



## PERSPECTIVAS DO USO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO EMBASAMENTO CRISTALINO NO NORDESTE SEMI-ÁRIDO DO BRASIL



MINISTÉRIO DA AGRICULTURA - MA  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA  
Centro de Pesquisa Agropecuária  
do Trópico Semi-Árido - CPATSA  
Petrolina, PE

DOCUMENTOS

Número 39

ISSN 0100-9729

novembro, 1985

PERSPECTIVAS DO USO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS  
DO EMBASAMENTO CRISTALINO NO NORDESTE  
SEMI-ÁRIDO DO BRASIL

Carlos Reeder Valdivieso-Salazar  
Gilberto Gomes Cordeiro



MINISTÉRIO DA AGRICULTURA-MA  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA  
Centro de Pesquisa Agropecuária  
do Trópico Semi-Árido-CPATSA  
Petrolina, PE

EMBRAPA-CPATSA. Documentos, 39

Exemplares desta publicação podem ser solicitados à  
EMBRAPA-CPATSA

BR 428, km 152

Telefone: (081) 961 4411

Telex: (081) 1878

Caixa Postal 23

56300 Petrolina, PE

Tiragem: 5.000 exemplares

Comitê de Publicações:

Edson Lustosa de Possídio - Presidente

Manoel Abílio de Queiroz

Paulo César Fernandes Lima

Luiz Maurício Cavalcante Salviano

Assessoria científica deste trabalho:

José Monteiro Soares

Octávio Pessoa Aragão

Valdivieso Salazar, Carlos Reeder

Perspectivas do uso das águas subterrâneas do embasamento cristalino no Nordeste semi-árido do Brasil, por Carlos Reeder Valdivieso Salazar e Gilberto Gomes Cordeiro. Petrolina, PE, EMBRAPA-CPATSA, 1985.

40p. (EMBRAPA-CPATSA. Documentos, 39)

1. Água subterrânea-Uso-Brasil-Região semi-árida. 2. Água salina-Irrigação. I. Cordeiro, Gilberto Gomes, colab. II. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido, Petrolina, PE. III. Título. IV. Série.

CDD - 551.4909813

## APRESENTAÇÃO

O máximo aproveitamento da água disponível no semi-árido do Nordeste do Brasil é, para a agricultura da região, uma questão de fundamental importância.

Nas regiões de caatinga, afastadas de rios e riachos, as chuvas erráticas, que se constituem na principal fonte de água para a agricultura de sequeiro, não são suficientes para permitirem colheitas regulares a cada ano.

As águas subterrâneas nestas regiões são escassas e com teores altos a muito altos de sais dissolvidos, provenientes do embasamento cristalino. Mesmo assim constituem-se na única fonte de água destas regiões durante grande parte do ano. Daí a sua grande importância na ampliação de opções de produção agrícola para o habitante da caatinga.

Para o aproveitamento destas águas têm sido perfurados mais de 20.000 poços tubulares por iniciativa oficial ou particular mas, devido às vazões reduzidas e qualidade imprópria, este recurso está sendo subutilizado, limitando o seu uso para consumo animal.

O CPATSA, no seu propósito de contribuir para o desenvolvimento das regiões mais carentes, empreendeu, desde 1982, o estudo do uso potencial do mencionado recurso na agricultura, como água de irrigação para a produção de forragens e grãos. Este trabalho apresenta uma revisão e avaliação dos levantamentos existentes das águas subterrâneas e uma visualização das perspectivas de uso dessas águas, além de alguns resultados preliminares e informações econômicas importantes.

RENIVAL ALVES DE SOUZA

Chefe do Centro de Pesquisa Agropecuária  
do Trópico Semi-Árido.

## SUMÁRIO

RESUMO/ABSTRACT.....	7
1. INTRODUÇÃO.....	9
2. INFORMAÇÃO FÍSICA	
2.1. Localização.....	10
2.2. Hidrometeorologia.....	12
2.2.1. Precipitação.....	12
2.2.2. Evapotranspiração.....	12
2.2.3. Déficit Hídrico.....	13
2.3. Hidrogeologia	
2.3.1. Conformação do Aquífero.....	13
2.3.2. Condições Hidrodinâmicas.....	15
2.3.3. Potencialidade do Recurso.....	16
2.3.3.1. Rendimento dos Poços.....	16
2.3.3.2. Geoquímica.....	17
2.4. Custos de Exploração.....	22
2.4.1. Perfuração.....	22
2.4.2. Instalação.....	23
2.4.3. Operação.....	23
3. UTILIZAÇÃO DAS ÁGUAS.....	23
3.1. Perspectivas de Uso e suas Implicações	
3.1.1. Consumo Humano.....	23
3.1.2. Pecuária.....	24
3.1.3. Agricultura.....	24
3.2. Análise Econômica.....	32
4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	36
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37
ANEXO 1 - Dados climáticos e valores de evapotranspi ração do Perímetro Irrigado de Bebedouro, Petrolina, PE.....	40

PERSPECTIVAS DO USO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS  
DO EMBASAMENTO CRISTALINO NO NORDESTE  
SEMI-ÁRIDO DO BRASIL

Carlos Reeder Valdivieso-Salazar<sup>1</sup>  
Gilberto Gomes Cordeiro<sup>2</sup>

RESUMO - Mais de 16.000 poços já foram perfurados nas rochas ígneas metamórficas do embasamento cristalino do semi-árido do Nordeste do Brasil, segundo levantamento de 1983. Os aquíferos nestas formações são constituídos por fraturas e fendas da rocha, cujas características hidrogeológicas se desconhecem. Características de vazões desses poços e qualidade das águas têm marginalizado a utilização racional desse recurso. Assim, têm-se vazões que variam entre 0,0 a mais de 16.000  $\ell/h$  e pode-se dizer que, em geral, as águas são mineralizadas em maior ou menor grau, com teores de resíduo seco variando entre 1 a 10  $g/\ell$ . O objetivo deste trabalho é, pois, apresentar as alternativas e possibilidade de uso destas águas subterrâneas do embasamento cristalino na região, ainda em estudo por técnicos do CPATSA, além de uma síntese da informação existente na literatura. Acompanha o trabalho um estudo de justificativas econômicas para esse uso.

Termos para indexação: água salina, água subterrânea, poços tubulares, embasamento cristalino, irrigação.

UTILIZATION PERSPECTIVES OF SALINE GROUNDWATER  
FROM CRISTALLINE BASEMENT ROCK OF  
SEMI-ARID NORTHEAST OF BRAZIL

ABSTRACT - More than 16.000 deep wells have been perforated in the igneous - metamorphic Rocks of the cristalline formation of the semi arid Northeast of Brazil. The aquifers in question are made up by fractures, falts, etc of rocks. The hydrogeologic characteristics of these aquifers are still unknown. Yield properties of those wells and the water quality made their use very limited. Yields vary from zero up to more than 16.000  $\ell/hr$  and it can be said that those waters are in general mineralized presenting concentrations of total dissolved solids that vary from 1 to 10  $gr/\ell$ . The objective of this paper is to present, besides a syntese of the existing information on this matter, some alternatives or utilization possibilities of those waters with the help of some partial results of CPATSA experiences. An economic justification of this alternative is also approached.

Index terms: saline water, groundwater, tube wells, cristalline basement, irrigation.

1 Eng. Agrícola, M.Sc., Consultor em Irrigação e Drenagem do IICA/EMBRAPA-Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA), Caixa Postal 23, CEP 56300 Petrolina, PE.

2 Eng. Agr., M.Sc., EMBRAPA-CPATSA.

PERSPECTIVAS DO USO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS  
DO EMBASAMENTO CRISTALINO NO NORDESTE  
SEMI-ÁRIDO DO BRASIL

Carlos Reeder Valdivieso-Salazar<sup>1</sup>  
Gilberto Gomes Cordeiro<sup>2</sup>

## 1. INTRODUÇÃO

Entre os fatores limitantes da produção agropecuária da região semi-árida do Nordeste do Brasil, a água é um dos fatores principais. Em análise realizada sobre o desenvolvimento da agricultura nordestina (Brasil. SUDENE 1980) menciona-se que, no Nordeste semi-árido, a área irrigada é inferior a 125.000 ha, representando apenas 0,24% do total cultivado.

A principal fonte de água na produção agrícola do sertão semi-árido do Nordeste é, ainda, a água de chuva.

Outra fonte de água, ainda em estudo e com potencial para a exploração agrícola, são as águas superficiais de rios perenes, como o São Francisco, o Salitre (BA) e outros, além da água armazenada em açudes construídos no leito de rios de regime irregular.

Uma terceira fonte importante, pouco explorada, é a das águas subterrâneas, de origem pluvial ou fluvial armazenadas no "subsolo".

Dois são os principais sistemas de armazenamento de água subterrânea no Nordeste: os sistemas de bacias sedimentares e o sistema de embasamento cristalino.

---

<sup>1</sup> Eng. Agrícola, M.Sc., Consultor em Irrigação e Drenagem do IICA/EMBRAPA-Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA), Caixa Postal 23, CEP 56300 Petrolina, PE.

<sup>2</sup> Eng. Agr., M.Sc., EMBRAPA-CPATSA.

O primeiro inclui os sedimentos clásticos da bacia do Parnaíba (PI e MA), aquíferos costeiros, e a seqüência sedimentar da bacia do Apodi (RN), rochas areníticas, conglomerados da bacia do Açu (RN), os arenitos da Chapada do Cariri (CE), e no interior do cristalino na bacia do Salitre e Jacaré (BA) (Fig. 1). O recurso hídrico nos aquíferos de bacias sedimentares é de comprovado potencial pela quantidade e qualidade de boas referências na literatura.

O segundo sistema, o do embasamento cristalino, objeto desta publicação, são "aquíferos" de potencial muito menor que o anterior e de hidrologia pouco conhecida, desenvolvida em rochas ígneas e metamórficas.

Os aquíferos de sistemas calcáreos são também de rochas metamórficas mas, dadas as suas características completamente diferentes e os rendimentos bem mais elevados, constituem um caso a parte.

Cerca de 16.000 poços já foram perfurados no sistema cristalino (Brasil. SUDENE 1980a). Tanto os rendimentos quanto a qualidade das águas foram muito variadas, pondo em dúvida a viabilidade de sua exploração.

No seu programa de convivência com a seca, o Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA) empreende estudos que possam permitir a exploração racional das águas, objetivando oferecer meios de subsistência e/ou suporte ao desenvolvimento econômico de áreas do Sertão semi-árido.

Este trabalho é ainda preliminar. As observações diretas e trabalhos práticos são limitados e estão em execução, portanto seu principal objetivo é incentivar esta linha de pesquisa mostrando a necessidade de se promoverem estudos mais demorados e que dêem ao assunto a atenção que merece.

## 2. INFORMAÇÃO FÍSICA

### 2.1. Localização

O Nordeste do Brasil localiza-se entre as latitudes  $1^{\circ}$  a  $17^{\circ}$  Sul e as longitudes  $34^{\circ}30'$  a  $49^{\circ}$  Oeste, ocupando uma



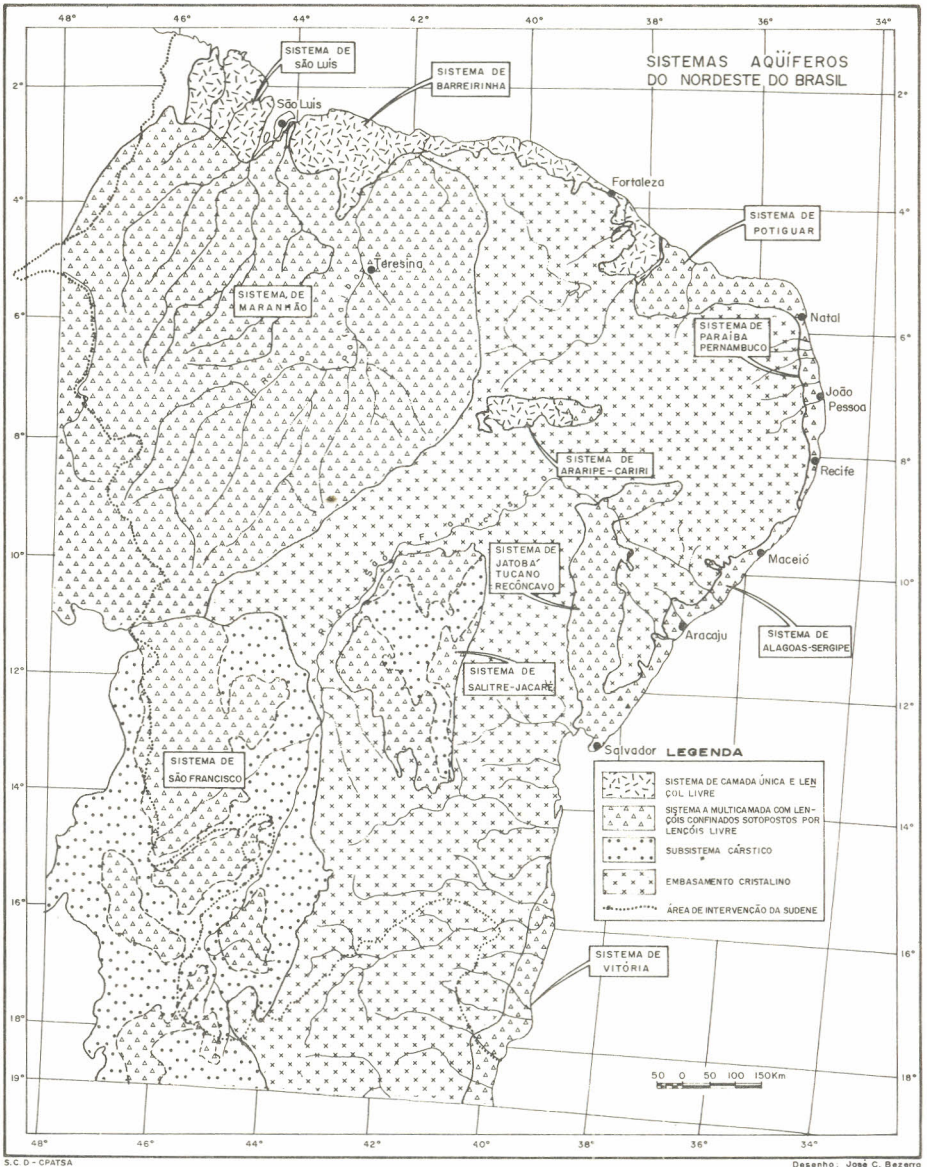


FIG. 1. Sistemas aquíferos no Nordeste.  
Fonte: Brasil. SUDENE 1980a.

superfície total de 1.606.000 km<sup>2</sup> (Cruz & Melo 1974).

O presente trabalho se limita à área do polígono das secas onde se manifesta a presença do cristalino, num total de 480.000 km<sup>2</sup>.

## 2.2. Hidrometeorologia

### 2.2.1. Precipitação

No Nordeste brasileiro as precipitações oscilam entre 200 a 700 mm por ano. Existem algumas exceções, onde a precipitação média anual pode ser superior a 1.000 mm.

A precipitação média anual registrada em 45% das estações pluviométricas, de um total de 425 estações dos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, é menor que 700 mm (Christiansen-Weniger s.d.). Em Pernambuco, na estação climatológica de Bebedouro, no médio São Francisco, a chuva média registrada de 1963 a 1983 foi de 400 mm, concentrada nos meses de dezembro a março. Mesmo no mês de março, onde se dá a maior precipitação, a chuva, com 80% de probabilidade, é menor que 60 mm (Valdivieso S. 1984).

### 2.2.2. Evapotranspiração

A evaporação média anual está em torno de 2.600 mm e a evapotranspiração potencial em torno de 2.000 mm atingindo valores máximos no mês de outubro: 7,3 mm/d. Valores de evapotranspiração diária mensal, calculados com as fórmulas de Penman, ET<sub>p</sub> (Doorenbos & Pruitt 1975) e a de Hargreaves para o Nordeste do Brasil, ET<sub>H</sub> (Hargreaves 1974) da região de Bebedouro, PE, são apresentados como referência no Anexo 1.

A umidade do solo sofre perdas por evaporação e, em aquíferos de até 1 m de profundidade, as perdas por evaporação constituem 75% da evapotranspiração. Este efeito cai 25% na evapotranspiração potencial em aquíferos de profundidade entre 1 e 2 m (Seminar 1973).

### 2.2.3. Déficit Hídrico

Um simples balanço de águas evidencia as deficiências anuais de água. Nas zonas de baixa precipitação, 300 a 400 mm anuais, só em um ou dois meses o balanço é favorável.

## 2.3. Hidrogeologia

### 2.3.1. Conformação do Aquífero

O aquífero é constituído basicamente pelas fendas, falhas e fraturas das rochas cristalinas, ou pela face de contato entre estas e materiais sedimentares (Nota 1975). O cristalino são rochas ígneas e principalmente metamórficas do pré-cambriano (mais de 600 milhões de anos de idade geológica) que desenvolveu reservatórios de água subterrânea nas fendas, fissuras e fraturas produzidas por levantamentos epirogenéticos (forças tectônicas) no fim do cretáceo (Fig. 2).

Fenômenos de intemperismo e processos de sedimentação (pleistoceno ou holoceno) de materiais aluviais constituíram um manto de profundidade variável e relativamente permeável, sobreposto às rochas sedimentares, o que permite o armazenamento de água de chuva, temporariamente. A espessura do manto é variável em função da configuração morfológica do substrato cristalino e das mudanças de direção das correntes fluviais. A profundidade até onde a fendilhagem é efetiva é 60 m (Brasil. SUDENE 1980a).

Os tipos de rochas achados nos poços perfurados são: gnaisses diversos, migmáticos, micaxistos, granitos, quartzitos, calcáreo cristalino e xistos verdes, que não evidenciam relação com os rendimentos ou a mineralização das águas. Assim sendo, desaconselha-se a perfuração de rochas cristalinas ricas em fosfato e biotita (Brasil. Ministério das Minas e Energia 1981). Muitas rochas metamórficas e algumas ígneas contêm minerais de carbonatos sujeitos a solução rápida com a passagem da água que, como tempo, podem melhorar as características aquíferas do material.

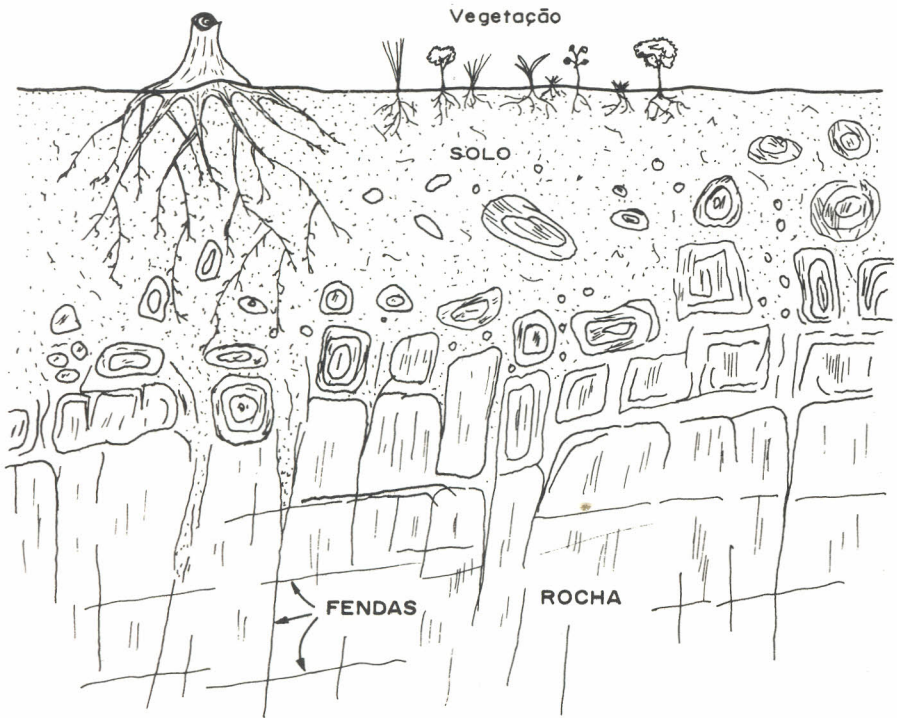


FIG. 2. Aquífero fendilhado - FONTE: Nota 1975.

### 2.3.2. Condições Hidrodinâmicas

A permeabilidade, porosidade, armazenamento e transmissibilidade são os principais parâmetros para se avaliarem aquíferos, entretanto estes são um caso especial pela natureza dos materiais.

A permeabilidade, produzida por fraturamento de rocha não intemperizada a dezenas de metros de profundidade, geralmente é da ordem de 0.001 a 10 darcys; nos metassedimentos dos micaxistos e quartzitos são de 0.002 milidarcys (Davis & De Wiest 1966).

A circulação das águas subterrâneas não é perfeitamente conhecida por falta de estudos, todavia supõe-se estar intimamente relacionada à topografia, hidrografia e pluviometria (Brasil. SUDENE 1980a).

Presume-se que a alimentação do aquífero venha de fontes pluviais e fluviais. A primeira refere-se às águas da chuva armazenada na camada de intemperismo ou aluviões que vai percolando posteriormente até as fendas e fonte fluvial quando as fendas e falhas comunicam-se com o leito dos rios.

Não se dispõe de informações suficientes para estimar a percentagem da chuva que é armazenada na camada superior do solo e quanto escapa da evaporação para contribuir para o reservatório.

A camada de solo existente sobre a rocha (aluvião ou manto de intemperismo) é geralmente de textura média a grossa, podendo se associar à alta porosidade e alta capacidade de armazenamento. No entanto, a pouca profundidade da camada e o seu endurecimento por fenômenos físico-químicos podem limitar a infiltração da água de chuva. A proporção de escoamento superficial para infiltração na região do Jaguaribe (CE), é de 5:1 (Rebouças & Gaspary 1971).

A maioria dos poços perfurados apresentou duas entradas de água: uma superficial, correspondente ao nível de aluviões e manto de intemperismo ou zona de contato (interface com a rocha) e outra entrada de água na profundidade,

70% destas achadas entre 10 e 40 m (Albuquerque 1970).

Trabalhos anteriores têm demonstrado que a profundidade útil das fendas é de até 60 m e que a ocorrência de água a profundidades maiores é de apenas 5% (Leal 1969), o que torna anti-econômica a sua captação.

Isto pode implicar na obtenção de um coeficiente de restituição limitado, evidenciado ao fim das chuvas, quando os rios das formações cristalinas têm uma vazão muito pequena e que cessa rapidamente. No rio Jaguaribe (CE), a restituição dura ao redor de 30 dias na zona de cristalino e 85 dias ou mais nas zonas de terrenos sedimentares (Rebouças & Gaspary 1971).

### 2.3.3. Potencialidade do Recurso

No manto de intemperismo ou aluvião, que recobre o cristalino, presume-se uma porosidade efetiva de 5% e assumindo uma profundidade de 1 m pode-se aproximar a capacidade de armazenamento em  $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$  (Rebouças & Gaspary 1971). Se só 10% desta água é considerada efetiva ou restituível, teremos  $5 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{km}^2$ . Este volume equivale a uma precipitação efetiva de apenas 1,2% numa região de 400 mm de chuva anuais.

A permeabilidade de rochas metassedimentares é da ordem de 0.02 milidarcys que em conjunto pode atingir valores mil vezes maiores. O volume total de espaços abertos (fraturas) representa uma percentagem pequena do volume da rocha. A permeabilidade nestas condições pode variar 0.001 a 10.0 darcys e o espaço poroso de grandes volumes de rocha é provavelmente menor do que 2 a 5% (Davis e De Wiest 1966).

O volume efetivo restituível, calculado anteriormente, corresponde a uma porosidade de 0,012% se considerarmos fendas até 40 m de profundidade. Este seria um valor aceitável de porosidade média para as rochas do cristalino.

#### 2.3.3.1. Rendimento dos Poços

Segundo Brasil. SUDENE (1980a), dos 589 poços analisados, 5,6% apresentaram vazão nula, 42,95% me

nos de 2.000  $\ell/h$  (0,55  $\ell/s$ ) e 51,44% renderam de 2.000  $\ell/h$  a mais (Fig. 3). Observa-se, também, que a vazão tende a diminuir com a profundidade (Fig. 4).

As vazões específicas mínimas, com probabilidade de 50% e 80% são 1,46 e 0,19  $\ell/h - m^2$  ou 3.600 e 500  $\ell/h$ , respectivamente (Brasil. SUDENE 1980a).

Em geral, o rendimento em poços do embasamento cristalino é baixo. A média obtida foi de 3.290  $\ell/h$ , com um desvio padrão de 4.230  $\ell/h$ .

Num dos poços perfurados pela CISAGRO em 1976, nas proximidades do CPATSA (poço 1), a vazão inicial foi de 6.000  $\ell/h$ . A vazão atual nesse poço flutua entre 900 e 5.200  $\ell/h$  (Fig. 5).

As medições de vazão neste poço, realizadas em agosto de 1983, em bombeamento de oito horas diárias contínuas, revelaram que a vazão variou de 3.200 - 5.200  $\ell/h$  no início do dia a 900 - 1.800  $\ell/h$  no final das oito horas diárias de bombeamento, respectivamente no início ou no fim da semana.

Como se observa na Fig. 5, há uma diminuição para mais ou para menos da tendência exponencial de segunda a sexta de cada semana. A recuperação parcial de um dia para outro, entre o fim do bombeamento de um dia e o início do dia seguinte, isto é, 18 horas, ficou na ordem de 0,04  $\ell/seg/h$  e a taxa da queda com bombeamento constante ficou com 0,1  $\ell/seg/h$ .

Com o exposto, não se pretende generalizar as observações feitas num poço singular (poço 1), mas só dar um ponto de referência ante a impossibilidade de quantificar o potencial do recurso hídrico.

### 2.3.3.2. Geoquímica

Em geral as águas do cristalino são mineralizadas e classificadas em três principais tipos de águas: cloretadas, bicarbonatadas e bicarbonatadas cloretadas (Cruz & Melo 1974).

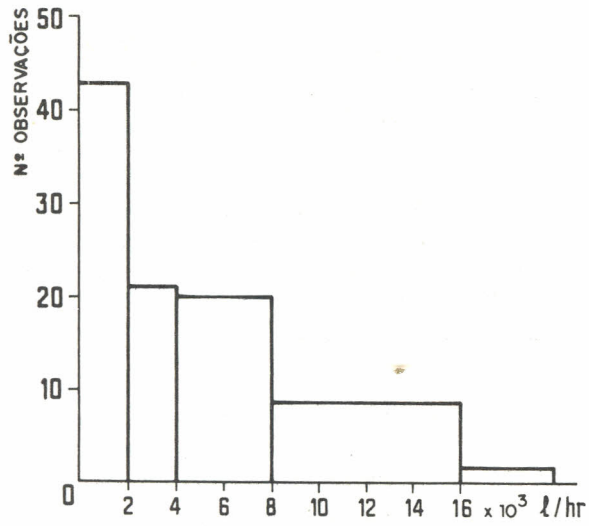
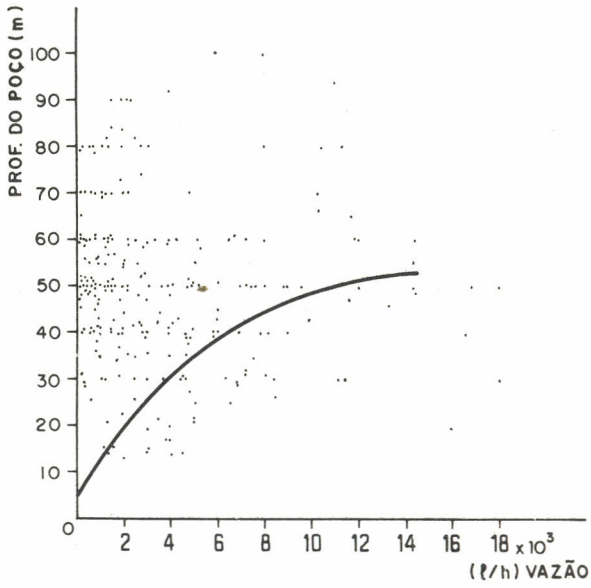


FIG. 3. Frequência de vazões nos poços do cristalino.





des.: J.C. BEZERRA

FIG. 4. Relação aproximada entre a vazão e a profundidade dos poços no cristalino.

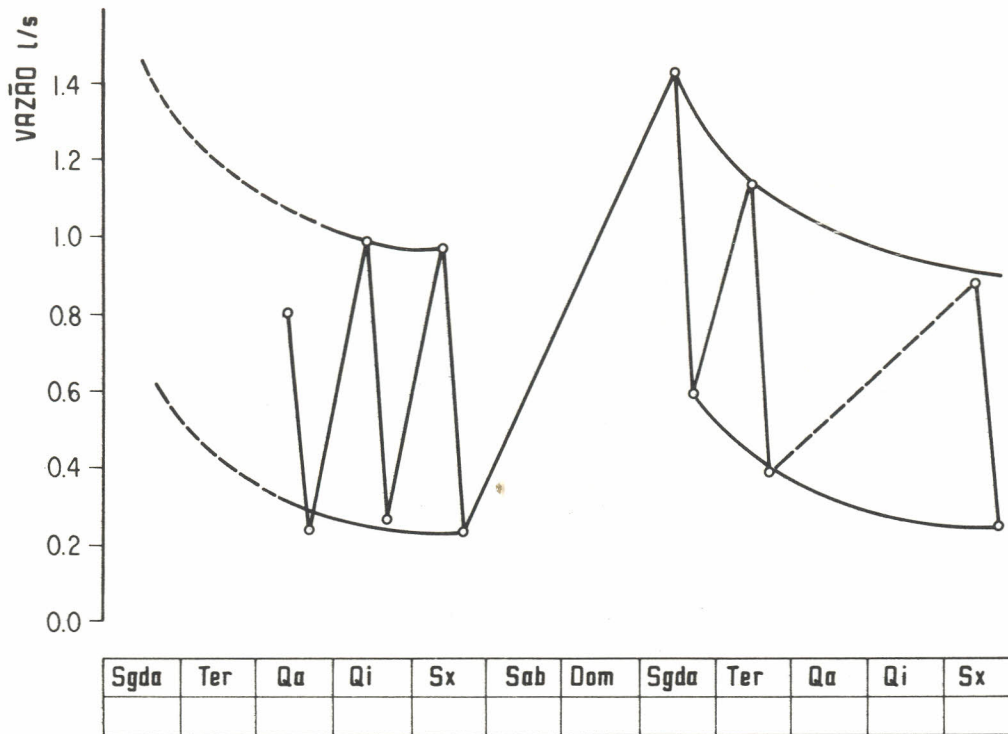


FIG. 5. Variações da vazão em bombeamento "contínuo" no poço 1 do CPATSA.

As águas cloretadas caracterizam-se pela predominância de cloretos sobre bicarbonatos e sulfatos e predominância do sódio sobre o cálcio e magnésio. São águas de pH variando de 6,5 a 7,5 e a salinidade (resíduo seco) varia de 1,0 a 28,0 g/l ou 0,6 a 18,0 mmhos/cm, aproximadamente. Destaca-se também o fato de que 50% das águas mostraram valores menores de 4,4 g/l e só 9% mais de 10,0 g/l (Cruz & Melo 1974).

As águas bicarbonatadas caracterizam-se pela predominância de sais de bicarbonato de sódio, cálcio ou magnésio. São águas geralmente neutras a ligeiramente ácidas. Elas são menos salinas, com resíduo seco variando de 0,3 a 1,5 g/l. 85% das amostras mostraram valores menores do que 1,3 g/l (Cruz & Melo 1974).

Águas bicarbonatadas cloretadas são de composição intermediária e apresentam resíduos secos entre 0,3 e 3,0 g/l (Cruz & Melo 1974).

A distribuição de freqüência de ocorrência das águas subterrâneas do Nordeste foi assim obtida (Cruz & Melo 1974):

Águas cloretadas	71,7%
Bicarbonatadas-cloretadas	15,2
Bicarbonatadas	10,5
Mistas	1,4
Sulfatadas	0,6
Sulfatadas-carbonatadas	0,3
	<u>99,7</u>

Em geral o resíduo seco médio das águas do cristalino é de 4 g/l. De 400 amostras, 50% apresentam menos de 2,9 g/l; 17% menos de 1,0 g/l; 20% mais de 7 g/l (Cruz & Melo 1974).

A literatura disponível não evidencia a relação entre a mineralização das águas e a litologia dos aquíferos em questão, o que supõe a influência de outros fatores na salinização das águas. No entanto, sabe-se que a intemperização de valores graníticos libera principalmente o potássio dos feldspatos enquanto as granodioritas e dioritas

liberam o sódio do seu componente plagioclase e os garvos podem liberar o cálcio das plagioclases (Nota 1975).

Existe diversidade de opiniões e conceitos a respeito da origem da mineralização das águas do cristalino e su põe-se que os fatores que influem para que isso aconteça são também diversos, destacando-se:

- Evaporação: no caso de aquíferos pouco profundos e da água transitoriamente armazenada no solo que recobre o cristalino, antes de atingir o aquífero profundo (fendas). Isto se dá em relação à dificuldade de percolação da água no interior do maciço rochoso (Costa 1980).
- Solução da rocha em contato prolongado com a água, o que implica numa tendência de aumento da salinização com a profundidade, aparentemente explicada com a diminuição da permeabilidade e conseqüente menor movimentação da água, ou seja, maior tempo de contato entre a água e a rocha.

Presume-se que a qualidade da água tenha relação inversa com a vazão do poço, entretanto isto não está confirmado.

## 2.4. Custos de Exploração

Sem considerar os custos que a prospecção implica, trata-se a seguir de custos de perfuração, instalação e operação de poços, estimados num total de 5 a 6 mil dólares de custo de capital para perfuração e instalação.

### 2.4.1. Perfuração

Os custos de perfuração são muito variáveis e podem chegar até 2.500 dólares na rocha cristalina para poços de 50 m de profundidade e 8 polegadas de diâmetro.

Na região de Irecê (BA), o custo da perfuração de poços com 80 m de profundidade e 6 polegadas de diâmetro foi de 3,5 milhões de cruzeiros com o valor do dólar, na época, de Cr\$ 700.

### 2.4.2. Instalação

Compreende o revestimento, cimentação, teste de bombeamento, aquisição de unidade de bombeamento e construção civil necessária. Estima-se o custo de instalação em 2.500 dólares. É necessário um motor de mais ou menos 7 HP para recalcar 1,0 l/s ao nível dinâmico de 40 m.

### 2.4.3. Operação

Nas condições descritas anteriormente, isto é, motor de 7 a 10 HP, o consumo de óleo é de 1 l/h ou seja, 0,28 litros de óleo por m<sup>3</sup> de água recalçada ou 0,08 de dólar por metro cúbico. Sobre estes custos deve-se ainda considerar 25% a mais de custos de manutenção, reparações e peças de reposição.

## 3. UTILIZAÇÃO DAS ÁGUAS

Principalmente pela mineralização, além do desconhecimento do potencial e hidrogeologia dos aquíferos cristalinos, decorrentes da ampla variabilidade dos rendimentos nos poços existentes, esta fonte de água está quase marginalizada, embora iniciativas isoladas de utilização estejam sendo desenvolvidas. Como exemplo citamos as áreas irrigadas pela EPABA-Unidade Estadual de Pesquisa de Iracê (BA), e os trabalhos desenvolvidos pelo CPATSA no programa de desenvolvimento das áreas de caatinga nas proximidades do mesmo, em Petrolina (PE), além de iniciativas particulares.

### 3.1. Perspectivas de Uso e Suas Implicações

#### 3.1.1. Consumo Humano

Só as águas com sólidos totais (resíduo seco) menor de 1,5 g/l poderiam ser aproveitadas para o consumo humano (Davis & De Wiest 1966). Em geral, águas com sólidos totais acima do limite mencionado têm tendência a apresentar excessos de cloretos, de sódio e magnésio. O magnésio tem propriedades laxativas quando concentrado acima de 0,125 g/l.

Águas com as exigências de qualidade para o consumo hu

mano têm 20% de probabilidade de ocorrência ou menos (Cruz & Melo 1974).

O volume diário de 16 m<sup>3</sup>, obtido com uma vazão de 2.000 l/h, bombeados durante 8 horas diárias, abasteceria racionalmente um povoado com 800 habitantes ( $\pm$  100 famílias).

### 3.1.2. Pecuária

Com razoável segurança, exceto para animais empuados ou lactentes, águas com até 7,0 g/l de sais solúveis podem ser aceitas para o consumo animal. Estes níveis, no entanto, não são recomendáveis para aves domésticas (Ayers & Westcot 1976).

Águas com 3,0 a 5,0 g/l são consideradas satisfatórias; todavia podem causar diarreias temporárias ou podem ser recusadas por animais não acostumados. Também podem aumentar o índice de mortalidade ou limitar o crescimento de aves domésticas (Ayers & Westcot 1976).

Águas abaixo dos limites de sais solúveis citados acima (< 3,0 g/l) são consideradas satisfatórias para pecuária.

Água do poço 1 do CPATSA (Programa de Desenvolvimento da Caatinga), em torno de 2.000 g/l, é utilizada sem problemas aparentes no consumo de gado, desde 1977. A experiência é muito positiva e indica que caprinos consomem, sem problemas sérios, águas com teores de até 9,0 g/l (poço 4 CPATSA), segundo comunicação pessoal dos pesquisadores responsáveis. Com um poço de 2.000 l/h de vazão, bombeado 8 horas diárias, abastecer-se-ia em torno de 400 cabeças de gado bovino.

### 3.1.3. Agricultura

Águas com teores acima de 3,0 g/l de sais solúveis são consideradas salinas e não recomendáveis para seu uso na agricultura. Outro parâmetro básico na classificação de águas de irrigação é o sódio; acima de 0,3 g de Na/l é considerado prejudicial. Este parâmetro é expresso melhor em função dos outros cátions, presentes na composição das

águas, como relação de adsorção de sódio/RAS. Valores de RAS acima de 18 são considerados altos (Richards 1970).

A partir dos dados e análise apresentada por Cruz & Melo (1974), estima-se em 35% a probabilidade de ocorrência de águas dentro dos limites acima mencionados.

As necessidades líquidas extremas de água são 7,3 mm/d no mês de outubro (Anexo 1), o que equivale a 0,85 l/seg por ha, ou 3.060 l/h em 24 horas, ou 6.120 l/h se o conjunto de motobomba funcionar somente 12 horas por dia. Estes valores ainda devem ser corrigidos pelos fatores de eficiência para obter as necessidades globais totais.

Segundo a qualidade e quantidade da água disponível, a utilização na irrigação pode ser feita de maneira permanente, durante o ano todo, com culturas perenes ou semiperenes, ou de maneira complementar à umidade acumulada no perfil do solo por efeito das chuvas.

Em experimentos com águas de qualidade C<sub>4</sub>S<sub>1</sub> (CE = 2,5 mmho/cm, RAS = 1,7), obtiveram-se produtividades médias de 33,4 t/ha e 104,5 t/ha por corte para os capins *Panicum coloratum* e elefante ou *Pennisetum purpureum*, respectivamente (Fig. 6 e 7).

Com o uso dessas águas o aumento da salinidade foi de 19,4 mmho/cm para cada m<sup>3</sup> de água aplicada.

Embora registrem-se períodos de dessalinização coincidentes com os meses de chuvas, entretanto estas não foram 100% eficientes e permitiram um acúmulo residual de sais a cada ano (Fig. 8) podendo, em poucos anos, atingir níveis indesejáveis.

A salinidade do solo (60 cm superficiais), controlada antes e depois do período de chuva, sofreu uma queda de 10,93 mmho/cm a 4,23 mmho/cm no período de dezembro 1982 a maio 1983 e de 14,7 mmho/cm a 5,75 mmho/cm no período de dezembro 1982 a abril 1983.

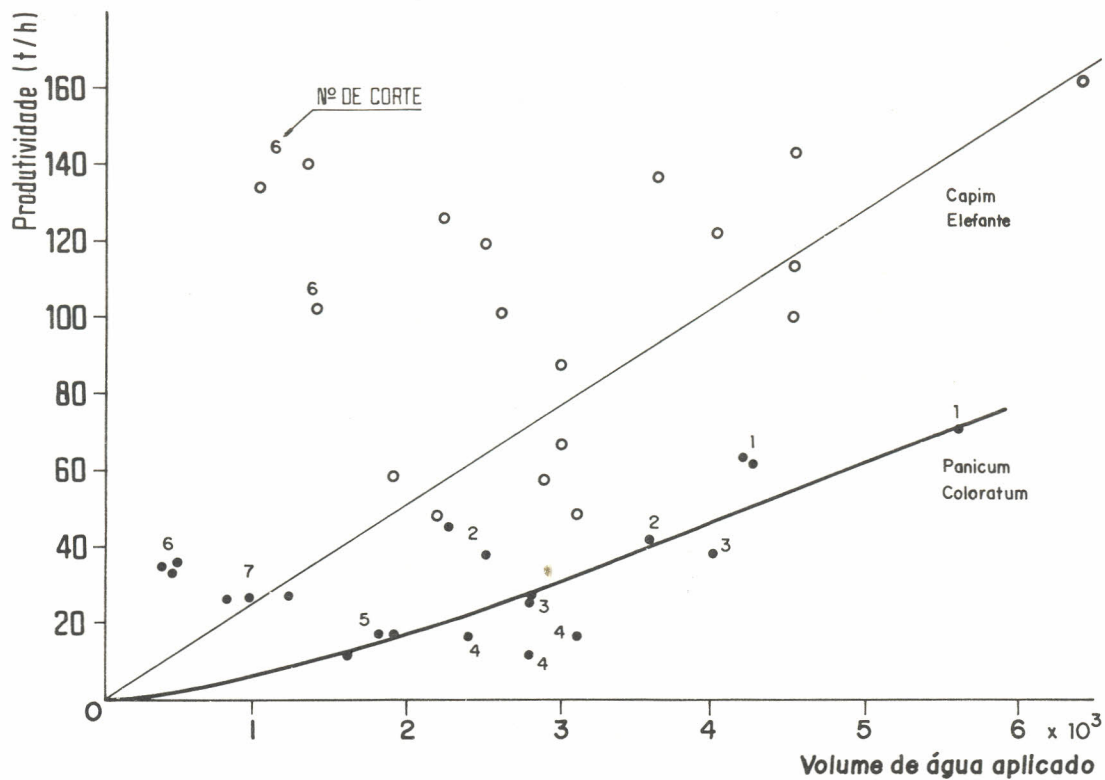
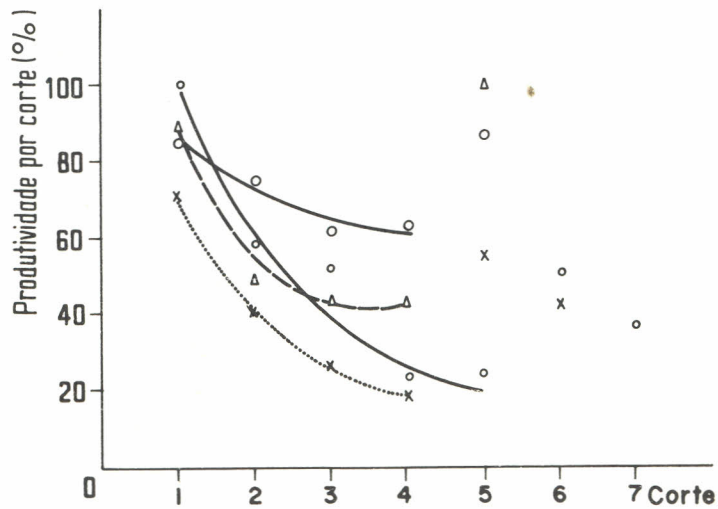


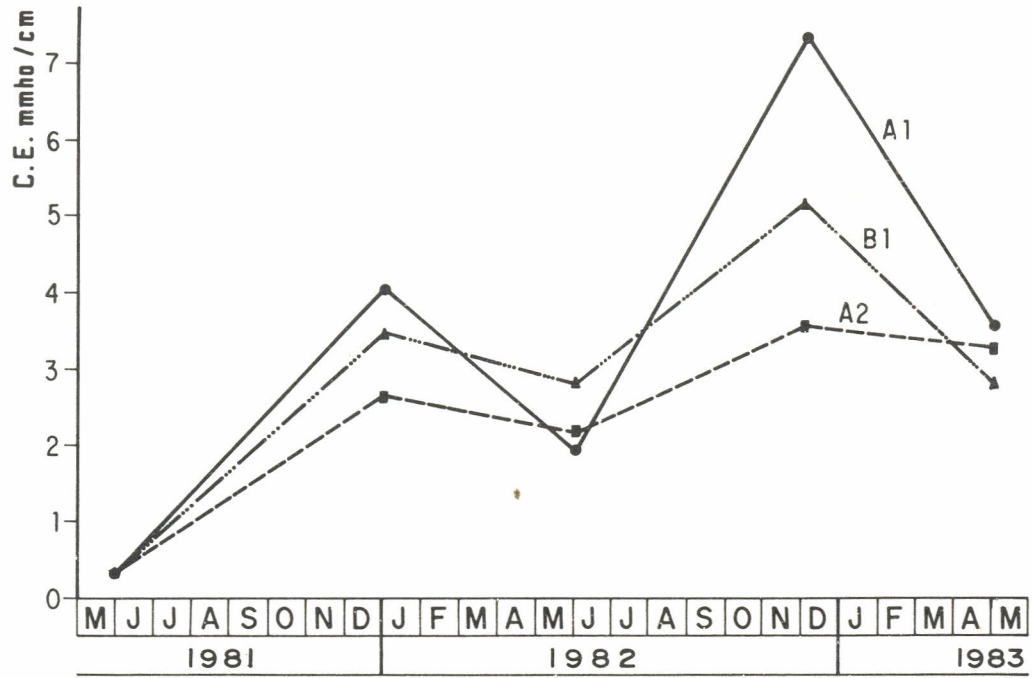
FIG. 6. Resposta das culturas ao volume de água aplicado. Resultados da área experimental de capim irrigado com água salina (2,5 mmho/cm) do poço 1 - CPATSA.





de : J.C. BEZERRA

FIG. 7. Variação da produtividade com cortes sucessivos correspondentes aos dados representados na Fig. 6.



des.: J.C. BEZERRA

FIG. 8. Variações da concentração salina do estrato de saturação na zona de raízes (0,60 m) do solo irrigado com água mineralizada (2,5 mmho/cm) do poço 1 - CPATSA.

Estes resultados correspondem a um trabalho em andamento, atualmente em fase de análise<sup>3</sup>.

Não considerando a água aplicada com irrigação nesses períodos e, supondo um modelo de reservatório constante (Molen 1973) para a zona de raízes (0 - 60 cm) e aceitando ainda que se produza uma mistura completa da água de chuva com os sais do solo, tem-se:

$$C_i \cdot Qdt = C_f \cdot Qdt + VdC$$

$$\int \frac{Q}{V} dt = \int_{C_0}^C \frac{dC}{C_i - C}$$

$$C_f = C_i + (C_0 - C_i) e^{-t/T}$$

onde:

$C_f$  = Concentração de sais resultantes da lavagem

$C_i$  = Concentração de sais na água de lavagem (chuva  $\approx 0,1$  mmho/cm)

$C_0$  = Concentração de sais inicial no solo

$t$  = Duração do período/dias

A substituição dos valores correspondentes dão valores de  $T \approx 140$ . Se a umidade na capacidade de campo é  $V = 120$  mm para os 60 cm de solo, então a água percolada responsável pela lavagem é  $q = V/T = 0,86$  mm/d  $\approx 1,0$  mm/d de água de chuva efetiva na lavagem.

---

<sup>3</sup> Estes resultados foram obtidos do experimento "Utilização de água salina para a irrigação de forrageiras", Campo Experimental da Caatinga, Petrolina (PE). Dados fornecidos por José Monteiro Soares e Gilberto Gomes Cordeiro, pesquisadores da EMBRAPA-CPATSA.

No período de estiagem, seria necessário um excesso de água de irrigação para procurar uma lavagem mais efetiva e conseguir um equilíbrio dos sais no perfil dos solos em níveis aceitáveis, não prejudiciais às culturas.

O requerimento de lavagem é função do déficit de água (E - P), da concentração de sais na água de irrigação (Ci), da concentração de sais máxima aceitável no estrato de saturação do solo, (Ce), e de um valor de eficiência de lavagem (f) (Molen 1973).

Para as seguintes condições: máxima demanda evaporativa, (E - P) = 216,5; Ci = 2,6; Ce = 6 mmho/cm e f = 0,5, o requerimento de lavagem R\* é:

$$R^* = (E-P) \frac{C_i}{f(C_e - C_i)} = 216,5 \frac{2,6}{0,5(6 - 2,6)}$$

$$R^* = 127,4 \text{ mm ou } 58,8\% \text{ de } (E-P)$$

O uso de uma lâmina de água com fins de lavagem diminui consideravelmente a área irrigável por poço.

Paralelamente, experiências com irrigação complementar usando água de qualidade C<sub>4</sub>S<sub>3</sub> (CE = 10,0 mmho/cm e RAS = 4,6) obtiveram incremento da produtividade de 16,9% e 86,4% de feijão e sorgo respectivamente, com a aplicação complementar de água em duas irrigações de 12,5 mm. Considerando-se que a umidade do solo após o período de chuva esteja na capacidade de campo, reproduziram-se as variações da umidade do solo (Fig. 9) importantes para justificar parâmetros referentes ao quanto e quando irrigar.

Neste caso o aumento da concentração salina no estrato de saturação foi de 500% ou em torno de 200 mmho por m<sup>3</sup> de água aplicada. Da mesma maneira a percentagem de sódio trocável registrou 0,4 a 12,9% de aumento<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Idem nota de rodapé 3, página 29.

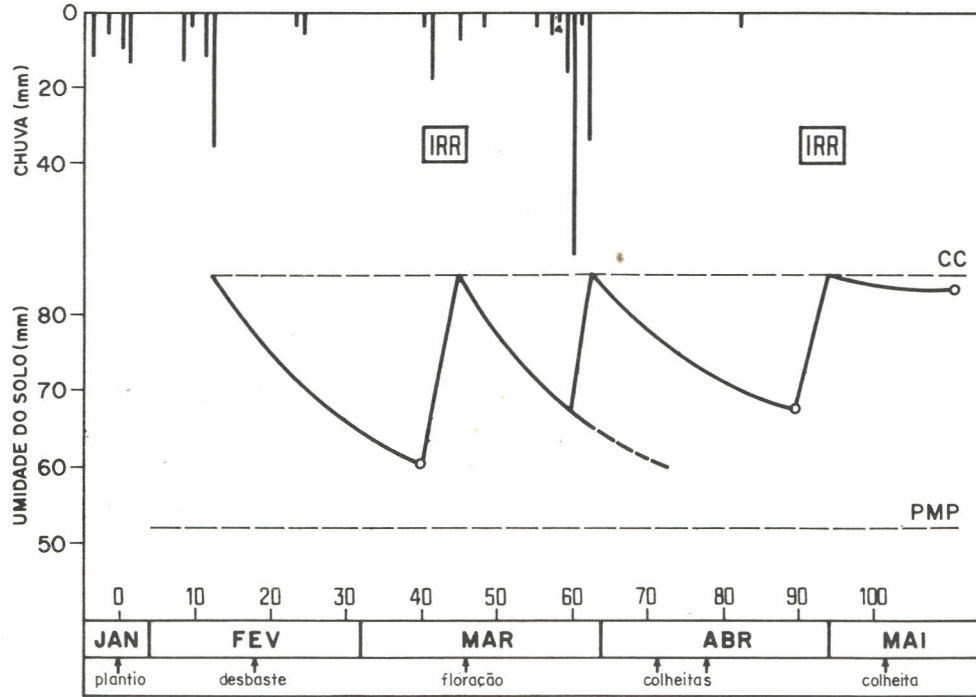


FIG. 9. Variações da umidade do solo. Influência da chuva e observação da oportunidade das aplicações na irrigação suplementar.

### 3.2. Análise Econômica

Como foi visto anteriormente (item 2.3.3.1.), uma vazão com 50% de probabilidade de ocorrência está em torno de 3.000 l/h. Um poço com esta vazão é portanto adotado para elaborar uma tentativa de análise ou avaliação econômica.

As premissas assumidas são:

1. que a qualidade das águas esteja dentro dos limites toleráveis como detalhado anteriormente (item 3.1.3);
2. que se disponha de medidas de manejo para controle da salinidade;
3. que a instalação dos poços seja um investimento de caráter social ou a fundo perdido, de tal modo que não seja considerado na análise econômica;
4. que se tenha um modelo de exploração agroeconômica.

Para efeito do cálculo econômico, consideraram-se produtos básicos da alimentação na área e a inclusão de capim pela tolerância ao sal, procurando, assim, diversificar a exploração. Assumiu-se o seguinte modelo teórico de exploração: meio hectare de terreno plantado, 0,25 ha com capim e 0,25 ha com um consórcio milho-feijão. Este último com irrigação suplementar, aproveitando as chuvas, e um segundo plantio nesta mesma área, na segunda parte do ano. Por exemplo, hortaliças com irrigação permanente, que podem ser consideradas uma alternativa no regime alimentar do agricultor ou mesmo pode significar um lucro extra.

O capim plantado na metade da área (0,25 ha) fornecerá alimento suplementar para o gado, atendendo assim outra atividade muito difundida na região.

Custos: a implantação de 1 hectare de consórcio milho e feijão custa Cr\$ 100.000 (Sistema 1980). Esta cifra corresponde também à implantação de 1 hectare de capim elefante (Comunicação pessoal. EMATER, Petrolina, PE). No que diz respeito à implantação de 1 hectare de hortaliças não se dispõe de informações, todavia estima-se em Cr\$ 300.000/ha.

A operação do sistema de irrigação refere-se exclusivamente ao bombeamento. Estima-se uma unidade de motobomba diesel de Cr\$ 1.000.000 com um consumo de 1 litro de óleo por hora; neste caso 12 ℓ/dia.

As irrigações seriam semanais para o capim durante o ano todo, exceto quando se tiver chuva suficiente. Igualmente no plantio da época de estiagem, a irrigação pode ser permanente, com intervalos de rega de três a cinco dias.

Receita: calculada com base nas produtividades médias da região, obtidas da bibliografia e comunicações pessoais. O valor da produção foi obtido de Boletim (1983) ou estimado nas condições de mercado da mesma época. O valor de um dólar era Cr\$ 842.

$$\begin{aligned} \text{Capim elefante: } & 6 \frac{\text{cortes}}{\text{ano}} \times 30 \frac{\text{t/ha}}{\text{corte}} \times 2.000 \frac{\text{Cr\$}}{\text{t}} = \\ & = 360.000 \frac{\text{Cr\$}}{\text{ha-ano}} \end{aligned}$$

$$\text{Feijão: } 700 \frac{\text{k}}{\text{ha}} \times \frac{40.000 \text{ Cr\$/saco}}{60 \text{ k/saco}} = 466.666 \frac{\text{Cr\$}}{\text{ha}}$$

$$\text{Milho: } 1.000 \frac{\text{k}}{\text{ha}} \times \frac{10.000 \text{ Cr\$/saco}}{60 \text{ k/saco}} = 166.667 \frac{\text{Cr\$}}{\text{ha}}$$

Alface, cebolinha, coentro, cenoura, pimentão

$$\rightarrow 4.000.000 \frac{\text{Cr\$}}{\text{ha}}$$

A Tabela 1 apresenta custos e valor da produção, enquanto a Tabela 2 mostra a análise econômica com valores dos custos e receitas a uma taxa de juros de 64% anual.

TABELA 1. Custos e valor da produção.

ANO	CUSTOS			Total	Valor de Produção
	Capital	Implantação	Oper. + Manut.		
1	1.000.000	125.000	700.000	1.825.000	1.250.000
2		100.000	700.000	800.000	1.250.000
3		100.000	700.000	800.000	1.250.000



TABELA 2. Análise econômica com taxa de juros 64% anual.

Ano	Custos	Receita	Valor atualizado $i = 64\%*$	
			Custos	Valor de Produção
1	1.825.000	1.150.000	1.112.885	762.250
2	800.000	1.250.000	297.440	464.750
3	800.000	1.250.000	181.360	283.375
4	800.000	1.250.000	110.560	172.750
5	800.000	1.250.000	67.440	105.375
			1.769.685	1.788.500

\* Correção monetária (55%) + juros (64%) = 120%/ano;  $V.A = \frac{1}{(1 + i)^n}$

O modelo apresentado considera o custo da unidade de motobomba a ser assumido pelo produtor. A partir do quinto ano, a relação Receita/Custos (B/C) é superior a 1.0 e o projeto (modelo teórico) torna-se rentável. Se os custos de operação e manutenção aumentarem, o número de anos necessários para justificar o sistema econômico também será maior.

#### 4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- Necessidade de incentivar trabalhos ou estudos mais racionais em diferentes níveis, desde a prospecção, hidrogeologia e utilização das águas subterrâneas.
- Continuidade dos estudos no sentido de definir medidas de manejo dessas águas em relação aos solos e culturas exploradas: quantidade e oportunidade de aplicação.
- Definição da fração de lavagem necessária, para o controle da salinização dos solos, por efeito das irrigações com água mineralizada.
- Definição de práticas de manejo dos solos para aumentar a eficiência de lavagem pela água de chuvas.
- Utilização de corretivos químicos, por exemplo o gesso no caso de águas com altos valores de RAS (relação de adsorção de sódio).
- Caracterização dos solos nos quais podem-se usar águas mineralizadas com risco controlável.
- Seleção de culturas tolerantes ao sal. Preliminarmente recomenda-se o que na literatura internacional se considera mediana e altamente tolerante, ou seja, culturas que se desenvolvem com poucos ou sem problemas em solos com condutividade elétrica do estrato de saturação acima de 4 mmho/cm, como melão, videira, aspargos, espinafre, couve-flor, alface, milho doce, sorgo, algodão e algumas forrageiras como capim elefante, alfafa, etc.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, J. do P.T. de. Inventário hidrogeológico básico do Nordeste; folha nº 15 - Jaguaribe, SE. Recife, PE, SUDENE, 1970. 187 p. il (Brasil. SUDENE. Hidrogeologia. 32).
- AYERS, R.S. & WESTCOT, D.W. **Water quality for agriculture.** Rome, FAO, 1976. 97 p. il. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 29).
- BOLETIM INFORMATIVO-SIMA-CE. Fortaleza, CE, Secretaria Nacional de abastecimento, 1983.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Projeto RADAMBRASIL. Folhas SB. 24/25 Jaguaribe/Natal; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1981. 740 p. il. (Projeto RADAMBRASIL. Levantamento de Recursos Naturais, 23).
- BRASIL. SUDENE. Departamento de Recursos Naturais. **Plano de aproveitamento integrado dos recursos hídricos do Nordeste do Brasil - fase I; recursos hídricos I: águas subterrâneas.** Recife, PE, 1980a. v.7.
- BRASIL. SUDENE. Departamento de Recursos Naturais. **Plano de aproveitamento integrado dos recursos hídricos do Nordeste do Brasil - fase I; estudos de demandas:** texto, Recife, PE, 1980b. v.7, t.1.
- CHRISTIANSEN-WENIGER, F. **Problemas agrícolas nas regiões secas do Nordeste brasileiro.** s.n.t. 65 p.
- COSTA, W.D. A hidrogeologia do cristalino à luz da mecânica das rochas. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1,** Recife, PE, 1980. Anais... Recife, PE, ABAS 1980. p. 375-83.

- CRUZ, W.B. da & MELO, F. de A.F. de. Estudo geoquímico preliminar das águas subterrâneas do Nordeste do Brasil. Recife, PE, SUDENE, 1974. 125 p. il. (Brasil. SUDENE. Hidrogeologia, 19).
- DAVIS, S.N. & DE WIEST, R.J.M. Hydrogeology. New York, J. Wiley, 1966, 463 p. il.
- DOORENBOS, J. & PRUITT, W.O. Crop water requirements. Rome, FAO, 1975. 179 p. il. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).
- HARGREAVES, G.H. Potential Evapotranspiration and irrigation requirements for Northeast Brazil. Logan, Utah State University, 1974, 56 p. (USAID. Contract Nº AID/csd-2167).
- LEAL, A. de S. Considerações sobre circulação de água em rochas cristalinas e salinização em região árida - área piloto de Juazeiro - Curaçá, BA. Recife, PE, SUDENE, 1969. 28 p. il. (Brasil. SUDENE. Hidrogeologia, 24).
- MOLEN, W.H. van der. Salt balance and leaching requirement. In: INTERNATIONAL INSTITUTE FOR LAND RECLAMATION AND IMPROVEMENT, Wageningen, The Netherlands. **Drainage principles and applications; theories of field drainage and watershed runoff.** Wageningen, the Netherlands, 1973. v.2, cap. 9, p. 60-100. (ILRI. Publication, 16)
- NOTA, D.J.G. **Geology.** Wageningen, The Netherlands, Agricultural University, 1975. 61 p.
- REBOUÇAS, A. da C. & GASPARY, J. As águas subterrâneas do Nordeste: estimativas preliminares. 2.ed. Recife, PE, SUDENE, 1971. 46 p. (Brasil. SUDENE. Hidrogeologia, 6).

RICHARDS, L.A. Diagnostico y rehabilitacion de suelos salinos y sodicos. 5.ed. México, Centro Regional de Ayuda Técnica, 1970. 172 p. il. (Manual de Agricultura, 60).

SEMINAR OF THE ROLE OF GROUNDWATER IN THE OPTIMAL UTILIZATION OF HYDRAULIC RESOURCES, Granada, Spain, 1971. **Groundwater seminar Granada**; report of the FAO/UNDP. Rome, FAO, 1973. 293 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 18).

Sistema de produção para feijão e milho. Cafarnaum, BA, EMBRATER/EMBRAPA, 1980. 20 p. (Boletim, 239).

VALDIVIESO S., C.R. Distribuição de probabilidades das chuvas mensais registradas na Estação do Perímetro Irrigado Bebedouro. Petrolina, PE, EMBRAPA-CPATSA, 1984. 9 p.

## ANEXO 1

Dados climáticos e valores de evapotranspiração do Perímetro Irrigado de Bebedouro, Petrolina, PE. Valores de evapotranspiração calculados com a fórmula de Penman (ETp) e Hargreaves (ETH).

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
$\bar{T}$	27,1	26,9	26,6	26,1	25,5	24,7	24,5	25,4	26,9	28,5	28,4	27,9
$\bar{P}P$	67,6	97,6	128,9	104,2	17,4	10,5	7,5	4,7	7,1	9,8	47,7	79,6
UR	63	67	69	71	67	64	60	56	52	50	55	59
V	1,95	1,76	1,66	1,67	2,11	2,45	2,72	2,88	3,07	2,80	2,28	2,0
Eo	7,2	6,6	6,1	5,8	5,7	5,9	6,6	8,1	9,3	9,6	8,9	7,6
n	7,3	6,8	7,0	6,7	6,4	6,3	6,9	8,3	8,0	8,5	7,8	7,5
ETp	6,39	5,86	5,52	5,0	5,08	5,11	5,44	6,00	6,94	7,34	6,76	6,18
ETH	6,44	5,92	5,35	4,57	4,24	4,06	4,36	5,26	6,43	7,39	7,25	6,92

$\bar{T}$  = Temperaturas médias mensais - °C

$\bar{P}P$  = Precipitação mensal média de 20 anos - mm

UR = Umidade relativa - %

V = Velocidade do vento - m/s

Eo = Evaporação tanque A - mm

n = Insolação - horas

Editoração: Elisabet Gonçalves Moreira  
Composição: Margarida Maria Lima do Nascimento Santiago  
Desenhos/Figuras: José Clétis Bezerra  
Normatização bibliográfica: SID/CPATSA

Fotolito e Impressão:  
Gráfica Santa Marta, Rua da Areia, 528  
Fone: (083) 221-5072 - João Pessoa-PB