 688 p. 1976.
- UNITED STATES SALINITY LABORATORY STAFF - **Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils.** Agriculture Handbook n° 60, L. A. Richards Edit., Washington, 1954, 159 p.
- VALDIVIESO-SALASAR, C.R.; CORDEIRO, G.G. - **Perspectivas de Uso das Águas Subterrâneas do Embasamento Cristalino no Nordeste,** Ministério da Agricultura, EMPRAPA/CPATSA, Série Documentos n° 39, Petrolina-PE, novembro, 1985.