

REVISTA BRASILEIRA DE GEOGRAFIA

Ano XXIII

JANEIRO-MARÇO DE 1961

N.º 1

O ESTADO ATUAL DOS CONHECIMENTOS SÔBRE OS RECURSOS DE ÁGUA DO NORDESTE *

HENRY MAKSOU

Este trabalho consta de 5 partes. Na primeira, à guisa de introdução, apresentam-se considerações e apreciações de ordem geral sôbre os recursos de água e sua utilização, sem qualquer preocupação de situar geogrâficamente as descrições.

A segunda parte se refere à importante questão da disponibilidade e adequabilidade das informações básicas factuais relacionadas com a ocorrência, características, uso e contrôle dos recursos de água; são apresentados quadros, tabelas, gráficos e mapas que indicam o que existe, o que já se fêz e o que se está fazendo no sentido de conhecer sistematicamente os recursos de água nos nove estados do Maranhão à Bahia, através da coleta de dados sôbre chuvas, clima, água subterrânea, regime fluvial, evaporação, transpiração, qualidade das águas, meteorologia, transporte de sedimentos, etc. etc. São apresentadas discussões sôbre a necessidade dos dados e a adequabilidade do que se dispõe e, para cada caso, foram elaboradas sugestões e recomendações específicas para melhoria.

Na terceira parte, discute-se outro aspecto do estado atual dos conhecimentos: o das análises e das interpretações hidrológicas dos dados básicos. O método mais usado para "dimensionar" hidrológicamente os açudes construídos na região, é brevemente descrito e criticado nesta parte.

A tendência de aumento das perdas por evaporação, devido a um contrôle, cada vez maior, da água na superfície, e a interrelação entre os projetos de açudagem de uma bacia, são discutidos na penúltima parte do relatório.

Por fim, é apresentado um esquema sucinto das atividades necessárias a uma melhoria geral dos conhecimentos e ao bom uso da água no Nordeste.

* Este trabalho foi preparado em 1959 para o Conselho de Desenvolvimento do Nordeste (CODENO), hoje SUDENE, sob a direção do autor, pela IDROSERVICE — Serviços Técnicos de Hidrologia, Hidrografia e Hidráulica Ltda.

As seguintes principais conclusões genéricas resultam do estudo efetuado:

1. É muito baixo o nível atual dos conhecimentos sôbre os recursos de água, superficiais e subterrâneos, da Grande Região Nordeste.

2. Essa deficiência se deve a três causas diretas: a primeira, e principal, é a aguda falta de dados básicos hidrológicos; a segunda, que em parte depende da primeira, é a ausência de estudos e análises interpretativas adequadas das informações disponíveis; e a terceira é a falta de técnicos especialistas que se dediquem ao estudo dos inúmeros aspectos da hidrologia regional.

3 Embora haja exceções, grande parte das informações hoje disponíveis resulta de iniciativas de 15 ou mais anos atrás. No último decênio, pouquíssimo foi feito no sentido de realmente estudar sistematicamente, ou ampliar, os conhecimentos sôbre água no Nordeste.

4. Por imposições regulamentares, e outras, e provávelmente também por desconhecimento de outros métodos para suprir certas demandas de água, observa-se uma tendência de contrôle indiscriminado, por meio de açudes, das bacias fluviais; se esta tendência se intensificar, poderão surgir (se é que já não existem em algumas áreas) sérios problemas inclusive de deterioração da disponibilidade dos recursos de água.

5. Os métodos (citados neste trabalho) em geral usados para o dimensionamento hidrológico dos açudes no Polígono das Sêcas, são inadequados e devem ser abandonados.

6. A fase subterrânea do ciclo hidrológico é extremamente importante para o Nordeste; no entanto, é pouco conhecida e desprezada na solução de muitos problemas de abastecimento de água.

As causas básicas das deficiências observadas no estado atual dos conhecimentos da utilização da água são várias, complexas, e interdependentes; para discutí-las tôdas, nos seus vários aspectos, ter-se-ia que dedicar um capítulo só para êsse fim. Uma causa fundamental, porém, se destaca das demais: é a falta de reconhecimento formal — por parte da administração pública, dos próprios técnicos e mesmo de órgãos nacionais, estaduais e regionais de pesquisa e planejamento — da importância dos dados básicos e da necessidade de obtenção sistemática dos mesmos.

Para que esta situação seja mudada, deve-se:

1. Compreender que para ter água e usá-la bem, é necessário conhecer as características de sua disponibilidade; e para conhecer, é preciso observar, analisar e interpretar.
2. Ter pessoal técnico, apto e interessado, para lidar com os múltiplos problemas envolvidos nas fases do conhecimento e da programação do uso da água.

3. *Ter entidade com interesses específicos nos problemas da água da região, e divorciada de quaisquer atividades executivas de obras para tornar mínimas as possibilidades de parcialidade, as flutuações de verbas e a derivação de esforços no sentido das obras em detrimento da coleta e análise dos dados.*

Por isso, recomenda-se:

- a) *Que se promova o treinamento de técnicos e pessoal auxiliar, e se incentive a realização de trabalhos técnicos e científicos relacionados com os recursos de água.*
- b) *Que se inicie, tão cedo quanto possível, a programação e ativação de um sistema de coleta de dados básicos, envolvendo todas as fases do ciclo hidrológico, dando-se ênfase especial, na fase inicial, aos trabalhos de fluviometria, água subterrânea, evaporação e pluviometria.*
- c) *Que se organize, no âmbito da futura SUDENE, um serviço ou setor de estudos sobre a água, tendo como principais incumbências:*
 - 1) *A promoção, coordenação e execução das atividades relativas ao conhecimento sistemático e à utilização e controle racionais dos recursos de água superficiais e subterráneos da Grande Região Nordeste; e,*
 - 2) *A revisão e diagnose de todos os empreendimentos isolados, relacionados com os recursos de água que forem programados, a fim de situá-los em programas globais de desenvolvimento das bacias fluviais e dos aquíferos.*

Para a elaboração deste relatório, foram levantadas informações de variada natureza, compreendendo a compilação de dados, viagens de reconhecimento, entrevistas e inquéritos junto a entidades públicas, etc. Reconhecemos, agradecidos, a boa vontade sempre demonstrada por técnicos, administradores e funcionários do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas, Divisão de Águas, do Serviço de Meteorologia e do Departamento Nacional da Produção Vegetal do Ministério da Agricultura; da Comissão do Vale do São Francisco, do Departamento Nacional de Obras de Saneamento; do Serviço Especial de Saúde Pública; do Banco do Nordeste; da CPE da Bahia; do CODEPE de Pernambuco, etc.

De forma especial, reconhecemos a entusiástica e efetiva ajuda prestada pelo major-engenheiro PAULO TEIXEIRA DA COSTA, pôsto à disposição do CODENO pela Diretoria de Vias de Transporte do Ministério da Guerra para colaborar neste trabalho da HIDROSERVICE.

I

CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS SOBRE OS RECURSOS DE ÁGUA,
SUA DISPONIBILIDADE E SUA UTILIZAÇÃO

Crescem continuamente, tanto nas zonas úmidas quanto nas zonas áridas, as demandas de água para os vários fins industriais, agrícolas e domésticos. Na sociedade atual, a água exerce inúmeras funções, com uma transcendência sem precedentes. Através da produção de eletricidade a água constitui a base energética de nosso crescimento econômico e da melhoria do nosso nível de vida; com a água, por meio da irrigação, valorizamos terras sem uso, porém potencialmente produtivas, e terras com baixo rendimento por deficiência de água, aumentando a produção de alimentos e fibras para o benefício do homem; no âmbito industrial, a água é essencial para as mais variadas finalidades, como por exemplo, para servir de ingrediente em indústrias alimentícias, para a fabricação de papel, a refinação de petróleo, a estampagem de tecidos, o resfriamento nas usinas termo e átomo-elétricas, a remoção dos resíduos industriais, etc.; nas cidades e nas zonas rurais, a água exerce função vital, não só no suprimento das necessidades biológicas, mas ainda, na manutenção da higiene, a remoção de resíduos, o combate aos incêndios, o condicionamento de ar em ambientes fechados, e inúmeras outras atividades domésticas e municipais. A água proporciona também possibilidades de transporte. E com o progresso e expansão da economia comercial e industrial, novas e crescentes demandas serão feitas para maior e melhor utilização das vias fluviais e lacustres. As águas nos rios, fontes e lagos naturais e artificiais, constituem o *habitat* de peixes, aves e outros animais aquáticos; e são, ainda, excelentes fontes de recreação e turismo, cada vez mais procuradas e necessárias.

Paralelamente com o crescimento das demandas sobre os recursos de água, observa-se um aumento no número de problemas que requerem o controle de certas características dos mesmos. A progressivamente maior utilização da água como veículo de remoção dos resíduos das cidades e indústrias, por exemplo, tem tornado a qualidade de muitos cursos d'água inadequada para a maioria dos usos e para o sustento de qualquer vida aquática. A crescente ocupação da terra, trazendo consigo a remoção indiscriminada de sua cobertura vegetal e uma utilização do solo sem bases racionais, além de arruinar o próprio solo, tem intensificado os problemas de sedimentação nos cursos d'água, vias de comunicação e obras fluviais, e afetado, em maior ou menor intensidade, o regime normal de circulação de água. A crescente magnitude de danos causados pelas enchentes nos vales dos rios constitui uma realidade que se torna, cada vez, mais evidente. Um grande número de trabalhos de drenagem, para a recuperação de terras potencialmente ricas, tem sido exigido pela expansão de nossa economia agrícola.

A medida que as demandas aumentam e os problemas de controle dos recursos de água se tornam mais críticos, cresce a necessidade de

se utilizar os mesmos ao máximo e reduzir a um mínimo os seus efeitos adversos. Isso, implica na utilização de métodos racionais de conservação e controle, dentro de planos globais de desenvolvimento dos recursos de água, que definam os objetivos gerais a serem alcançados e as fases e meios necessários para sua realização.

Para poder estabelecer esses planos e levá-los a cabo, porém, é necessária a demarcação de unidades apropriadas de planejamento. O bom senso indica, de imediato, que as bacias fluviais são as unidades ideais para o desenvolvimento da utilização dos recursos de água.

As bacias são entidades naturais hidrológicas com características funcionais de tal maneira bem definidas que, nelas, os recursos de água podem ser adequadamente inventariados, permitindo, portanto, o estabelecimento de um equilíbrio entre os usos e as disponibilidades.

As bacias fluviais muitas vezes incluem extensas regiões. Nas fases de utilização dos recursos de água dessas bacias — de seus rios, por exemplo — é comum, no Brasil, considerar como unidades independentes e separadas, para fins de utilização, os vários cursos d'água tributários, ou mesmo, apenas um elemento físico-hidrográfico desses tributários, como por exemplo, uma queda-d'água ou um "boqueirão".

À medida, porém, que as demandas devidas ao desenvolvimento econômico, se aproximam das máximas possibilidades de desenvolvimento dos tributários ou dos aproveitamentos individuais de parte dos recursos de uma área, a interdependência das várias sub-bacias e dos diversos empreendimentos vai-se tornando mais sentida, alertando os usuários da importância de considerar globalmente o problema dos rios, e da água de modo geral.

Dois conceitos surgiram em anos recentes, tendo em vista o desenvolvimento global dos recursos de águas o primeiro é o conceito dos projetos para múltipla finalidade.

O segundo é o conceito da unidade das bacias fluviais. Este reconhece a interrelação entre os vários elementos que compõem os recursos de água de uma bacia, estabelece a necessidade de considerar esses elementos como um todo, e presume que os projetos de múltiplo-fim possam ser realizados através da secção de desembocadura do curso d'água principal da bacia.

1. AS BACIAS FLUVIAIS E O CICLO HIDROLÓGICO

Uma bacia fluvial é constituída pelo conjunto de terrenos drenados por um curso d'água principal e seus tributários, de tal modo que toda a água que atinge a área de drenagem, na forma de precipitação, e não é devolvida à atmosfera pelos processos depletivos de evaporação e transpiração, ou não se escapa subterraneamente às bacias vizinhas ou ao oceano, é eventualmente escoada superficial e subterraneamente

através da secção de desembocadura do curso d'água principal da mesma.

As precipitações que caem sobre os terrenos das bacias constituem a fonte de renovação de seus recursos de água. No âmbito universal, os fenômenos de precipitação ocorrem a todo o tempo. No entanto, quando se consideram as várias bacias fluviais isoladamente, observa-se grande variabilidade na cronologia de ocorrência desses fenômenos. De outro lado, observa-se também, que as quantidades de precipitação variam bastante no tempo e de lugar para lugar, de maneira que certas bacias são menos favorecidas que outras, e nalgumas ocasiões ocorrem enormes concentrações de precipitação, conduzindo a condições extremas de excessos de água.

Os recursos de água de tôdas as bacias fluviais fazem parte de um gigantesco sistema circulatório conhecido como "ciclo hidrológico". Embora esse ciclo não tenha princípio nem fim, costuma-se supor que êle tenha início na superfície dos oceanos.

Sofrendo contínua evaporação, os oceanos proporcionam vapor à atmosfera. Grande parte desse vapor é condensada e, subsequenteemente, devolvida ao oceano. Outra parte, porém, é levada dentro de grandes massas de ar, sendo eventualmente precipitada na forma de chuva, granizo ou neve, ou então, condensada em forma de orvalho ou geada, nas áreas terrestres. A umidade, na forma de orvalho ou geada é evaporada diretamente, ou então, usada pela vegetação e depois devolvida à atmosfera.

A água de chuva que não é evaporada durante a queda, começa a fazer parte dos recursos da bacia receptora. Dessa água, uma parte é interceptada pela vegetação e outros obstáculos, sendo reevaporada; outra cai diretamente nos leitos dos cursos d'água da bacia, enquanto outra parte atinge a superfície dos terrenos.

À medida que alcança a superfície do solo, uma parte da chuva vai-se infiltrando e outra — em quantidades que dependem da diferença entre a intensidade da chuva e a capacidade de infiltração do solo — permanece na superfície, sendo coletada em depressões pequenas e grandes, existentes nos terrenos da bacia — uma porção desta é subsequenteemente evaporada e outra se infiltra.

Após o enchimento das depressões, a quantidade de chuva em excesso à infiltração acumula-se sobre os terrenos da bacia, iniciando-se então um escoamento difuso, no sentido da maior declividade. A extensão deste escoamento, em lençol, é em geral, relativamente pequena, e depende do tipo e condições de uso do solo, da cobertura vegetal e da declividade dos terrenos. É esse tipo de escoamento que produz a chamada erosão-em-lençol, também conhecida nalguns círculos como erosão laminar. A água que assim se escoa é logo reunida em suaves depressões e pequenos sulcos nos terrenos. Escoando-se nestes, a água

encontra outros sulcos e depressões, e, através dêstes, atinge os álveos dos cursos d'água do sistema de drenagem da bacia.

Até aqui, o fenômeno é chamado escoamento superficial; ao chegar ao leito fluvial, a água que se escoou superficialmente passa a constituir deflúvio superficial da bacia contribuinte e o escoamento passa então a ser chamado escoamento fluvial. Através dêste, a água poderá atingir o oceano. Durante o trânsito pelos cursos d'água, uma porção é evaporada e outra, que pode atingir a quase totalidade do deflúvio em certas bacias, em zonas de pouca precipitação, se infiltrará pelas paredes dos canais fluviais.

De tôda a água que se infiltra, uma parte é retida por fôrças de atração molecular, na chamada camada do solo da zona de aeração, para satisfazer a deficiência de umidade, em relação à capacidade de campo, produzida durante o período de estiagem pelos fenômenos depletivos da evaporação e transpiração; se a água infiltrada fôr suficiente, outra parte percolará para baixo, podendo produzir escoamentos laterais subsuperficiais nas proximidades da superfície, e acréscimo nos armazenamentos de água subterrânea. A água infiltrada que se escoo subsuperficialmente é logo devolvida à superfície. Na zona de saturação (zona de água subterrânea, onde os interstícios das rochas se encontram totalmente ocupados pela água) esta se move lentamente, por ação da gravidade, em direção a pontos e áreas de descarga natural ou artificial. Essa descarga pode ocorrer depois de poucos dias, meses ou mesmo períodos mais longos.

A descarga natural dos aquíferos pode dar-se por meio de fontes e pela filtração efluente ao longo dos leitos fluviais; ou pode-se dar por evaporação e transpiração, nas áreas onde o lençol freático aflora e nas áreas onde êsse lençol se encontra muito próximo da superfície, sujeitando-se a água subterrânea à ação evaporativa da atmosfera e transpirativa da vegetação; uma parte da água é descarregada subterrâneamente no oceano.

Embora muitas vêzes o lençol se encontre a relativamente grandes profundidades, certos tipos de plantas — conhecidas como freatófitas — emitem suas raízes até a superfície freática, a fim de obter abastecimento seguro de água, descarregando à atmosfera, dessa maneira, água subterrânea, que normalmente não seria descarregada. Sem dúvida, a maior parte da descarga total dos aquíferos é a que se dá nos cursos d'água perenes das zonas úmidas. O ciclo é completado com a devolução da água à atmosfera ou ao oceano.

Essa descrição sumária do ciclo hidrológico omite, por necessidade, inúmeros pormenores. No entanto, serve para ressaltar dois fatos importantes com relação aos recursos das bacias fluviais. O primeiro dêles é a sua perene mobilidade, fato que sugere não só a renovabilidade dos recursos de água, como indica a necessidade de uma utilização ampla fato se refere à estreita ligação entre as várias fases do ciclo hidrológico,

e contínua para obter os máximos benefícios dos mesmos. O segundo e mostra a necessidade de se considerar os recursos de água das bacias como um todo, constituído pelas várias formas passíveis de uso — precipitação, água no solo, águas superficiais, subterrâneas — em que a água se apresenta.

É evidente, por exemplo, que não é possível compreender os problemas de água subterrânea de uma bacia, deixando de lado a precipitação que, afinal, constitui a fonte de renovação de todos os recursos de água; não se pode, também, desconsiderar as águas dos rios, pois estes são alimentados pelos aquíferos nas zonas úmidas, ou alimentam estes nas zonas secas; e na determinação das relações entre a precipitação e os aquíferos, há necessidade de se considerar a água no solo e a maneira como essa água é usada pela vegetação, ou evaporada, pois os aquíferos deixam de ser alimentados sempre que o solo puder reter toda a água de chuva infiltrada.

2. PRÁTICA DE UTILIZAÇÃO RACIONAL DA ÁGUA

Para suprir suas demandas e aproveitar ao máximo os benefícios que os recursos de água de uma bacia podem prestar, tendo em vista a preservação desses benefícios para as gerações futuras, o homem lança mão de práticas conservacionistas por ele idealizadas.

As práticas de conservação da água podem ser classificadas dentro de três categorias gerais: a primeira inclui aquelas práticas que visam à poupança no uso da água; a segunda inclui aquelas que procuram manter a usabilidade da água; e a terceira inclui as práticas de armazenamento da água durante os períodos em que ela sobeja, para sua utilização posterior. Todas essas práticas envolvem o dispêndio de dinheiro e energia, em pessoal, obras e equipamentos, e portanto a realização de qualquer delas deve ser justificada economicamente.

Nas regiões onde os recursos de água são reduzidos, a economia no uso da água — através da redução dos desperdícios domésticos e industriais, da melhoria das técnicas de irrigação, da redução das perdas nos canais de irrigação, etc. — pode conduzir à liberação de quantidades consideráveis de água que podem ser usadas para outros fins ou para as mesmas finalidades, porém beneficiando maior número de interessados.

A utilidade da água pode também ser mantida através de práticas visando ao controle de sua qualidade. Evitando, por exemplo, a poluição dos cursos d'água, lagos e lagoas, mantém-se a usabilidade dessas fontes não só para o suprimento das várias necessidades do homem, como também para a manutenção de peixes e outros animais aquáticos. Nas áreas costeiras onde é possível a intrusão de água salgada nos aquíferos, pode-se proteger essas fontes de abastecimento de água, limitando os bombeamentos ou reduzindo os rebaixamentos do lençol freático.

O sedimento transportado pelos cursos d'água pode ser depositado no próprio leito fluvial, causando dificuldades à navegação e aumentos nos níveis de inundação, ou pode ser depositado na planície aluvial, podendo arruinar as culturas, edifícios e outras propriedades, ou ainda pode ser depositado em reservatórios, reduzindo sua capacidade útil. Para sua utilização doméstica e industrial, a água com sedimento exige tratamento para renovação da mesma.

No vale dos cursos d'água o principal problema criado pela sedimentação é sem dúvida o assoreamento dos reservatórios construídos pelo homem. O assoreamento de um determinado reservatório pode ser controlado por meio de práticas que visam: a) ao controle da entrada dos sedimentos no reservatório; b) ao controle da deposição do sedimento; c) à remoção do sedimento; e, d) ao controle na produção de sedimento nos terrenos da bacia. O controle da entrada de sedimentos pode ser levado a cabo, em algumas circunstâncias, por meio de bacias de decantação, barreiras de vegetação e outras estruturas e artifícios que reduzem a quantidade de sedimento na água antes de a mesma entrar no reservatório. Um controle parcial da deposição do sedimento pode ser obtido, algumas vezes, mantendo abertas durante períodos de enchentes, as comportas-de-fundo das barragens, a fim de aproveitar as "correntes de densidade", carregadas de sedimentos, que ocorrem ao longo do fundo dos reservatórios durante e imediatamente após a entrada de enchentes. A remoção dos sedimentos de um reservatório é tarefa normalmente não justificada economicamente no presente, mas, que pode ser levada a cabo por vários métodos, como por exemplo por dragagem, por escavação mecânica, etc. O controle na produção de sedimentos nos terrenos das bacias, envolve tôdas as práticas incluídas nos trabalhos de conservação do solo.

As práticas conservacionistas de armazenamento da água visam a conservar em reservatórios naturais e artificiais, as águas que sobram durante os períodos de chuva, para utilizá-las posteriormente. Essas sobras podem ser armazenadas em três tipos principais de reservatórios: o solo, os reservatórios subterrâneos e os reservatórios superficiais.

O solo constitui um reservatório natural de grande importância econômica para a agricultura. A água recebida por meio da infiltração pode permanecer no solo durante dias ou semanas, até que seja evaporada ou transpirada pela vegetação. O armazenamento de água no solo, porém, é suficiente para suprir as necessidades dos cultivos durante um determinado tempo. Se o intervalo entre chuvas fôr muito longo o reservatório pode esgotar-se e as culturas sofrerão pela falta de água. Já tem sido demonstrado que é possível conservar boa parte da água que cai nos terrenos das bacias por meio de práticas que induzam à infiltração da água no solo e reduzam a evaporação excessiva. Essas

práticas envolvem certas fases da conservação dos solos cultivados, incluindo o emprêgo do terraceamento, da cultura-em-faixas e a lavra segundo curvas-de-nível.

É evidente que a água que ficar retida no solo não mais poderá fazer parte dos recursos de água superficiais ou subterrâneos.

O solo retém a água por forças de atração molecular até um determinado limite. A água infiltrada que excede essa capacidade de campo, percola para baixo e pode tornar-se água subterrânea.

Dos reservatórios subterrâneos das bacias provém tôda a água que sai pelas nascentes ou que é retirada dos poços para o abastecimento de cidades, irrigação ou indústrias, e constitui as fontes que mantêm os escoamentos fluviais perenes durante os longos meses de estiagem. A quantidade de água armazenada em muitos desses reservatórios é enorme. Para dar uma idéia dessa magnitude, pode-se citar o caso de um aquífero que existe sob uma área de 17 000 quilômetros quadrados, no sul do estado de Texas, nos EUA; o volume total de água que poderia ser obtido desse reservatório foi estimado em cerca de 190 bilhões de metros cúbicos; esse volume corresponde à quantidade de água que poderia estar contida num lago, do tamanho do estado da Paraíba e com mais de 3 metros de profundidade.

É evidente que nem todos os aquíferos têm tal extensão e volume armazenado. Muitos, talvez a maior parte deles, são pequenos aquíferos de reduzida capacidade.

Uma característica essencial dos reservatórios subterrâneos é a movimentação da água através deles desde as áreas onde ela entra nos mesmos — as áreas de alimentação — até os pontos onde ela é descarregada, seja por evapotranspiração, por meio de fontes, por filtração efluente nos cursos d'água e lagos, ou por escoamento direto no oceano. A água subterrânea não permanece, portanto, parada debaixo da superfície da terra, esperando por sua utilização, mas encontra-se movendo em direção aos pontos de descarga mais próximos. Esse movimento subterrâneo é muitíssimo mais lento que os que se dão nos cursos d'água e na atmosfera, de maneira que os aquíferos constituem armazéns dinâmicos dos quais o homem pode obter água na medida de suas necessidades.

No mundo todo, o uso dos reservatórios subterrâneos está sendo cada vez maior, especialmente nas bacias das zonas áridas e semi-áridas, onde a utilização, por armazenamento, da água superficial, de ocorrência excessivamente irregular, redundava em severas perdas por evaporação, que podem exceder os volumes efetivamente usados. A utilização dos reservatórios subterrâneos, porém, é limitada pela quantidade de água que eles recebem normalmente através de suas áreas de alimen-

tação. Esta utilização, porém, pode ser aumentada consideravelmente acima do limite determinado pela alimentação natural, sempre que fôr possível aumentar artificialmente o reabastecimento durante os períodos em que ocorrem sobras de água na superfície. Essa prática conduz, também, a uma redução das perdas de água por evaporação. A alimentação artificial dos aquíferos já tem sido feita com êxito em vários países; é provável que ela venha a ser uma prática de conservação bastante comum e de grande efetividade, principalmente nas regiões de precipitação irregular e deficiente, como é o Nordeste do Brasil.

Outra forma de conservar os recursos de água subterrânea é a que tem aplicação específica naquelas áreas no fundo de certos vales, onde o lençol freático se encontra muito próximo à superfície, e, como conseqüência, resultam grandes perdas de água por evaporação e transpiração. Nestes casos, a prática conservacionista consiste em reduzir essas perdas rebaixando o nível freático por meio de drenagem ou bombeamento ou então interceptando por meio de poços e bombeamento a água subterrânea que se dirige para essas áreas. A água assim obtida pode ser utilizada para qualquer finalidade (se a qualidade fôr boa), inclusive para irrigar outras áreas onde haja *deficit* de água; e os terrenos recuperados podem ser também usados para fins benéficiais.

Os reservatórios superficiais de conservação são projetados para interceptar o deflúvio normal dos cursos d'água, a fim de ajustar o ritmo e a ordem cronológica dos deflúvios às demandas dos projetos que utilizam a água. Sem êsses reservatórios, a maior parte da água que se escoia nos rios seria devolvida ao oceano, sem ser usada.

Nas bacias situadas em regiões úmidas, onde a chuva anual excede bastante as demandas de evapotranspiração, grande parte do deflúvio total ocorre na forma de cheias e ondas de enchentes intermitentes, produzidas pelas chuvas que ocorrem nas bacias em certas épocas; e durante os períodos de estiagem os cursos d'água transportam o resto do deflúvio que provém dos reservatórios subterrâneos. A não ser que as águas das cheias e das enchentes possam ser usadas durante sua passagem, os benefícios que delas advirão serão pequenos. Por meio do armazenamento dessas águas, porém, é possível sincronizar melhor o escoamento fluvial com as demandas para os vários fins.

Nas bacias situadas em zonas áridas e semi-áridas, os cursos d'água são em geral intermitentes ou efêmeros, de maneira que durante parte do tempo não se pode contar com o escoamento fluvial. Da mesma forma que nas outras bacias das zonas úmidas, aqui também se pode armazenar a água para a máxima utilização dêsse recurso.

A água que permanece armazenada nos reservatórios, porém, está sujeita a ser evaporada. Nas zonas de pouca precipitação, a quantidade

evaporada anualmente pode ser muito maior que a chuva anual que cai diretamente sobre o reservatório, de maneira que a quantidade de água disponível para utilização é reduzida consideravelmente. Dentro dos objetivos da conservação de água, portanto, o armazenamento em reservatórios superficiais nestes casos não é de todo satisfatório. Em alguns países estão sendo desenvolvidas pesquisas visando a encontrar meios de controlar a evaporação das superfícies líquidas.

Como se pode inferir da discussão acima, as práticas conservacionistas de armazenamento da água são essenciais para a máxima utilização dos recursos de água. As várias práticas diferem, entre si, e estão classificadas de acordo com o tipo de reservatório usado. Talvez por falta de compreensão do problema no seu todo, algumas vezes observam-se controvérsias com respeito à relativa eficácia dos três métodos de armazenamento da água (no solo, nos aquíferos e em reservatórios nos vales dos cursos d'água). Um plano conservacionista equilibrado, porém, deverá considerar todos eles, determinando para cada caso, os métodos de armazenamento a serem utilizados, baseando-se em dados físicos acerca das possibilidades de armazenamento e em considerações de ordem econômica e social com respeito aos objetivos a serem atingidos pela conservação da água, e de outros recursos naturais.

II

INFORMAÇÕES BÁSICAS SOBRE OS RECURSOS DE ÁGUA DO NORDESTE, ADEQUABILIDADE, NECESSIDADES E RECOMENDAÇÕES

1. DADOS BÁSICOS HIDROLÓGICOS E METEOROLÓGICOS

a. *Precipitação*

As chuvas são a fonte de renovação dos recursos de água do Nordeste.

A extrema variabilidade de sua ocorrência no espaço e no tempo, responde em grande parte pela excessiva irregularidade notada na distribuição e na disponibilidade imediata da água.

A quantidade total máxima de água de uma bacia ou região é determinada pelo suprimento de chuva que a área recebe. Quanto maior for a proporção desse total usada para fins rendosos e benéficos, tanto mais eficiente e completo poderá ser considerado o desenvolvimento da utilização dos recursos de água da região.

A obtenção de dados básicos que permitam determinar de modo acurado a quantidade, distribuição (no espaço e no tempo), variabili-

dade, flutuações e freqüência das chuvas constitui um problema hidrológico fundamental que na Grande Região Nordeste deve merecer cuidadosa atenção.

A rede pluviométrica atual — Até 1958 foram instalados na Grande Região Nordeste, e funcionaram durante períodos variáveis de tempo, 1 225 postos pluviométricos. Apenas em parte se encontram atualmente em funcionamento; alguns operaram somente por um mês ou pouco mais; outros funcionaram por alguns anos e foram extintos; de outro lado, porém, têm-se dados contínuos de muitos postos com mais de 40 anos de observação.

O máximo número de pluviômetros que já funcionou simultaneamente na Grande Região Nordeste, foi de apenas 852, no ano de 1949. A quantidade de pluviômetros em operação em cada um dos anos desde 1907, nos nove estados da região, acha-se indicada na ilustração 1. É preciso mencionar que para a determinação desses totais, foram considerados “em operação” todos aqueles pluviômetros dos quais se dispuseram de dados de pelo menos um mês.

Esses postos são (ou foram) mantidos por várias entidades públicas e privadas, de acordo com a discriminação apresentada na Tabela 1.

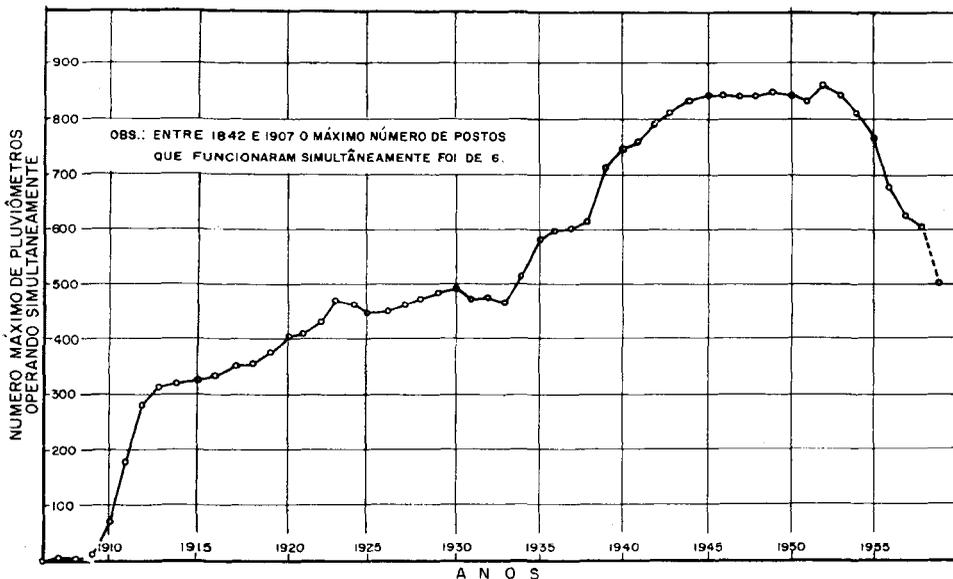
TABELA 1

Número máximo de postos pluviométricos instalados ou mantidos por entidades públicas e privadas na Grande Região Nordeste

ENTIDADE	MA	PI	CE	RGN	PB	PE	AL	SE	BA	Total	% do Total
DNOCS, IFOCS, IOCS....	—	27	275	84	77	75	32	25	169	764	62,4
Serviço de Meteorologia...	9	2	15	5	10	24	15	6	42	128	10,5
Divisão de águas.....	—	—	—	—	—	4	3	5	76	88	7,1
CVSF.....	—	—	—	—	—	—	—	—	25	25	2,0
Outras entidades públicas e privadas.....	7	—	3	4	9	46	20	11	120	220	18,0
TOTAL.....	16	29	293	93	96	149	70	47	432	1 225	100,0

É interessante observar a relação entre a quantidade total de pluviômetros que já existiu em cada estado (Tabela 1) e o máximo número que já operou simultaneamente (ilustração 1). No Ceará, por exemplo,

ESTADOS: BAHIA, CEARÁ, PERNAMBUCO, PARAÍBA, RIO GRANDE DO NORTE, ALAGOAS, SERGIPE, PIAUÍ E MARANHÃO



QUANTIDADE DE PLUVIÔMETROS QUE OPERARAM SIMULTÂNEAMENTE NA G.R.N.E. DESDE 1907

HIDROSERVICE

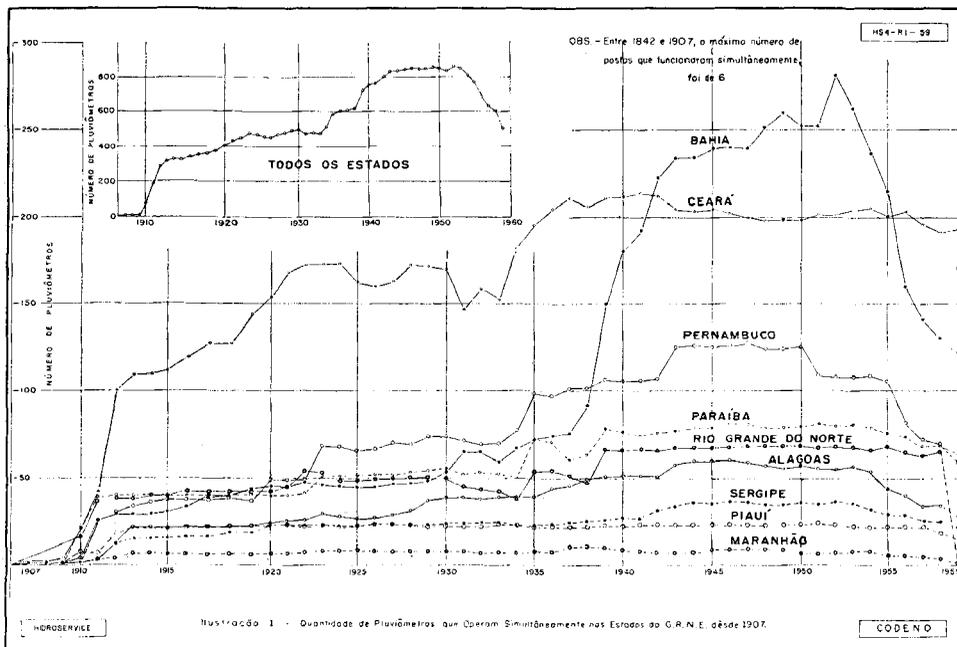


Ilustração 1 - Quantidade de Pluviômetros que Operam Simultaneamente nos Estados da G.R.N.E. desde 1907.

HIDROSERVICE

CODENO

o número total de postos é de 293; nunca operaram simultaneamente mais que 213 postos. Na Bahia, essa relação é de 432 para 281!

O que há de dados mensais e anuais, para cada um dos 1 225 postos pluviométricos que existem ou já existiram nos 9 estados da região estudada, acha-se apresentado nas ilustrações 2 a 36. Esses quadros indicam: a entidade que instalou, fez funcionar durante algum tempo, ou mantém o posto; o período de observações; e as falhas ou interrupções. Foram considerados como falhas ou interrupções, aqueles períodos para os quais não foi possível localizar os dados respectivos nas sedes da Divisão de Águas e do DNOCS, no Rio de Janeiro.

Para indicar a posição geográfica de cada um dos postos são apresentadas as ilustrações 37 a 39 onde é possível verificar-se, também, a distribuição dos pluviômetros em relação às bacias de drenagem da região. É conveniente lembrar que, atualmente, acham-se em operação apenas parte dos postos indicados nessas figuras. Para conhecer minúcias de disponibilidade de dados em cada caso é necessário referir-se às ilustrações 2 a 36, usando para orientação os números atribuídos a cada posto.

Em muitas localidades, existem dois ou três pluviômetros, mantidos por entidades distintas. Nos quadros e mapas apresentados, esses casos podem ser facilmente localizados. Um exemplo que se pode citar como ilustração é o de Pesqueira, em Pernambuco, de onde se têm dados de três pluviômetros, um do DNOCS, outro do Serviço de Meteorologia e um terceiro que foi instalado pela antiga "Great Western", hoje Rêde Ferroviária Federal do Nordeste.

Oito postos existem com dados — alguns com longas interrupções — anteriores a 1907, a saber: Fortaleza — 1849; Quixeramobim — 1896; Moçoró — 1899; Natal — 1904; João Pessoa — 1893; Dois Irmãos — 1889; Recife — 1842; e Salvador — 1883. Na ilustração 40 apresenta-se um quadro que indica as disponibilidades de dados desses postos, onde se observam longos períodos de interrupção em alguns postos e, de outro lado, a notável série contínua de 110 anos de Fortaleza.

Tôda a discussão acima se refere a dados obtidos por meio de aparelhos pluviométricos não registradores — os pluviômetros — nos quais são feitas observações uma vez ao dia, pela manhã. Na Tabela 2 que segue é apresentada uma lista dos postos pluviográficos que funcionam ou já funcionaram na região. Para cada caso é indicado o período de operação, sem levar em conta as interrupções sofridas. Essas indicações de períodos não são absolutamente seguras, mas constituem o melhor que se pode conseguir. Todos esses pluviógrafos foram instalados e operados pelo Serviço Nacional de Meteorologia do Ministério da Agricultura.

TABELA 2

Postos pluviográficos do Serviço Nacional de Meteorologia existentes ou que já funcionaram na Grande Região Nordeste com seus respectivos períodos de observação

LOCALIDADE	Estado	Período total de observações
Barra do Corda.....	Maranhão	1923/59
Coroatá.....	»	1922/31
Caxias.....	»	1934/45
São Luís.....	»	1921/59
Turiagu.....	»	1921/59
Davi Caldas.....	Piauí	1933/37
Teresina.....	»	1931/59
Fortaleza.....	Cecrá	1928/50
Guaramiranga.....	»	1921/59
Icó.....	»	1938/46
Quixeramobim.....	»	1921/59
Natal.....	Rio Grande do Norte	1930/50
João Pessoa.....	Paraíba	1930/54
São Gonçalo.....	»	1938/59
Caruaru.....	Pernambuco	1930/34
Nezeré.....	»	1921/50
Olinda.....	»	1926/54
Pesqueira.....	»	1921/24
Maceió.....	Alagoas	1922/59
Colégio.....	»	1926/31
Aracaju.....	Sergipe	1923/40
Barreiras.....	Bahia	1926/32
Caiteté.....	»	1921/29
Juazeiro.....	»	1922/32
Ondina.....	»	1922/55
Paulo Afonso.....	»	1951/59
São Francisco do Conde.....	»	1922/32
Salvador.....	»	1931/54

Adequabilidade e necessidades — Uma verificação minuciosa da qualidade dos dados pluviométricos coletados até agora em cada um dos postos que funcionaram na região, estêve fora do escopo dêste trabalho.

Foram apenas estudadas as características de adequabilidade do sistema pluviométrico considerado globalmente, tendo em vista os seguintes aspectos:

- a) Tipos de dados obtidos na rêde;
- b) Número de anos de observações já disponíveis; e,
- c) Cobertura em área.

A quase totalidade dos dados obtidos na Grande Região Nordeste, provém de observações feitas uma vez ao dia em pluviômetros tipo Ville

de Paris (Tonnelot). A maior minúcia que se pode conseguir dessas observações é o total de chuva de 24 horas — intervalo entre as leituras diárias.

Os totais de 24 horas são suficientes para todos aquêles estudos que não exigem discriminação sôbre a estrutura das tormentas individuais, e para os estudos dos totais mensais e anuais de chuvas.

Em vários tipos de trabalhos, são, porém, imprescindíveis as informações sôbre a intensidade e a duração das chuvas. É, entretanto, reduzidíssimo o número de aparelhos registradores em funcionamento na região. Dos 27 pluviógrafos que já operaram no Nordeste, de acôrdo com as informações disponíveis sômente 7 são mantidos atualmente. Veja-se a Tabela 2. É desolador verificar que depois de 1938 foi instalado sômente um novo pluviógrafo na região (Paulo Afonso, em 1951).

A cobertura dada pela atual rêde pluviográfica é altamente insuficiente. Mesmo que os 27 pluviógrafos estivessem funcionando, ainda assim o seria. A maior parte dos postos, principalmente os de mais longo período de observações, encontram-se nas proximidades da costa.

É necessária a instalação e distribuição adequada na região, de maior número dêsses instrumentos. Em uma rêde pluviométrica adequada para a região dever-se-ia ter pelo menos 10 a 15% de aparelhos registradores. Pelo menos!

Considerando o número total de pluviômetros (1 225) e pluviógrafos (27) que já operaram na região, a porcentagem entre registradores e não-registradores mal chega a 2%! A proporção de 15% pode parecer alta principalmente quando se leva em conta que em todo o Brasil não existem, talvez, mais que 100 pluviógrafos atualmente em operação! A realidade, porém, é que para se ter uma rêde pluviométrica completa é imprescindível operar um mínimo de aparelhos registradores. 10% constituem uma relação razoável que pode ser considerada como objetivo mínimo inicial, a ser atingido em 3 anos.

A Tabela 3 que segue apresenta uma distribuição de freqüência de períodos máximos de observações contínuas nos postos pluviométricos da Grande Região Nordeste. São de valor inestimável os dados de longo-prazo; adequada e judiciosamente analisados, poderão fornecer muita informação útil sôbre as flutuações, variabilidade, freqüência e outras características das chuvas na região. Servem, também, como base de correlação para ampliar as séries pluviométricas nos postos de mais curto período de observações e nos postos a serem instalados no futuro.

Como se vê por essa tabela, 56 dos dados de observação contínua disponível abrangem períodos de 20 anos ou mais. Cêrca de 47% dos postos têm de 10 a 30 anos de observação, enquanto 20% têm dados de 40 a 50 anos e 17% têm menos que 15 anos de observações.

Essas proporções, porém, variam de área para área, como se indica na tabela; na Paraíba, por exemplo, 80% dos postos têm dados de 20 anos ou mais.

TABELA 3

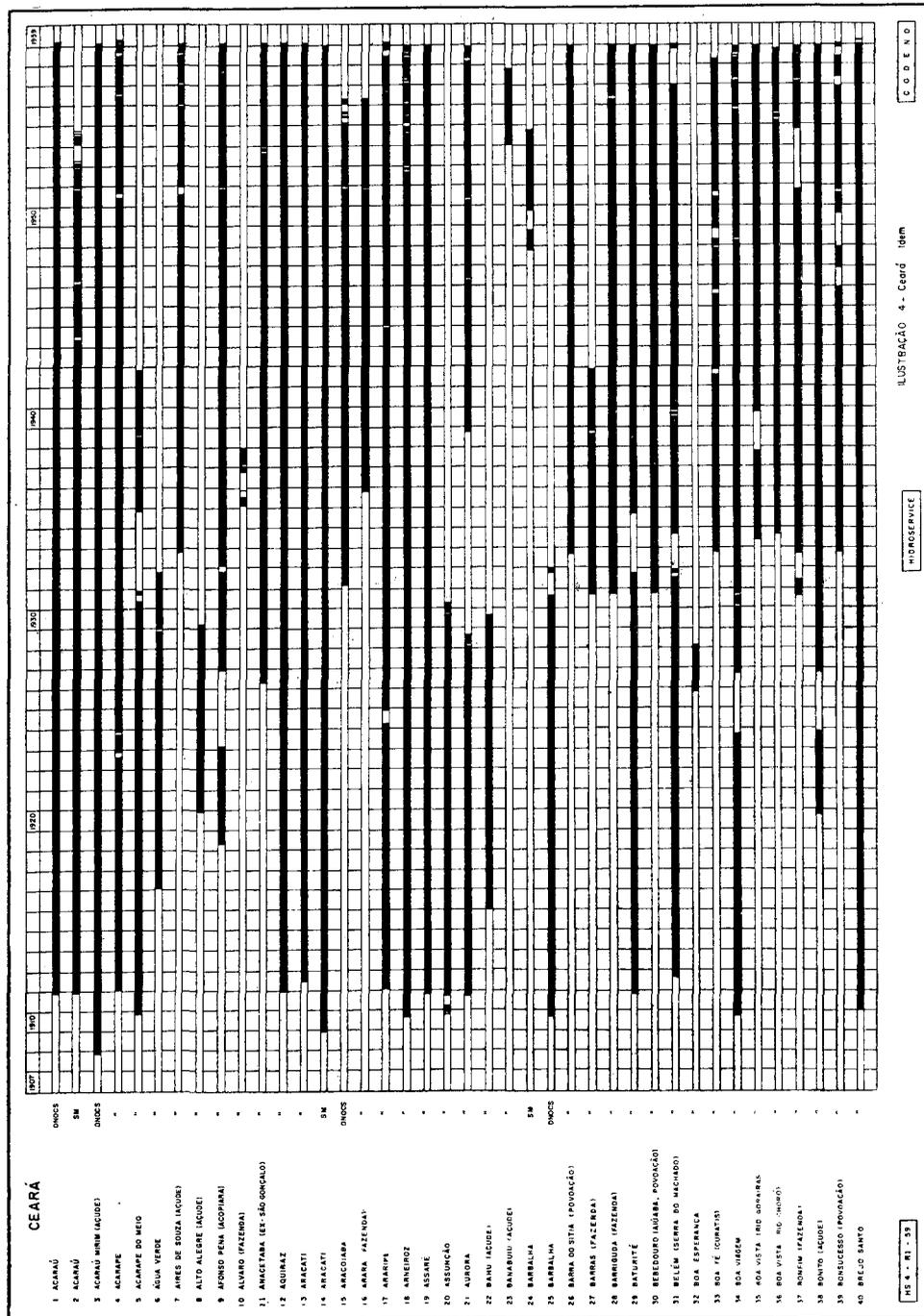
Número de pluviômetros com vários períodos máximos de observação contínua *

PERÍODO DE OBSERVAÇÃO EM ANOS	MA		PI		CE		RGN		PB		PE		AL		SE		BA		Todos os estados	
	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%	f	%
1/12 — 1.....	2	100,0	2	100,0	2	100,0	1	100,0	1	100,0	—	100,0	1	100,0	3	100,0	32	100,0	44	100,0
1 — 5.....	5	99,0	2	93,1	23	99,3	1	98,9	4	99,0	28	100,0	12	98,6	7	93,6	83	92,4	165	96,4
5 — 10.....	—	94,8	—	86,2	21	91,5	4	97,8	5	94,8	6	81,2	2	81,4	5	78,6	48	73,0	91	82,9
10 — 20.....	2	89,6	1	86,2	51	84,3	16	93,5	9	89,6	15	77,2	7	78,6	5	68,1	138	62,0	244	75,5
20 — 30.....	—	80,2	3	82,8	96	66,9	36	76,3	39	80,2	47	67,1	25	68,6	4	57,4	80	30,2	330	55,6
30 — 40.....	—	39,6	2	72,4	35	34,1	2	37,6	12	39,6	28	35,6	5	32,8	6	48,9	9	11,8	99	28,6
40 — 50.....	7	27,1	19	65,5	61	22,2	32	35,5	26	27,1	25	16,8	18	25,7	17	36,2	42	9,7	247	20,6
50.....	—	0	—	0	4	1,4	1	1,1	—	0	—	—	—	—	0	—	—	5	0,4	
TOTAL.....	16		29		293		93		96		149		70		47		432		1 225	

* Considerou-se como período de observação contínua todo aquele que não apresentava interrupção maior que 6 meses no caso de períodos de 1 a 5 anos e de 12 meses no caso de períodos mais longos.

f = Número de postos.

% = Porcentagem dos postos com períodos de observação iguais ou maiores que os limites inferiores indicados.



CEARÁ

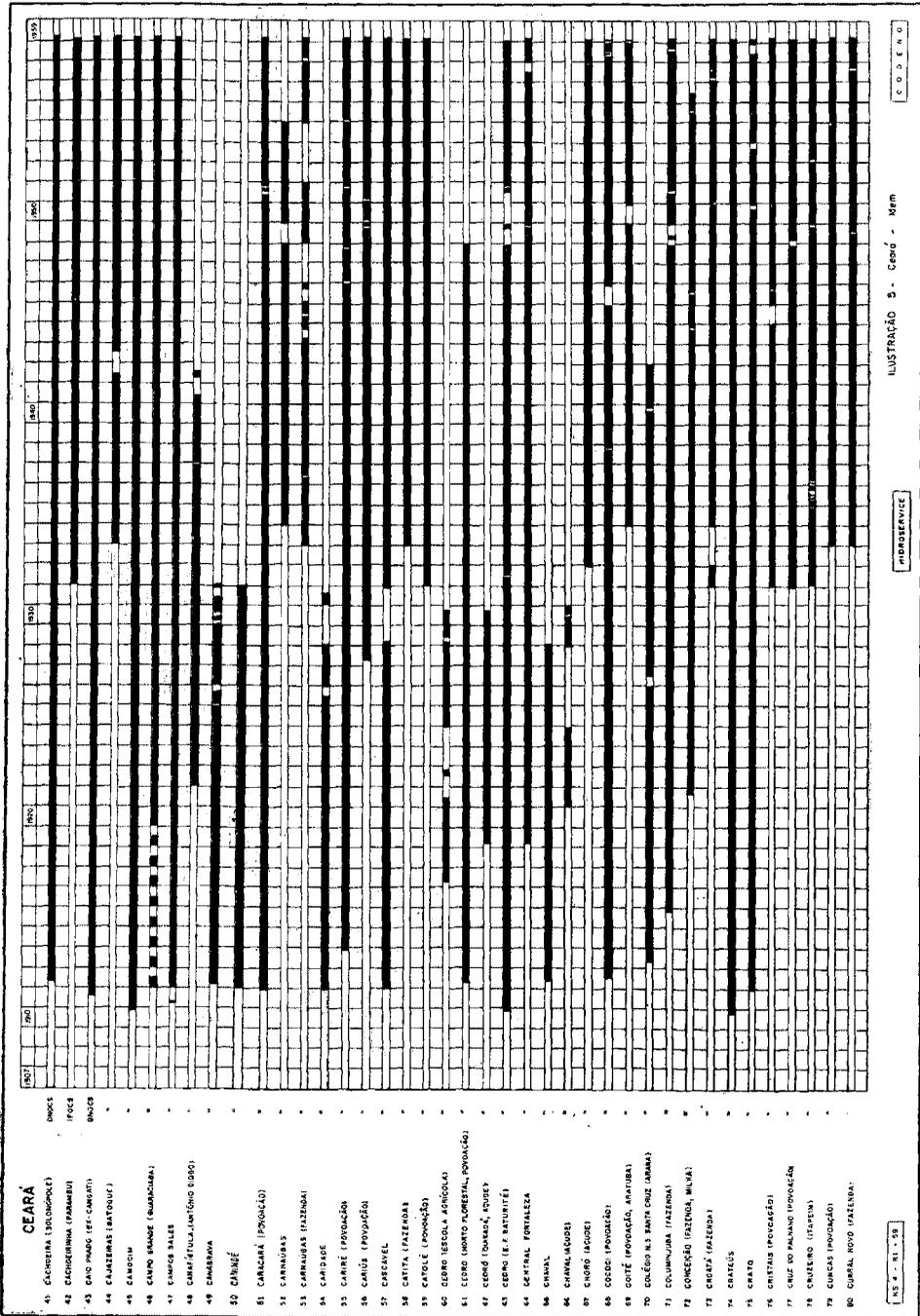
- 1 ACRÁÚ
- 2 ACRÁÚ
- 3 ACRÁÚ MIRIM (AQUEDE)
- 4 ACARAPÉ
- 5 ACARAPÉ DO MEIO
- 6 ÁGUA VERDE
- 7 ARIES DE SOUZA (AQUEDE)
- 8 ALTO ALEGRE (AQUEDE)
- 9 APODIO PEN (AQUARI)
- 10 ALVARO (FAZENDA)
- 11 ANACETABA (EX-SÃO DONALDO)
- 12 AQUINIZ
- 13 ARACATI
- 14 ARACATI
- 15 ARACOIABA
- 16 ARARA (FAZENDA)
- 17 ARARIPIA
- 18 ARARIPIZ
- 19 ASSARE
- 20 ASSUNÇÃO
- 21 AURORA
- 22 BARRA (AQUEDE)
- 23 BANABUI (AQUEDE)
- 24 BARBALHA
- 25 BARBALHA
- 26 BARRA DO SITA (PRODUÇÃO)
- 27 BARRAS (FAZENDA)
- 28 BARRUDA (FAZENDA)
- 29 BATALHÉ
- 30 BERTOLINO (ANGARA, PRODUÇÃO)
- 31 BELÉM (SERRA DO MACHADO)
- 32 BOA ESPERANÇA
- 33 BOA FÉ (COMARCA)
- 34 BOA VIEIRA
- 35 BOA VISTA (RIO GRANDE)
- 36 BOA VISTA (RIO GRANDE)
- 37 BONFIM (FAZENDA)
- 38 BONITO (AQUEDE)
- 39 BONSUCESSO (PRODUÇÃO)
- 40 BREJO SANTO

CEARÁ

ILUSTRAÇÃO 4 - Geod. Idem

HYDROSERVICE

HS 4 - RI - 33

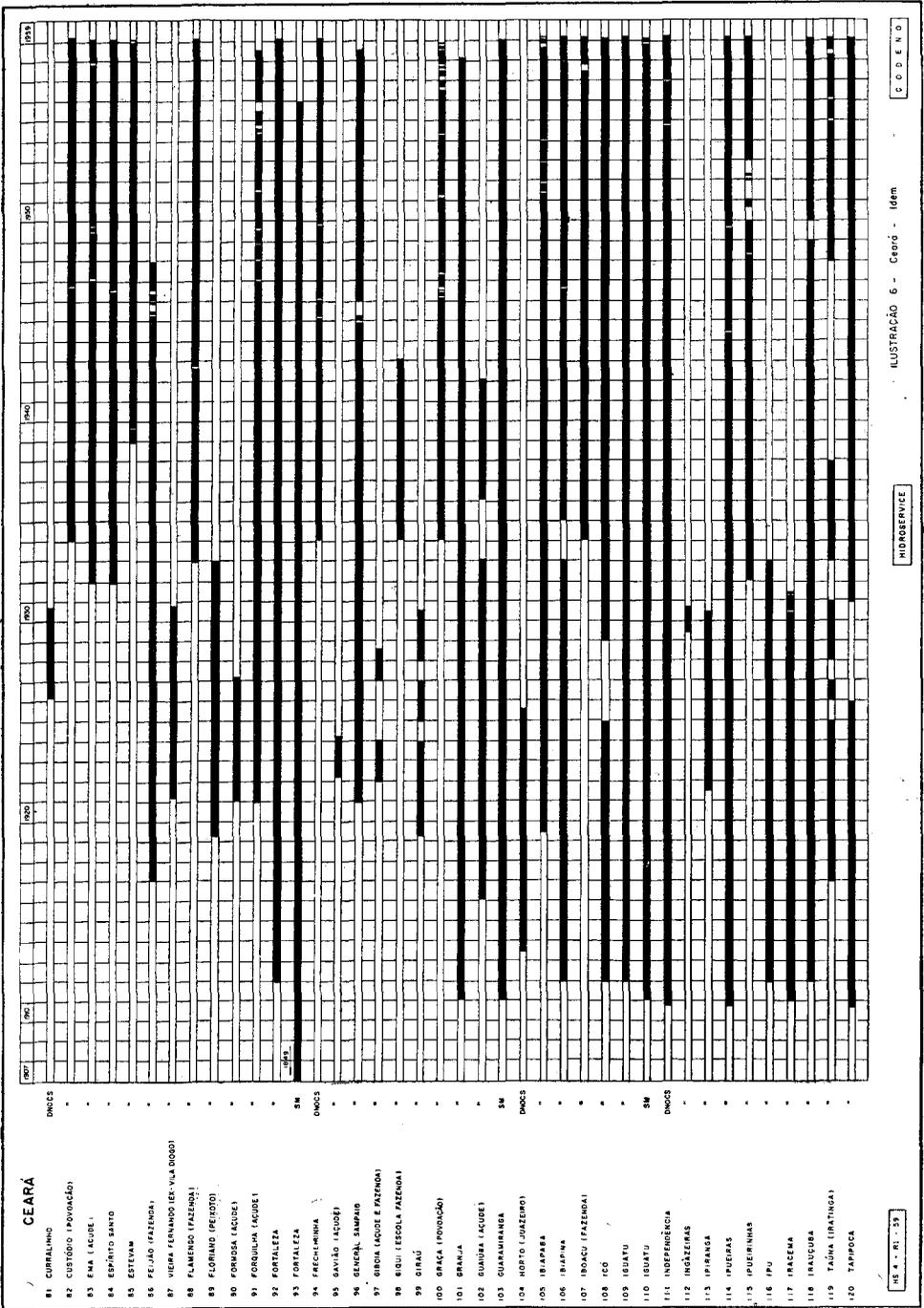


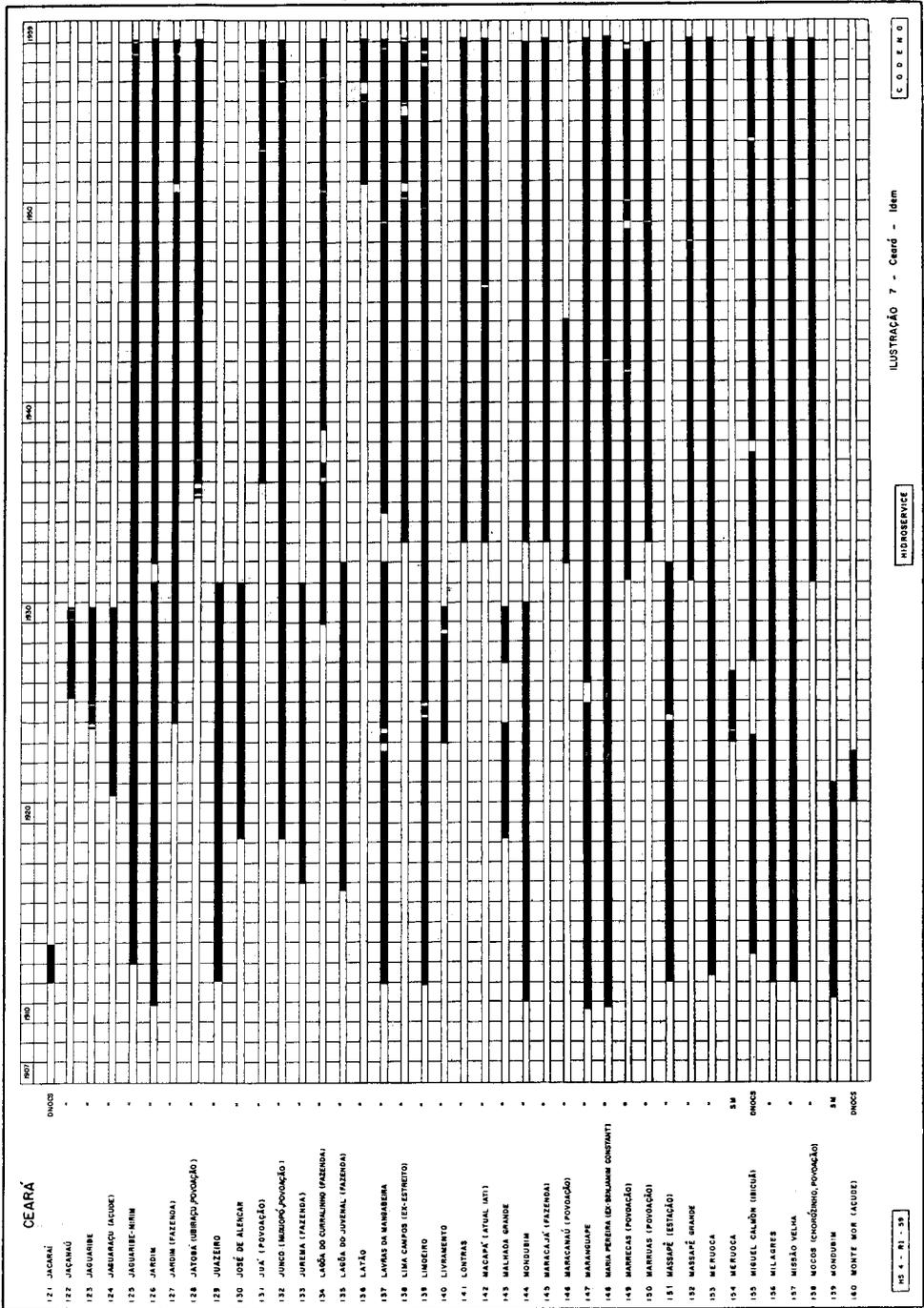
CEARÁ

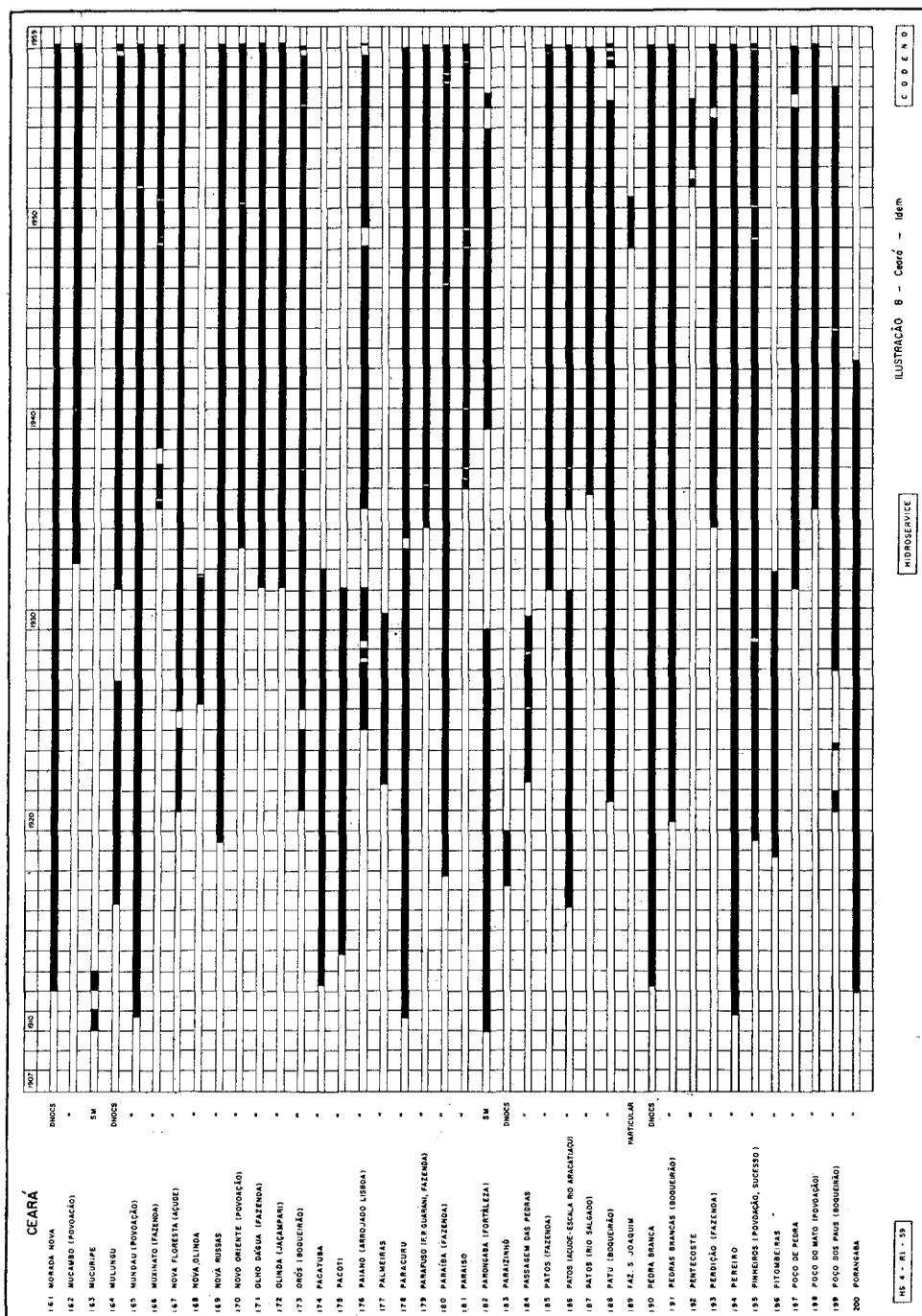
ILUSTRAÇÃO 5. Ceará - Mm

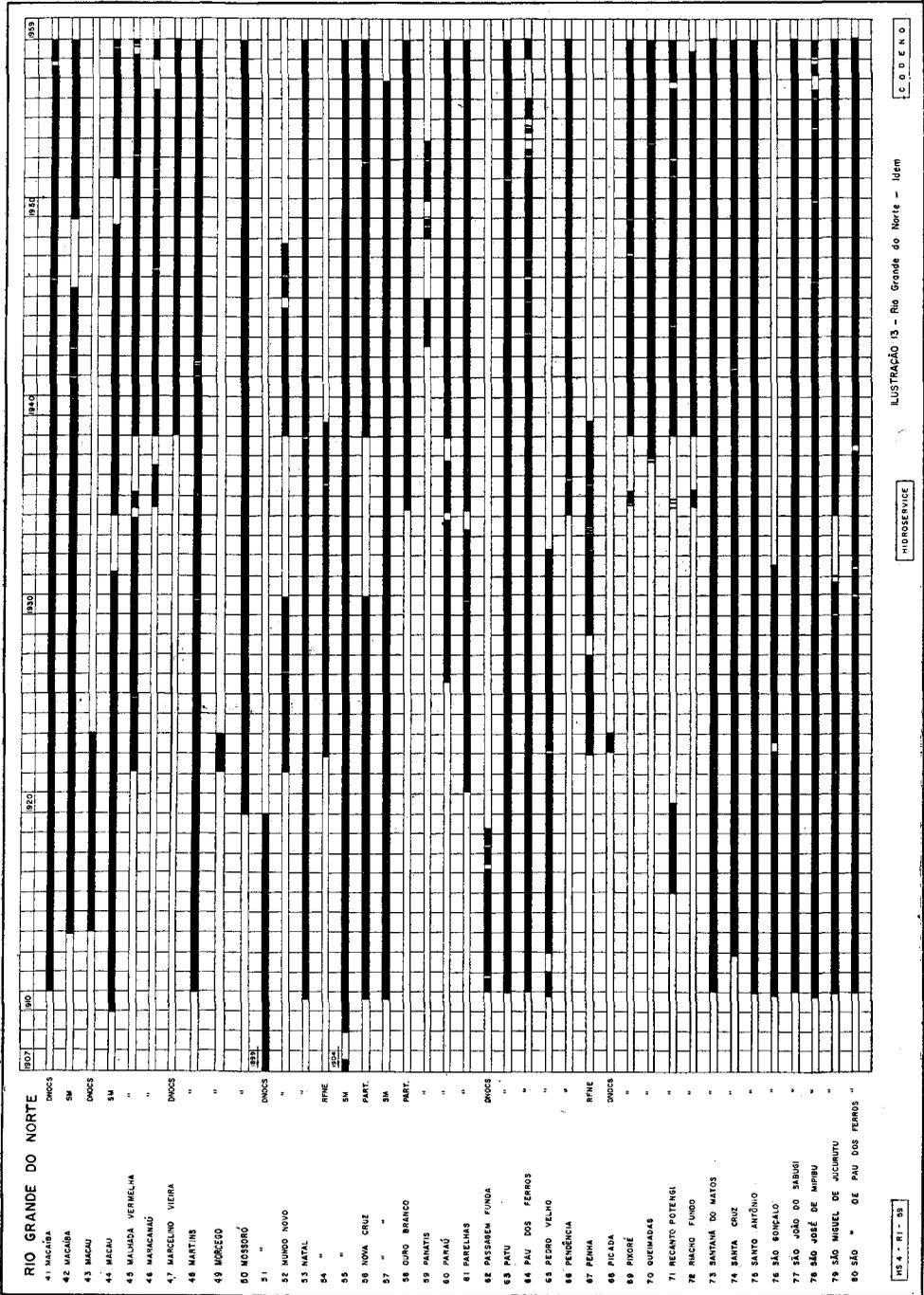
INDUSTRIAL

N.º - N.º - 98









C O S E N O

LUSTRAÇÃO 13 - Rio Grande do Norte - Idem

HYDROSERVICE

RS A - RI - 32

A cobertura em área fornecida pela atual rede é irregular, havendo grandes áreas e inúmeras bacias com muita pouca amostragem pluviométrica, enquanto em outros o número de pluviômetros é de certo modo adequado.

Deve-se mencionar aqui, que a questão da quantidade de pluviômetros numa área depende, em boa parte, do tipo de problema que se tem em mãos, e do tamanho e características de cada área a ser estudada. Por isso, nas considerações aqui feitas sobre a cobertura que a presente rede provê, leva-se em conta tão-somente a região no seu conjunto, tendo-se em vista principalmente uma razoável determinação da distribuição regional das chuvas e não uma distribuição pormenorizada por bacias.

A ilustração 1, mostra um decréscimo considerável dentro do último decênio, no número de postos pluviométricos em operação simultânea na região. É fato estranho, porquanto, como já se deu a entender, o total de pluviômetros dos quais se têm dados é insuficiente para prover uma cobertura pluviométrica adequada da região.

De acôrdo com as informações disponíveis (ilustração 1) estão atualmente em operação cerca de 600 pluviômetros, o que dá uma densidade média de um pluviômetro por cada 2 550 quilômetros quadrados da Grande Região Nordeste.

Considerando o número total de postos que já existiram na região (1 255), essa densidade seria de 1 250 km² por pluviômetro. Na Tabela 4 que segue, apresenta-se a densidade pluviométrica correspondente aos anos de 1909, 1919, 1929, 1939, 1949 e 1958.

TABELA 4

Densidade de pluviômetros em cada um dos estados da Grande Região Nordeste durante os anos de 1909/19/29/39/49/58

Quilômetros quadrados por pluviômetro

ESTADOS	1909	1919	1929	1939	1949	1958
Maranhão.....	34 622	57 700	43 280	34 650	38 470	86 550
Piauí.....	12 279	10 680	11 160	10 680	10 680	13 640
Ceará.....	37 150	1 030	864	708	747	778
Rio Grande do Norte.....	—	1 250	1 050	794	771	771
Paraíba.....	55 920	1 400	1 035	717	708	822
Pernambuco.....	99 250	2 680	1 360	928	800	1 420
Alagoas.....	28 570	1 300	772	560	510	840
Sergipe.....	21 550	1 200	937	829	616	862
Bahia.....	559 380	12 710	11 420	3 730	2 160	4 303
Região.....	127 290	4 060	3 140	2 120	1 790	2 550

Por êsse quadro tem-se uma idéia da irregularidade na distribuição dos pluviômetros nos estados da Grande Região Nordeste. A densidade pluviométrica é muito mais baixa no Maranhão, Piauí e Bahia. A densi-

dade média na região compreendida pelos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas e Sergipe é de 918 quilômetros quadrados por pluviômetro. É evidente que a cobertura é muito menos adequada nos estados da Bahia, Maranhão e Piauí, onde precisa ser relativamente maior o número de novos postos.

Ao invés de aumentar, no último decênio diminuiu a densidade média pluviométrica nos vários estados. É preciso não só recuperar essa perda mas ampliar a rede nos vários estados, dando-se também especial atenção às bacias menos estudadas e às áreas onde o uso da água tende a tornar-se mais intenso e a necessidade de dados mais aguda.

A determinação quantitativa da adequabilidade da rede pluviométrica tendo em vista os vários fins a que podem servir os dados de chuva, não é tarefa simples e deveria ser efetuada levando em conta os problemas presentes e prováveis futuros em cada uma das bacias fluviais ou sub-regiões. Para as finalidades deste trabalho, porém, e adotando-se alguns critérios arbitrários de adequabilidade, chegou-se à conclusão de que, como objetivo inicial mínimo, devem-se estabelecer novos postos ou restabelecer alguns dos já extintos, de modo a obter — como fase inicial — aproximadamente a seguinte densidade pluviométrica por estado.

TABELA 5

Densidade pluviométrica média sugerida como etapa inicial de reaparelhamento da rede pluviométrica da Grande Região Nordeste

ESTADO	Densidade pluviométrica em km ² /pluviômetro
Maranhão.....	2 500
Piauí.....	1 500
Ceará.....	500
Rio Grande do Norte.....	500
Paraíba.....	500
Pernambuco.....	500
Alagoas.....	400
Sergipe.....	400
Bahia.....	800
Região.....	830

Para conseguir essas densidades médias, a rede pluviométrica teria que ter, funcionando simultaneamente, cerca de 1 840 pluviômetros, distribuídos pelos estados de acordo com o que indica a Tabela 6 que segue. Nessa tabela apresentam-se também índices de adequabilidade referentes aos anos de 1949 a 1958 dados pela relação entre o número de postos em operação nesses anos e o total sugerido.

TABELA 6

Número total de pluviômetros necessários para atingir as densidades indicadas na Tabela 5 e adequabilidade em cobertura das redes existentes em 1949 e 1958 em relação ao programa mínimo

ESTADO	Número total de pluviômetros	ADEQUABILIDADE	
		Réde 1949 (%)	Réde 1958 (%)
Maranhão.....	140	6	3
Piauí.....	160	14	11
Ceará.....	295	67	65
Rio Grande do Norte.....	105	65	62
Paraíba.....	115	69	59
Pernambuco.....	200	62	35
Alagoas.....	70	80	48
Sergipe.....	55	64	45
Bahia.....	700	37	18
Região.....	1 840	46	33

b. *Evaporação de superfícies líquidas*

Informações sistemáticamente obtidas sobre a evaporação de superfícies livres são vitalmente necessárias para a programação do uso da água, principalmente em regiões — como o Nordeste brasileiro — onde as chuvas são relativamente escassas e as condições climáticas favoráveis à evaporação.

Embora o problema da evaporação seja assaz complexo e afetado por uma série de fatores, é possível estimar-se com suficiente aproximação as perdas d'água de áreas líquidas, através da aplicação judiciosa de métodos, alguns dos quais bastante conhecidos e testados. É grande a experiência que já se tem sobre o fenômeno da evaporação. Numerosos estudos têm sido efetuados em vários países com o fito de avaliar quantitativamente os métodos usados para medir e estimar a evaporação. Novos processos vêm sendo estudados e aperfeiçoados.

Dispõem-se hoje de várias maneiras de estimar a evaporação das superfícies líquidas. O método de maior aplicabilidade para trabalhos de coleta sistemática e contínua de dados sobre a evaporação ainda é o das estações evaporimétricas, que consiste na medição direta da evaporação em tanques com dimensões e características de operação padronizadas; nessas estações são comumente obtidos também dados sobre outros elementos hidroclimáticos como temperatura, vento, umidade relativa, etc., fatores que afetam a evaporação.

Há já bastante conhecimento — embora muito pouco em nosso país — sobre o comportamento evaporimétrico de cada um desses tipos de tanques, principalmente em relação a lagos e reservatórios de maior tamanho. É possível obter em relativamente pouco tempo, informações

bastante úteis sôbre o potencial de evaporação de uma dada localidade; o pouco tempo necessário se deve à menor variabilidade mensal e anual da evaporação em relação à de outros fenômenos hidrológicos, como por exemplo, as chuvas.

Situação atual dos trabalhos sôbre evaporação no Nordeste — O único trabalho mais ou menos longo realizado na região relativo à evaporimetria foi levado a cabo — de acôrdo com as informações disponíveis — a partir de 1933 pelo DNOCS (Eng. J. A. PEREIRA DE CASTRO), que nesse ano iniciou um estudo instalando tanques evaporimétricos flutuantes, nos açudes Lima Campos, Cedro, Forquilha, Xoró e Joaquim Távora, e efetuando medidas regulares de temperatura, umidade e vento dos mesmos, a fim de usá-las na fórmula de F. H. BIGELOW (1912) para comparar os valores medidos nos tanques com valores calculados.

O tanque utilizado era metálico, de secção quadrada, com metro de lado e 50 centímetros de profundidade; era mantido flutuando por meio de uma estrutura de madeira tipo jangada. As dimensões dêsse tanque são cêrca de 10% maiores que as de um tipo padrão às vêzes conhecido como tanque flutuante U.S. Geological Survey, e que tem as dimensões de 3 pés quadrados por 18 polegadas de profundidade. Certos pormenores construtivos do tanque usado no Nordeste, porém, diferem dêsse tipo padrão.

Na ilustração 41 apresenta-se um quadro que dá os períodos para os quais se dispõem de dados de evaporação correspondentes a êsses tanques flutuantes e aos cálculos pela fórmula de BIGELOW. Nesse quadro verificam-se também as falhas e interrupções observadas nos períodos de estudo.

Uma investigação sistemática especial das perdas por evaporação na região do futuro reservatório de Pedras no rio de Contas na Bahia, está sendo iniciada (outubro, 1959) sob o patrocínio das Centrais Elétricas do Rio de Contas S/A. Êsse parece ser o único trabalho relativo à evaporação que está sendo levado a cabo atualmente na Grande Região Nordeste.

Ê preciso mencionar, também, que a Comissão do Vale do São Francisco, iniciou há menos de dois anos algumas observações evaporimétricas, que, parece, foram descontinuadas.

Adequabilidade — Sem pretender discutir a qualidade e características dos dados que na ilustração 41 se apresentam como disponíveis, é possível dizer-se, que o que se tem até o presente sôbre o importante problema da evaporação é completamente insuficiente, tanto no que se refere ao tipo de informação quanto em cobertura.

Até hoje só se obtiveram dados em cinco localidades, usando um tipo especial de tanque flutuante. A tendência desde há muitos anos é a de não mais usar tanques flutuantes em trabalhos sistemáticos e continuados devido a uma série de problemas que os mesmos apresentam com respeito a sua operação. Embora certos elementos muito úteis

sejam fornecidos por êsses tipos de tanques, considera-se preferível usar, ao invés, tanques terrestres, pois, além de serem menos custosos, são mais fáceis de ser operados, os dados obtidos são mais consistentes, e, o que é mais importante: tem-se muito mais experiência com êstes que com os flutuantes, no que diz respeito às relações entre a evaporação nêles medida e a que realmente ocorre em açudes e lagos.

Mesmo supondo como completamente adequados os dados dos cinco pontos estudados, é evidente que êles não podem ser considerados como representativos de tôda a Grande Região Nordeste; apenas cinco pontos em mais de um e meio milhão de quilômetros quadrados, representam uma densidade de cobertura extremamente baixa mesmo para os que se contentam sòmente com informações de ordem de grandeza.

O conhecimento adequado da evaporação é vital na Grande Região Nordeste. Não só para efeito de estudos de armazenamento da água em açudes mas também para outros fins hidrológicos e hidroclimáticos.

Deve-se imediatamente estabelecer uma rêde evaporimétrica básica, inicialmente com um número não muito grande de postos, mas que cubra da melhor forma possível a Grande Região Nordeste. É importante que se tenham, dentro de algum tempo, dados representativos de várias partes da região. Dados evaporimétricos de um ano apenas são bastante úteis, enquanto com 5 anos pode-se admitir que as observações sejam já bastante maduras.

Essa rêde deve ser cuidadosamente observada e com o tempo poderá ser ampliada de acôrdo com as necessidades e a experiência que fôr sendo adquirida. A localização das estações deverá, sempre que possível, coincidir com a de postos pluviométricos ou estações meteorológicas existentes ou a serem instaladas. Para cada novo projeto de importância, sempre que fôr julgado conveniente, poderão ser instaladas estações especiais para investigação intensiva das condições evaporimétricas locais.

Um programa mínimo de instalação de cêrca de 30 postos evaporimétricos poderá ser facilmente cumprido em 3 anos. Tratando-se de uma rêde básica inicial — que visa, principalmente, a dar uma primeira cobertura em área — poderá ser adotada uma distribuição geométrica com postos mais ou menos equidistantes entre si, podendo-se densificar mais nas regiões mais sêcas em detrimento do Maranhão, do leste da Bahia, e das regiões atualmente menos acessíveis.

Nessas estações deve-se adotar como padrão o tanque tipo A do Weather Bureau estado-unidense, pelo conjunto de vantagens que o mesmo oferece, embora também apresente alguns inconvenientes.

Além da instalação e observação sistemática da série de estações sugeridas, deve-se realizar inicialmente pelo menos duas investigações especiais (além da que está sendo realizada no rio de Contas), em pontos diferentes da região, tendo em vista a determinação de coeficientes a serem aplicados às observações para estimar a evaporação em açudes.

Investigações do gênero da levada a cabo pelo Dr. PEREIRA DE CASTRO, tendo em vista correlacionar a evaporação com os fatores hidroclimáticos que a afetam, devem ser incentivadas, buscando-se, porém aproveitar o que de mais recente existe sobre a matéria. A fórmula de BIGELOW e outras similares estão hoje já superadas.

A aplicação pura e simples de fórmulas — por mais modernas que sejam — deve ser evitada principalmente quando não se dispõem de todos os “ingredientes” necessários a sua aplicação.

Em casos de projetos específicos importantes de açudagem deve-se iniciar — tão logo seja considerado viável no projeto — investigações intensivas de evaporação na área do futuro reservatório, instalando para isso uma ou mais estações evaporimétricas. Dentro de alguns anos, se fôr levado a têrmo o programa aqui sugerido, quando se pretender iniciar um projeto, já haverá informações de caráter histórico fornecidas por postos próximos da rêde básica da região e, através das investigações intensivas (se forem julgadas necessárias) obter-se-ão novos elementos relativos às condições específicas locais.

c. *Evapotranspiração* *

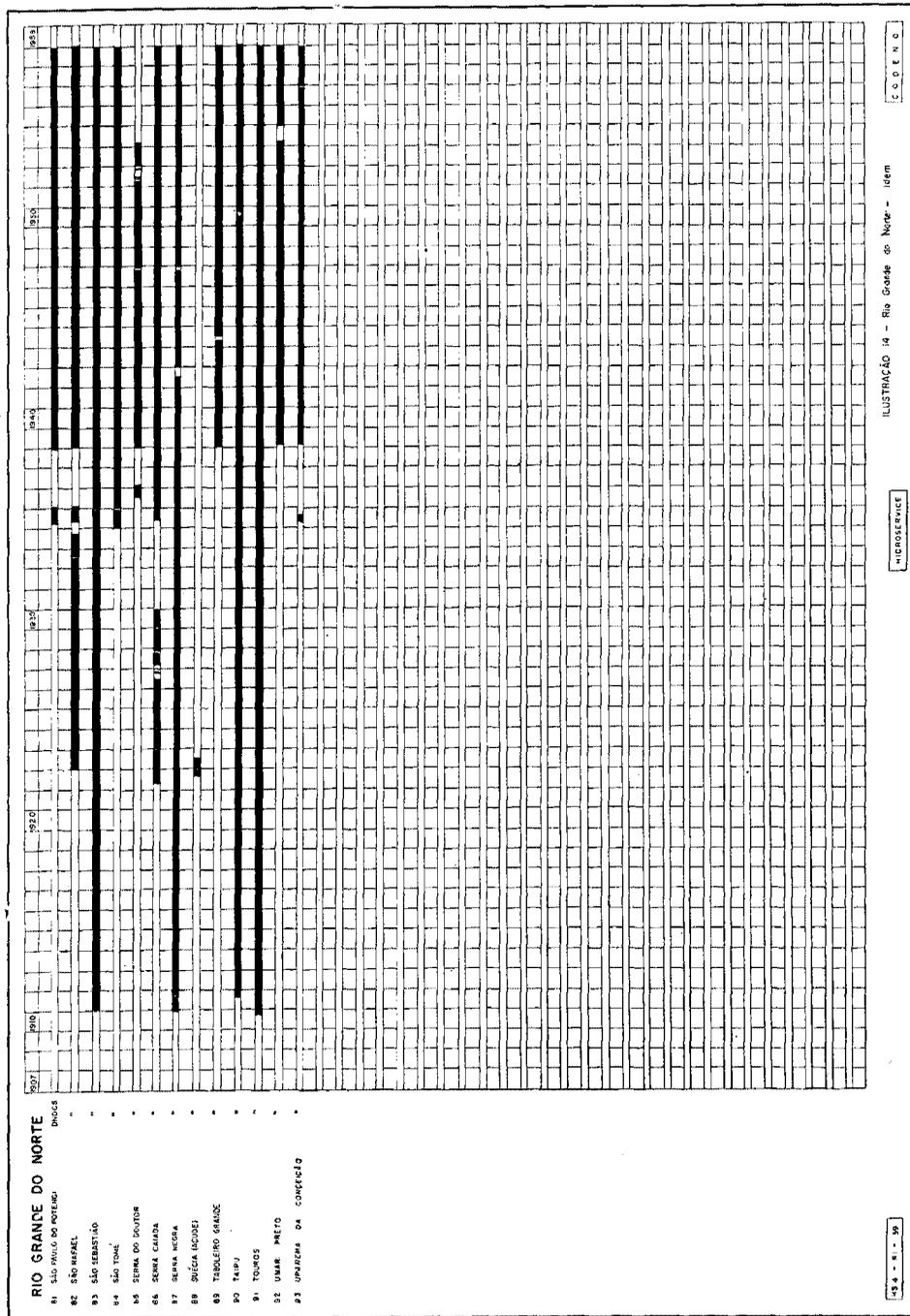
O problema da evapotranspiração pode ser visualizado sob dois aspectos: o da evapotranspiração sob condições naturais, e o da evapotranspiração potencial.

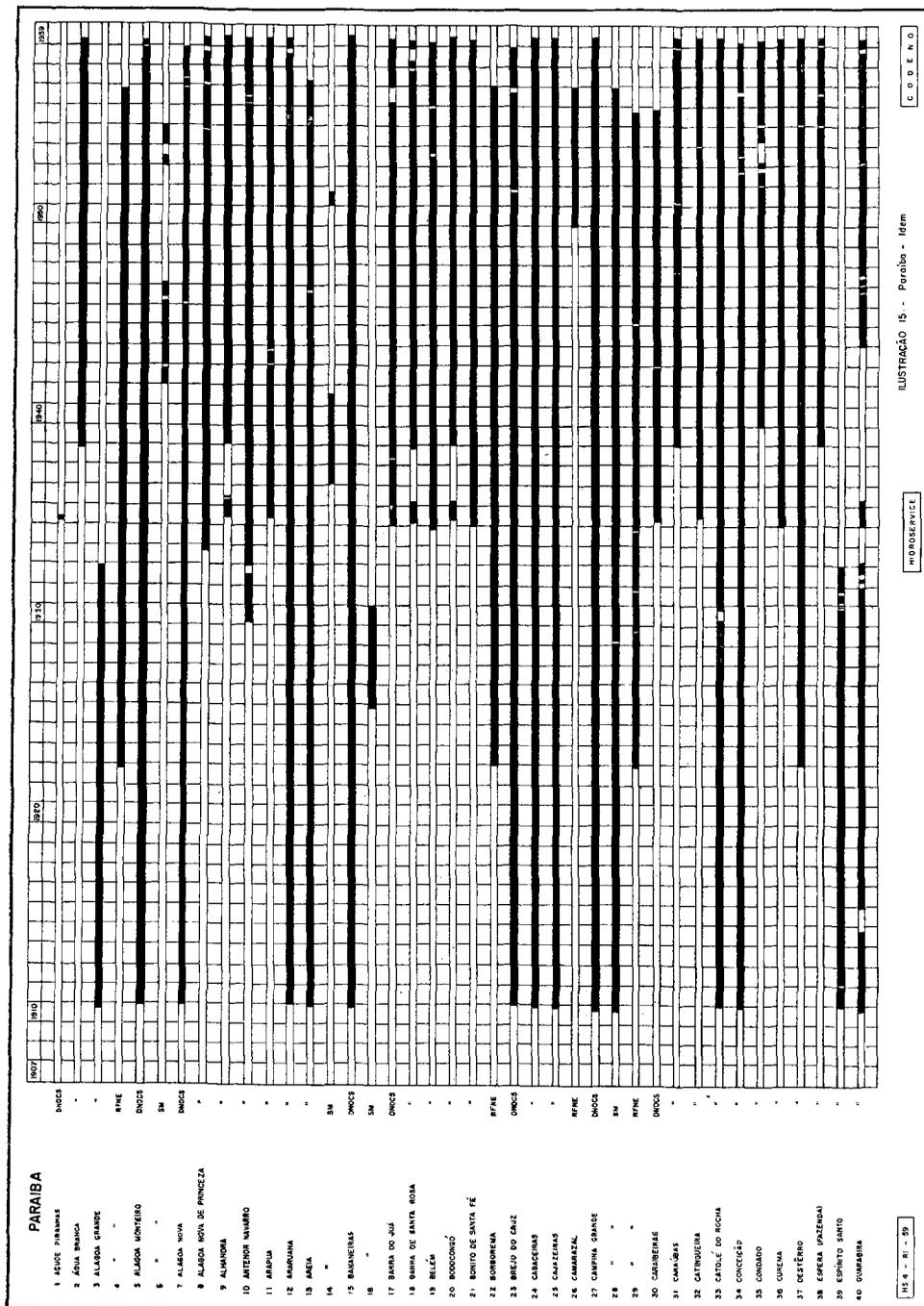
Quando se considera que, numa bacia como a do rio Jaguaribe a montante de Orós, dos 815 milímetros de chuva média anual (1922-34) que ocorre sobre a mesma, apenas cêrca de 60 milímetros escoam-se pelo álveo na forma de deflúvio direto durante o período chuvoso, e que os restantes 755 milímetros são, na sua quase totalidade, evaporados da camada do solo, do lençol freático, da franja capilar, etc., e transpirados pela vegetação nativa e pelas culturas estabelecidas pelo homem, compreende-se a importância da questão da evapotranspiração.

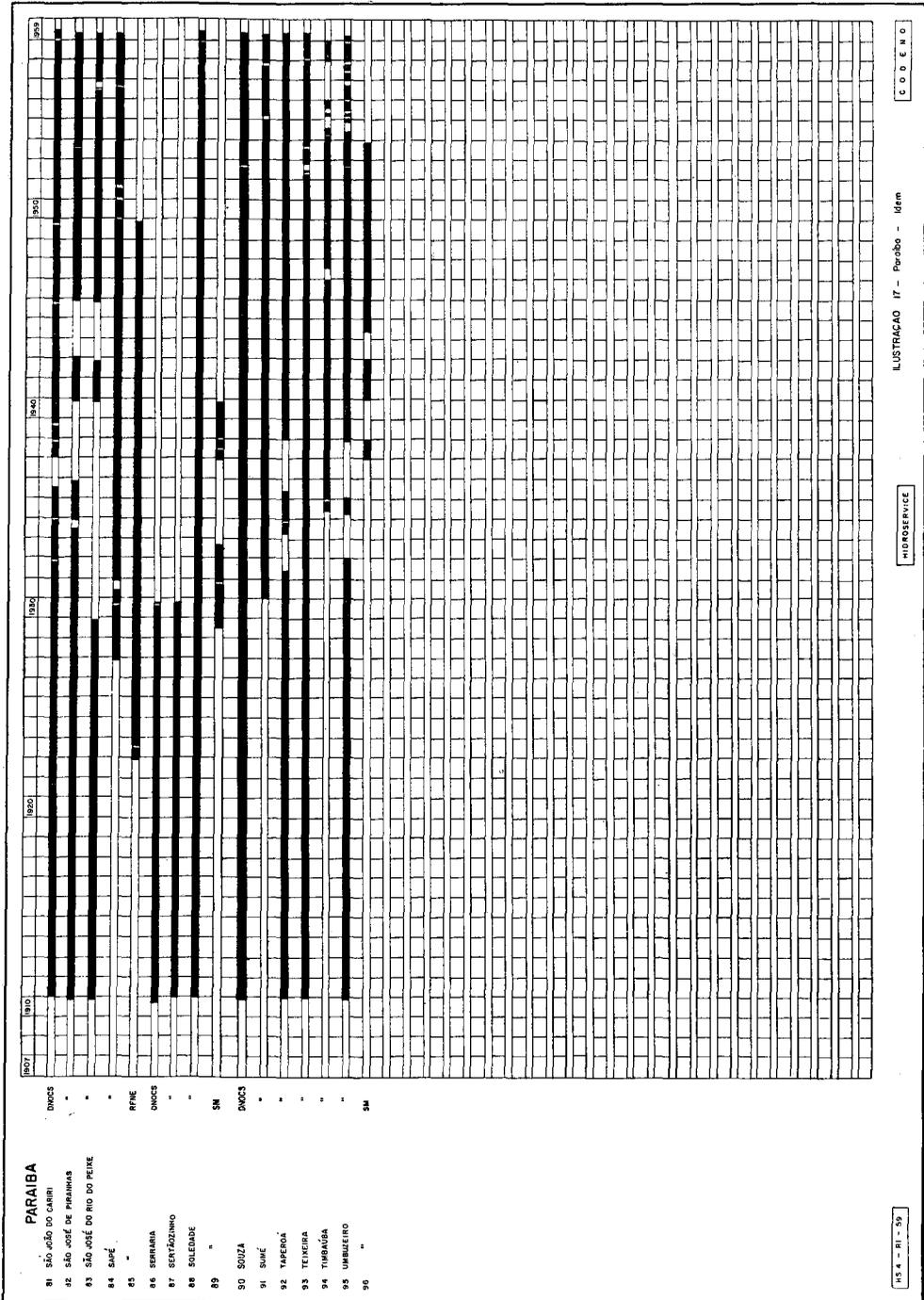
Há espécies de vegetação — inclusive em zonas áridas e semi-áridas — que consomem anualmente quantidades enormes de água; se fôr água do solo, a água consumida deverá ser substituída — através de um regime prioritário — nas próximas chuvas e infiltrações que ocorrem. No caso de ser água subterrânea (plantas freatófitas, por exemplo), ela deixará de ser disponível para outros usos. Se a vegetação tiver um valor econômico qualquer (proteção ao solo, alimentação, etc.), todo ou parte do seu custo, por assim dizer, será cobrado em água, o que, em certas áreas, constitui um alto preço.

Certas plantas, como por exemplo a oiticica e a algaroba, que no Nordeste são consideradas como resistentes à sêca (e por isso tem-se

* A evapotranspiração de uma cultura ou de uma área denota quantidade de água usada durante certo período pela planta. (s) por transpiração e para formação de seus tecidos, somada à quantidade evaporada dos terrenos adjacentes e da superfície (s) interceptadora da vegetação.

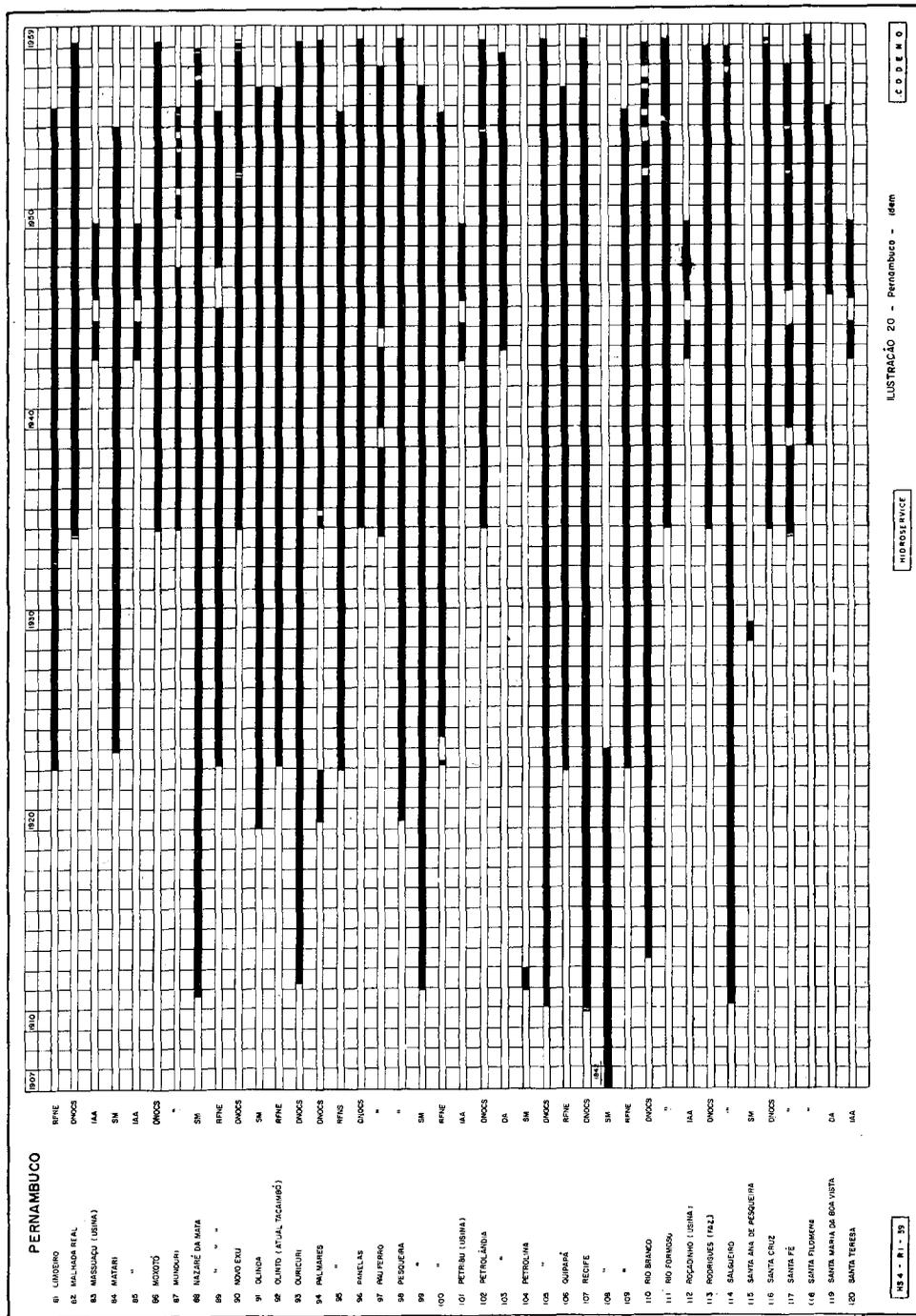


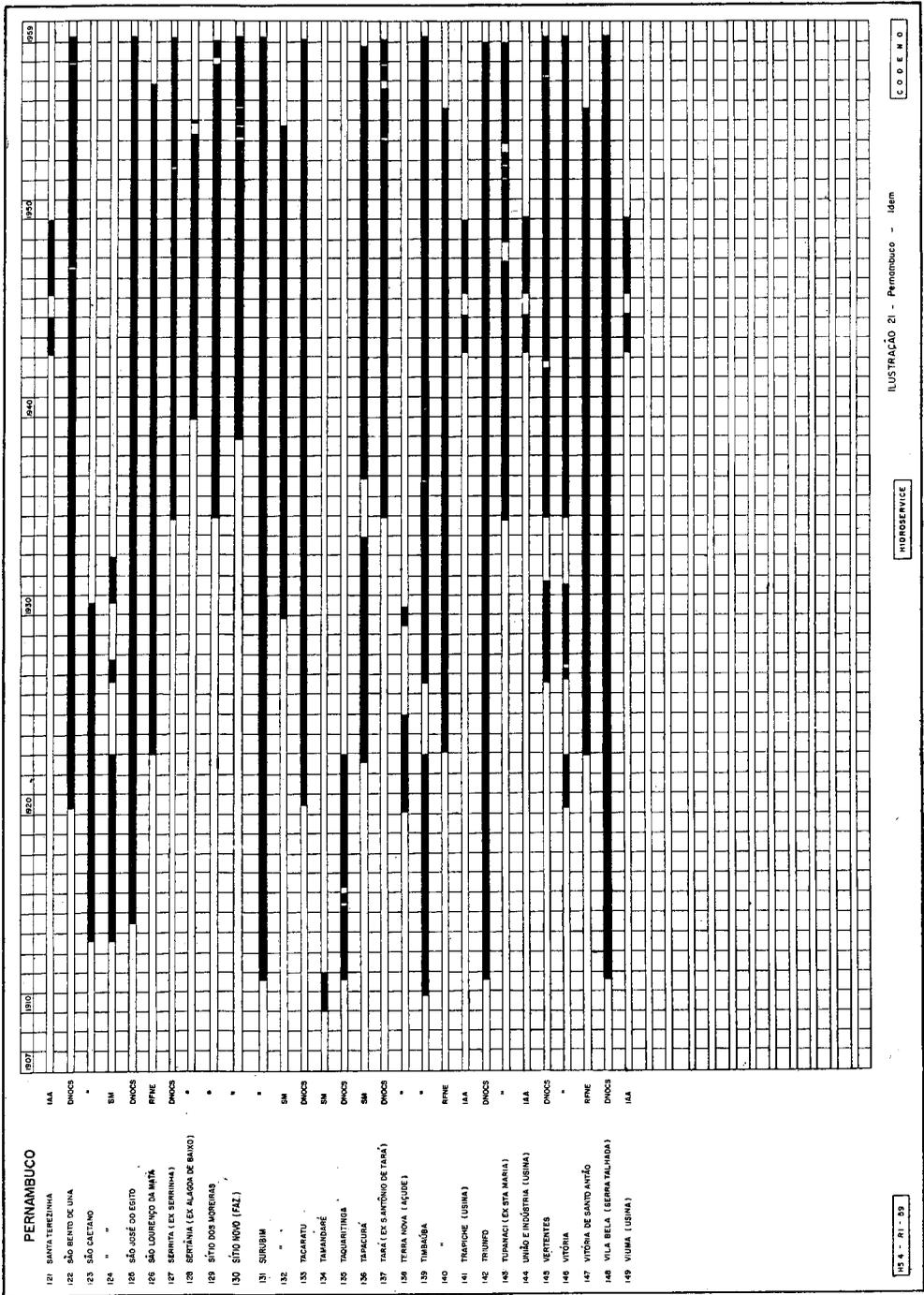


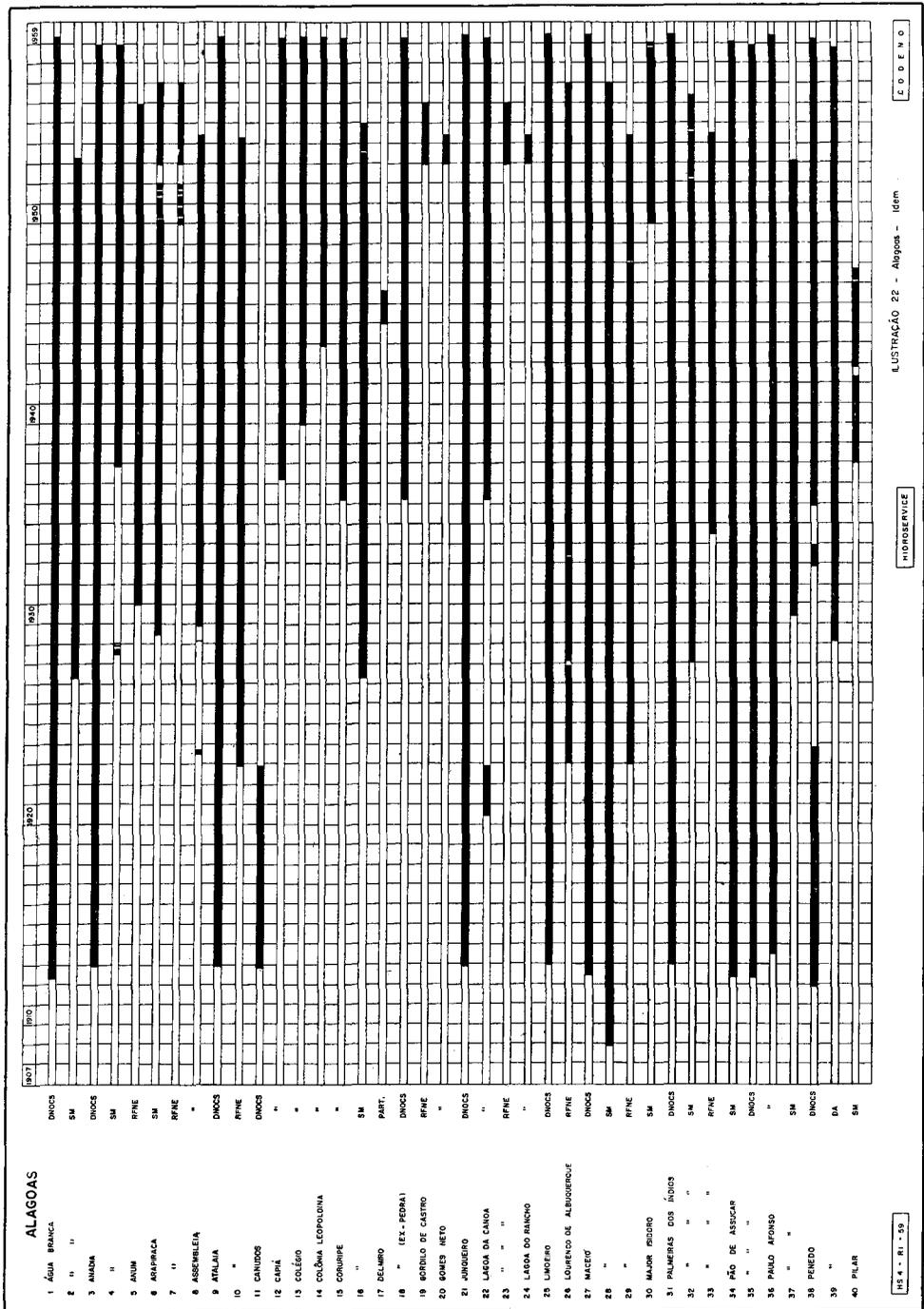


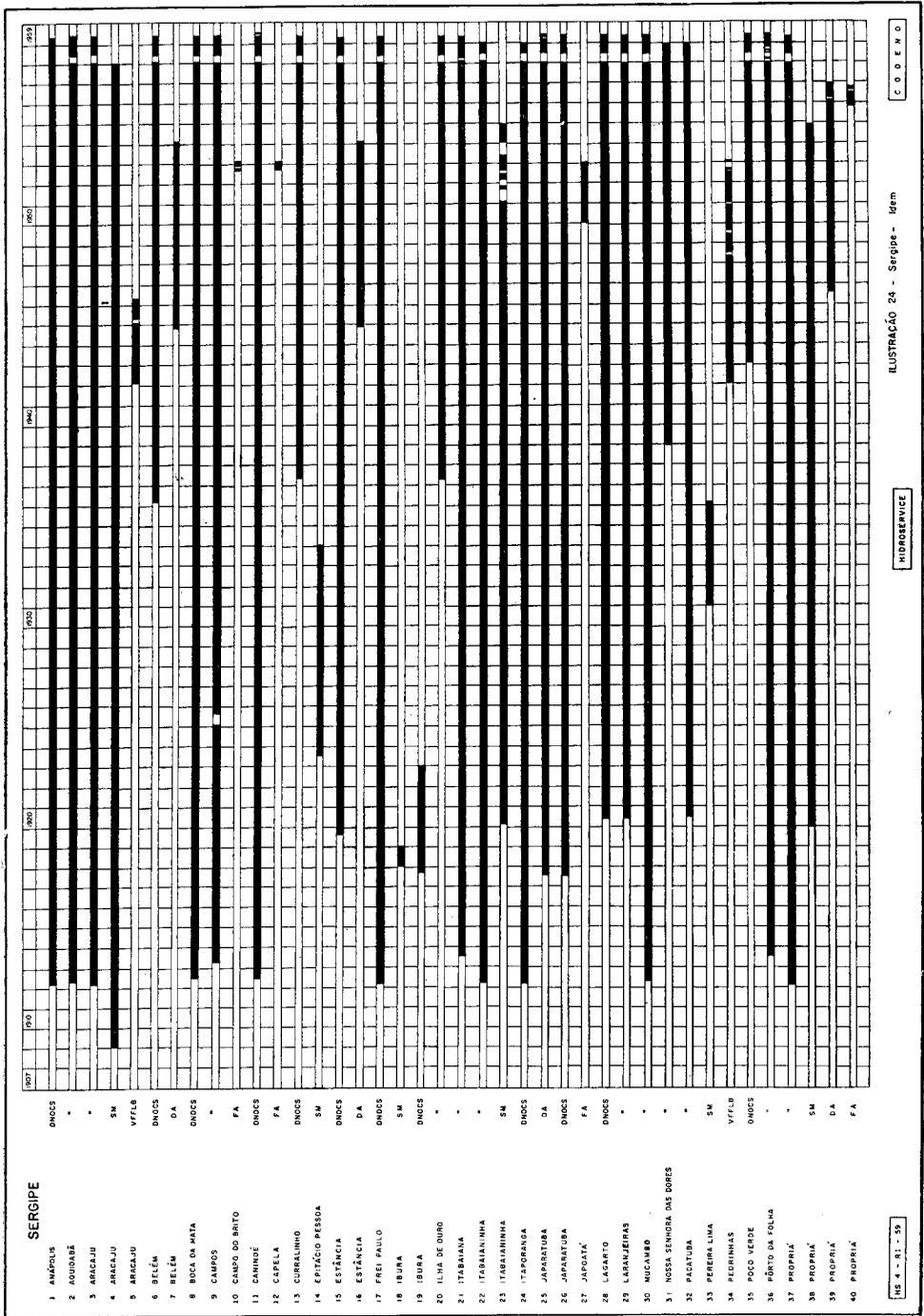
PERNAMBUCO	ILUSTRAÇÃO (B - Pernambuco - Item										C O D E N O	
	1907	1910	1920	1930	1940	1950	1955	1960	1965	1970		
1 AFOFADOS DA INHAÍTERA												
2 " " "												
3 ÁGUAS BELAS												
4 ÁGUA BRANCA (URINA)												
5 ALAODA DE BAIXO												
6 ALEXANDRIA (S. LEOPOLDINA)												
7 AGUODÓS												
8 ALTINHO												
9 ARABIRMA (EX S. DONICALO)												
10 ARCO VERDE												
11 ABRIL												
12 ARIZONA												
13 BALSAMO (PAZ)												
14 BARRA DE S. PEDRO												
15 BARREIROS												
16 " "												
17 " (URINA)												
18 BELÉM DE CARANGÁS												
19 BELÉM DE S. FRANCISCO (EX PÉTUMA)												
20 BELMONTÉ												
21 BELO JARDIM												
22 BETÂNIA												
23 BOA VISTA												
24 BOM CONSELHO												
25 BOM JARDIM												
26 " "												
27 BUÍQUE												
28 BULHÕES												
29 BREJO DA MADRE DE DEUS												
30 CABO												
31 CAMBORÉ												
32 " "												
33 CAMPANHA CENTRAL (OUJO D'ÁGUA)												
34 CAPIBARIBE (URINA)												
35 CARUARU												
36 " "												
37 " "												
38 CATENDE												
39 CONCEIÇÃO DAS CRIOULAS												
40 CONCEIÇÃO DA PEDRA (ATUAL PEDRA)												

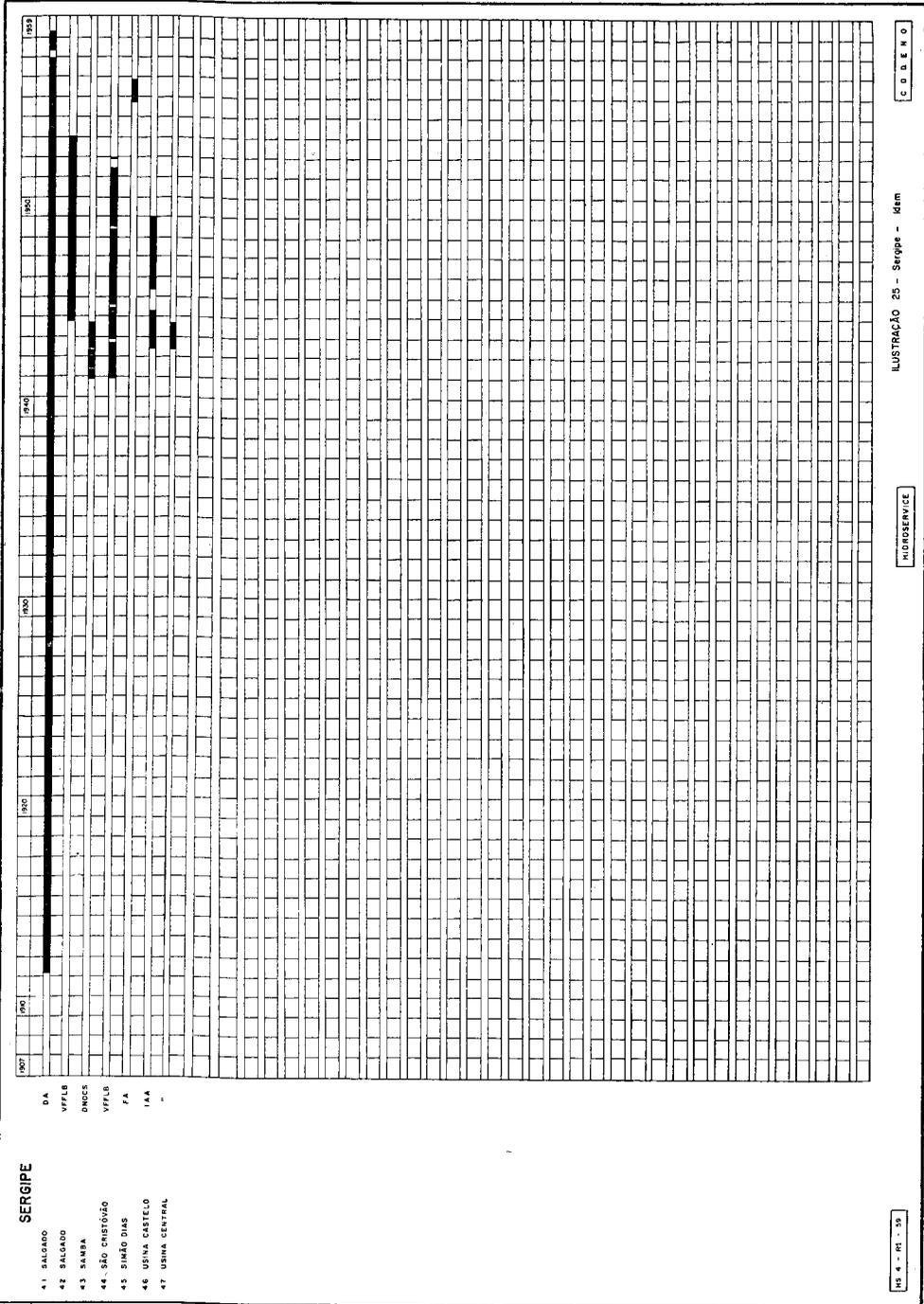
15 X - R1 - 59











a impressão de que não necessitam de muita água para seu desenvolvimento), com muita probabilidade são freatófitas e, ao que tudo indica, grandes consumidoras de água, principalmente água subterrânea.

Nos Estados Unidos, nas regiões onde o problema da água é crítico, está-se mantendo um sério controle de certos tipos de vegetação freatófitas, levando em conta sua utilidade e o seu custo em água. Está, inclusive, desenvolvendo-se um programa de eliminação e, conforme o caso, de substituição de certas plantas de alto consumo de água e sem valor econômico, por outras que trazem benefícios e que usam menos água para seu desenvolvimento.

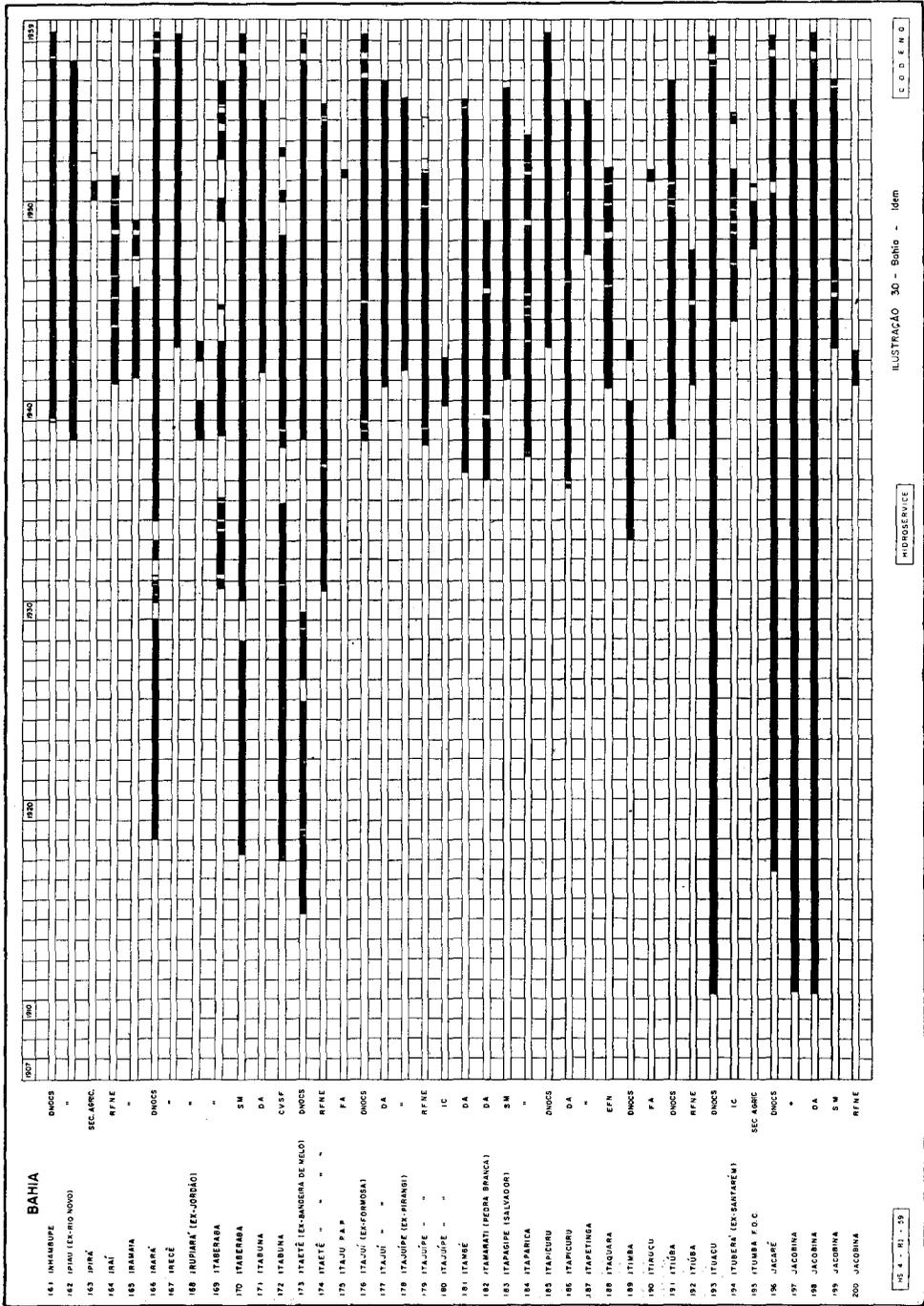
A situação daquele país é sem dúvida bem diferente da do nosso. No entanto, o problema da água existe tanto aqui quanto lá; varia de importância e magnitude de área para área mas está presente e tende a tornar-se crítico com o aumento das demandas. Se se estiver convencido de que é preciso conhecer adequada e quantitativamente todos os aspectos do problema da disponibilidade da água, não há dúvida de que se deverá tratar de buscar elementos, medir e investigar sistematicamente essa fase depletiva do ciclo hidrológico, a evapotranspiração.

Outro aspecto importante é o da evapotranspiração potencial. Se o suprimento de água for sempre suficiente de modo que a evaporação e a transpiração ocorram a plena intensidade, a evapotranspiração se dá sob condições naturais e torna-se igual à evapotranspiração potencial.

O uso da água por uma cultura irrigada (uso consumptivo) é praticamente igual à evapotranspiração potencial, pois nesse caso a oportunidade para a evaporação do solo e para a transpiração existe a todo o tempo.

O uso consumptivo é a quantidade de água usada por transpiração por uma cultura e evaporada do solo adjacente durante determinado tempo como por exemplo, um ano, um mês ou durante o ciclo evolutivo da cultura. Se fosse possível irrigar com 100% de eficiência, e sem considerar outros fatores, como por exemplo a lavagem do solo para remoção de sais, a quantidade de água correspondente ao uso consumptivo seria suficiente para manter um projeto de irrigação. Os dados sobre o uso consumptivo, constituem, pois, pode-se dizer, o ponto de partida para a determinação das necessidades de água de uma bacia de irrigação.

Infelizmente, não foi possível encontrar na Grande Região Nordeste nada sobre estudos e investigações evapotranspirométricas e de uso consumptivo. O que mais se aproxima desse tipo de dados são as informações relativas às bacias de irrigação mantidas pelo Serviço Agro-Industrial do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. Nessas áreas irrigadas, o Serviço Agro-Industrial mantém um serviço de estatística da água retirada dos açudes, conduzida pelos principais canais da rede adutora, até sua distribuição.

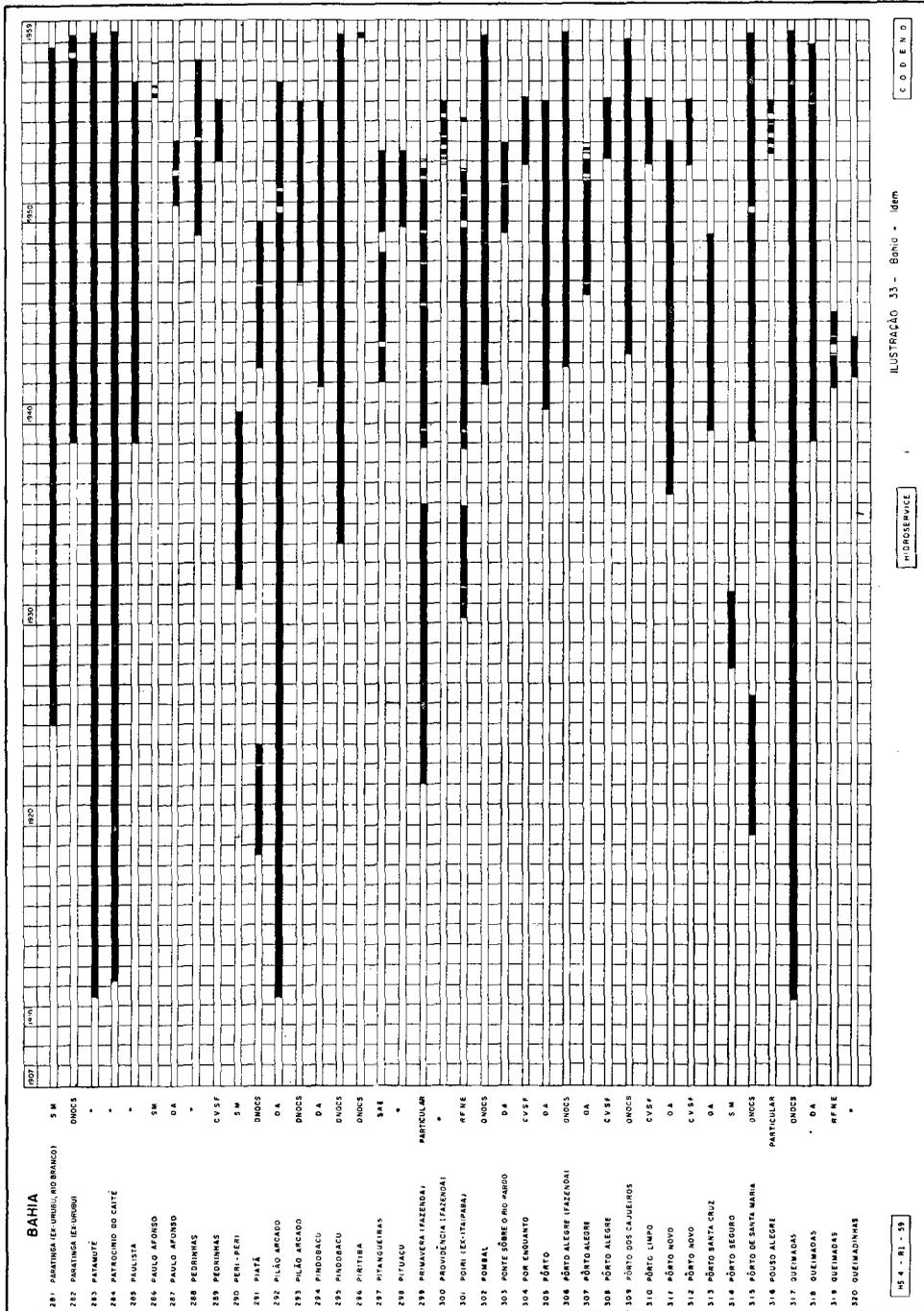


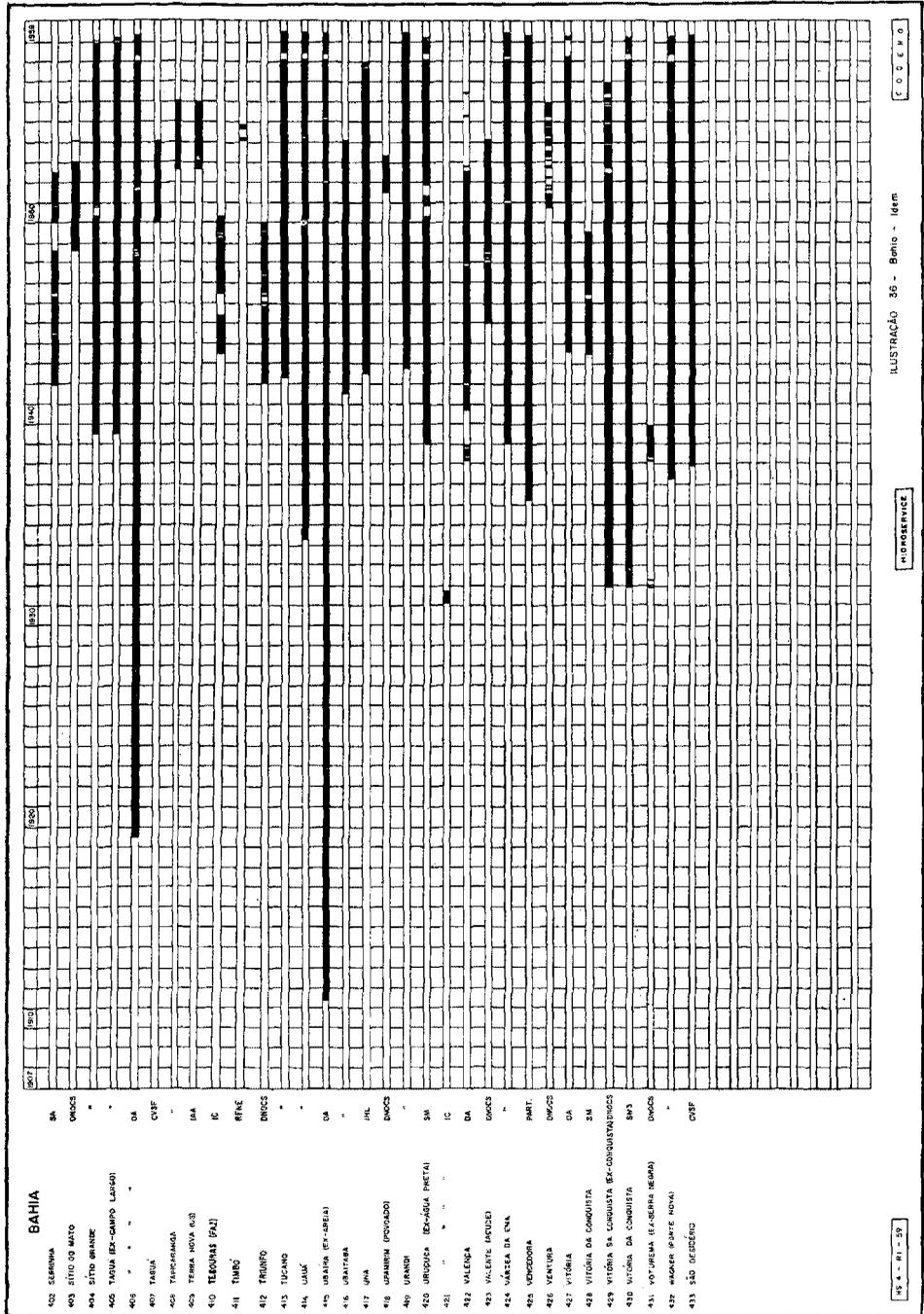
BAHIA		1907	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	C O D E M O	
241	MANGA	CV SF									
242	MANOEL VITORIANO	RF AE									
243	MANSIDÃO	DNCS									
244	MARACÁS	-									
245	MARQUITA (EX-SANTA ELENA)	-									
246	MASCOTE	DA									
247	MATA DE SÃO JOÃO	SM									
248	MIGUEL CALMON (EX-QUEILMA DUPRA)	RF AE									
249	MIRANDELLA	DNCS									
250	MOCÓ (FAZENDA)	SEC AGRIC									
251	MONTE ALTO	DNCS									
252	MONTE SANTO	-									
253	MONTE SANTO	SM									
254	MONTEIRO (LACUSE)	DNCS									
255	MORENO	-									
256	MORPARÁ	-									
257	MORPARÁ	DA									
258	MORRO DO CHAPÉU	DNCS									
259	MORRO DO CHAPÉU	SM									
260	MORRO REDONDO	IC									
261	MUCURI (S JOSÉ DE PORTO ALEGRE)	SM									
262	MUNDO NOVO	DNCS									
263	MURTIVA	-									
264	NAZARÉ (ALEXANDRE BIELEGGIOTT)	DA									
265	NILÓ PECANHA	PARTICULAR									
266	NITERÓI (SETE VULVAS, FAZENDA)	-									
267	NOVA SOURE	DNCS									
268	NUPEBA	CV SF									
269	OLIVEIRA DOS BRELJINHOS	DNCS									
270	OLIVEIRA DOS CAMINHOS	FA									
271	ONDINA S SALVADOR	SM									
272	ONDINA	SM DA BAHIA									
273	ONDINA	DNCS									
274	ONDINA	SEC AGRIC									
275	PALMEIRA	DA									
276	PAMBURI	-									
277	PAPAGAIÓ	SEC AGRIC									
278	PARAGUACU	RF AE									
279	PARANIRIM	DNCS									
280	PARATECA	-									

ILUSTRAÇÃO 32 - Bahia - Idem

MIKROSERVICE

IN. S. N. 39





Esse contrólê estatístico tem, sem duvida, grande importância. Não fornece, porém, uma indicação direta do uso consumptivo; os volumes medidos incluem perdas de vários tipos que podem ser várias vèzes maiores que a quantidade usada pela cultura pròpriamente dita. O conhecimento e a avaliação dessas perdas, diga-se de passagem, são também vitalmente necessários, mas êsse já é outro problema.

É preciso levar a cabo estudos hidrológicos quantitativos de relações entre a água e as plantas sob as várias condições em que se pode desenvolver essa relação na Grande Região Nordeste. Dados sôbre o uso consumptivo diretamente observado na Grande Região Nordeste, são, por exemplo, urgentemente necessitados para a programação do uso eficiente da água para a irrigação.

Investigações quantitativas sôbre a relação entre o consumo de água pelas culturas de vazante e as perdas por evaporação e outras que de qualquer forma ocorreriam nos terrenos de vazante dos açudes, constituem outro tipo de trabalho que eventualmente se terá que considerar.

As universidades e institutos agronômicos que existem na região poderiam iniciar uma série de estudos e investigações sôbre a evapotranspiração. É imprescindível, porém, que o trabalho seja orientado no verdadeiro sentido hidrológico; é preciso coletar informações quantitativas que realmente sirvam para os fins a que se destinam.

d. *Regime fluvial*

Embora, através da moderna hidrologia, já se tenha acumulado bastante conhecimento dos efeitos dos fatores fisiográficos, hidrológicos e meteorológicos sôbre o regime fluvial, não foi possível conseguir ainda — e provavelmente nunca se resolverá totalmente êsse problema — obter expressões analíticas que permitam prescindir completamente das observações diretas dos rios.

Os projetos para o uso e o contrólê dos recursos de água fluvial são fundamentados em estimativas de seqüências e magnitudes das futuras disponibilidades de água e de futuras ocorrências de eventos fluviais específicos. Essas estimativas são baseadas na experiência do passado, que resulta das observações históricas diretas do regime fluvial e dos demais fatores que o afetam. Os dados históricos constituem uma amostra do que pode vir a ocorrer no futuro; quanto mais longos forem os períodos de observações, tanto mais representativas serão as informações sôbre as condições hidrológicas perenes.

É preciso neste ponto frisar, porém, que, embora os dados fluviométricos devam ser coletados continuamente, não é preciso aguardar longos períodos para que os mesmos se tornem úteis; a análise judiciosa dos mesmos à medida que êles se tornam disponíveis, e a sua interpretação, usando para isso também dados outros de mais longo prazo que porventura existam, como por exemplo, os dados de chuva, permite

muitas vezes sintetizar informações que situam o período de observações diretas dentro de um histórico hidrológico de mais longa duração.

É necessário repetir, que as observações fluviométricas são, de qualquer forma, imprescindíveis. Isso é, aliás, ponto pacífico admitido por todos aqueles que lidam com o problema da água dos rios, sejam estes rios perenes, intermitentes ou efêmeros.

A fluviometria em geral envolve dois tipos de atividades:

a) Observações linimétricas, isto é, observações das flutuações do nível d'água (cota fluviométrica) dos rios, usando para isso escalas fluviométricas ou aparelhos linigráficos adequadamente instalados.

b) Medições de descarga.

Com as medições de descarga é possível o estabelecimento de relações entre cotas fluviométricas e descargas que possibilitam a determinação contínua dos deflúvios do rio, partindo apenas das observações linimétricas.

Essas relações em geral não são fixas, mas variam com o tempo. Em alguns postos as condições físico-hidráulicas que controlam o escoamento são menos variáveis que noutros e, por isso a relação cota-descarga apresenta-se mais estável. Em cursos d'água efêmeros como a maioria dos do Nordeste, e em rios perenes de leito móvel, as relações são em geral bastante instáveis; para obter resultados que possam ter valor prático, é preciso efetuar medições com suficiente frequência.

Fica bem claro, pois, que para terem valor, os dados fluviométricos básicos devem incluir não só as observações linimétricas (bem feitas, evidentemente) ou linigráficas, mas também medições de descarga sistematicamente programadas.

Situação atual da fluviometria na Grande Região Nordeste — Com referência aos trabalhos de fluviometria a Grande Região Nordeste poderia ser dividida em quatro setores: um, é abrangido pelas atividades da CVSF; outro, envolve a metade oriental da Bahia onde a Divisão de Águas tem realizado trabalhos; o terceiro, compreende o Polígono das Sêcas do DNOCS; e o quarto setor compreende a bacia do rio Paranaíba onde o Departamento Nacional de Portos, Rios e Canais executou apenas três anos de fluviometria.

Nos quadros mostrados nas ilustrações 42 e 49, apresenta-se um resumo do que tem sido feito no campo da fluviometria na Grande Região Nordeste, dentro desses quatro setores. Indica-se para cada posto fluviométrico, que já existiu, o número de medições de descargas efetuadas em cada ano e os períodos globais de medições linimétricas. Não foi possível fornecer os elementos indicativos das falhas e interrupções nas observações linimétricas.

Não consideramos completos esses quadros; quase todos os trabalhos fluviométricos já realizados na região estão, porém, nêles apresentados.

Adequabilidade — Em relação à tremenda importância e à grande necessidade que se tem de dados sôbre os rios e suas características fluviométricas, o que tem sido realizado nesse campo, principalmente nos seis estados, do Maranhão a Pernambuco, é muitíssimo pouco e inadequado.

Uma inspecção nos quadros apresentados (ilustrações 42 a 49) indica como foram irregulares os trabalhos de medição de descarga em todos os postos do DNOCS. Na maior parte dos casos a freqüência das medições tem sido completamente insuficiente, de modo que é totalmente aleatória a possibilidade da obtenção de dados de descarga correspondentes aos períodos de que se têm observações linimétricas. Em muitos postos e durante muitos anos não foram feitas medições de descarga.

Na Bahia, a Comissão do Vale do São Francisco tem realizado nos últimos anos trabalhos sistemáticos de fluviometria nos rios Corrente e Grande e em alguns pontos do próprio São Francisco. Nada há sôbre os cursos d'água efêmeros e intermitentes dessa bacia.

No restante dêsse estado as observações têm estado a cargo da Divisão de Aguas, que mantém postos fluviométricos nos rios de Contas, Paraguaçu, etc. Embora haja mais continuidade nas observações, muitos dos dados disponíveis são inadequados em qualidade, principalmente devido à muito baixa freqüência com que foram efetuadas as medições de descarga.

Para dar uma idéia do tipo de relações entre cotas e descargas que se pode obter com os dados de medição de descarga de alguns dos postos no Polígono das Sêcas apresentam-se as ilustrações 50 e 51, correspondentes respectivamente ao rio Banabuiú em Senador Pompeu (DNOCS), e ao rio de Contas em Santo Antônio (Divisão de Aguas). Quem está afeito a trabalhos fluviométricos logo notará que a freqüência com que foram realizadas as medições nesses postos é insuficiente para definir as variações da relação cota-descarga nesses postos e que, portanto, a determinação dos deflúvios está sujeita a erros de magnitude imprevisível.

Urge iniciar a realização de trabalhos fluviométricos sistematicamente programados na Grande Região Nordeste. Quase tudo está por ser feito. Este setor deve merecer a mais alta prioridade nos futuros trabalhos de coleta de dados. Um planejamento especial precisa ser realizado para determinar os principais rios e locais a serem incluídos num programa mínimo inicial. O estudo de pequenas bacias deve merecer consideração específica.

e. *Flutuações do nível d'água nos açudes*

O significado quantitativo das flutuações no nível d'água nos açudes pode ser apresentado através da discussão da expressão:

$$A = E \pm \Delta S \quad (1), \text{ onde}$$

A é a afluência durante o tempo t , isto é, a quantidade de água que entra no açude durante esse tempo; E é a efluência, isto é, a quantidade que sai nesse intervalo de tempo; e ΔS é a diferença (positiva ou negativa) entre o armazenamento ao início e ao fim do período considerado.

A afluência A pode ser constituída dos seguintes elementos: deflúvio dos cursos d'água tributários; deflúvio direto não canalizado, dos terrenos que circundam o açude (dependendo das condições hidrológicas locais pode haver também deflúvio subterrâneo); e precipitação sobre a área do açude.

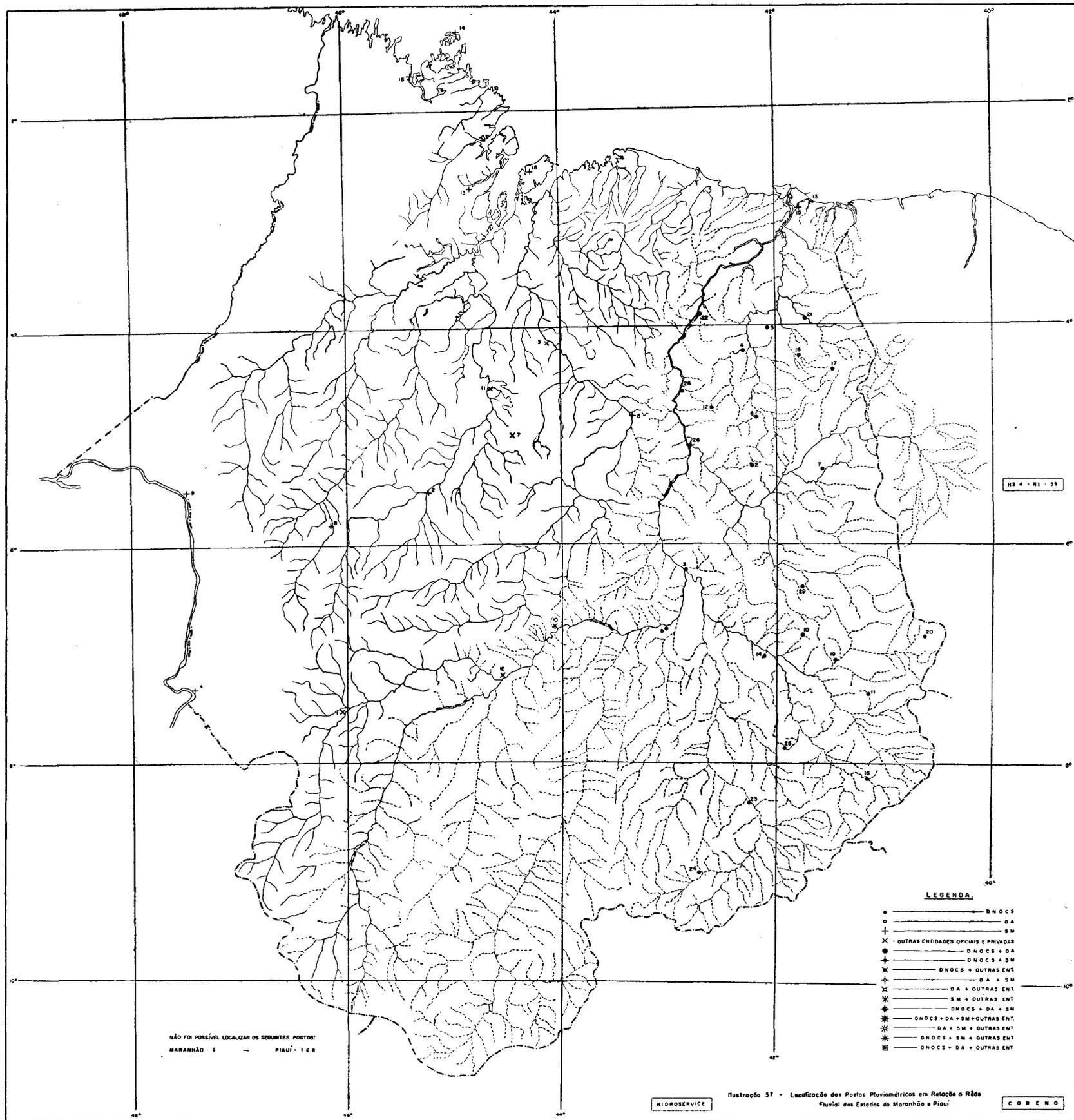
A efluência E pode incluir: a evaporação da superfície líquida; as perdas por filtração influentes nos terrenos submersos pelo açude; o vazamento através do corpo da barragem; a descarga por turbinas, túneis e outros condutos; a retirada de água por bombeamento, etc., e a descarga pelos extravasadores.

O valor de ΔS para um dado período pode ser obtido desde que se conheça o volume total armazenado no início e no fim do período. Esses volumes são em geral determinados observando o nível d'água e utilizando uma curva de capacidade do reservatório para as várias elevações, como a mostrada na ilustração 52. Curvas como essa resultam de levantamentos topográficos das áreas dos açudes ou de levantamentos batimétricos ou ecobatimétricos no caso de obras já concluídas.

O incremento de volume entre dois níveis d'água é em geral calculado multiplicando a média das áreas inundadas correspondentes aos dois níveis pela diferença de cota entre os mesmos. A somatória desses incrementos abaixo de uma dada cota corresponde ao volume total armazenado abaixo desse nível. Para que isso seja real, porém, tem-se que admitir que a superfície d'água no reservatório seja horizontal, o que não ocorre se a água se encontra em movimento. Em açudes estreitos e pouco profundos, a superfície d'água durante as enchentes pode adquirir bastante declividade apresentando-se acima da horizontal, de modo que o volume armazenado num dado lapso de tempo pode ser em realidade bem maior que o indicado pela curva de capacidade do tipo da mostrada na ilustração 52.

Neste ponto deve-se também mencionar que sempre que ocorre uma ascensão de nível d'água, uma parte do volume que afluí entra nos terrenos das margens voltando ao açude com o rebaixamento do nível d'água. Este "armazenamento-nas-margens" também constitui um aumento na capacidade do açude em relação ao indicado pela curva acima citada. A quantidade de água que pode ser armazenada nas margens depende das condições geológicas, podendo em alguns casos ser uma proporção considerável do volume total.

Para determinar um dos elementos da equação (1) deve-se conhecer os outros dois. Por exemplo, para determinar a afluência A , deve-se conhecer a efluência E e o incremento ΔS . Para avaliar E é preciso conhecer as perdas P por evaporação e infiltração; as descargas D con-





NÃO FOI POSSÍVEL LOCALIZAR OS SEGUINTE POSTOS:

SERGIPE - 1 - 9 - 14 - 18 - 19 - 33 - 35 - 46 - 47
 BAHIA - 4-15-19-20-26-29-29-30-32-33-35-40-42-47-51-53
 54-55-58-61-62-64-65-77-81-88-89-93-102-109-110-112-103-13
 135-140-141-143-145-147-149-150-154-157-164-168-175-176-177-
 182-183-185-190-193-195-196-204-107-209-212-219-220-225-229-
 231-233-234-239-241-242-251-260-263-266-268-270-271-272-
 273-274-276-277-278-284-286-289-291-297-298-299-300-302
 303-304-305-309-310-317-319-316-317-324-325-326-329-331
 334-337-338-339-341-342-350-352-354-383-389-390-398
 402-409-410-411-412-418-425-426-427-431

LEGENDA:

- ————— D NOCS
- ————— DA
- ⊕ ————— SM
- ⊗ — OUTRAS ENTIDADES OFICIAIS E PRIVADAS
- ⊙ ————— D NOCS + DA
- ⊕ ————— D NOCS + SM
- ⊗ ————— D NOCS + OUTRAS ENT.
- ⊙ ————— DA + SM
- ⊕ ————— DA + OUTRAS ENT.
- ⊗ — SM + OUTRAS ENT.
- ⊙ — D NOCS + DA + SM
- ⊕ — D NOCS + DA + SM + OUTRAS ENT.
- ⊗ — DA + SM + OUTRAS ENT.
- ⊙ — D NOCS + SM + OUTRAS ENT.
- ⊕ — D NOCS + DA + OUTRAS ENT.

troladas pelo homem (turbinas, condutos, bombeamento, etc.); e os extravasamentos pelos vertedores V .

É possível, também, apresentar essa fórmula da seguinte maneira:

$$A - P = D + V \pm \Delta S \quad (2)$$

Poder-se-ia denominar a diferença $A - P$ de “rendimento líquido” do sistema bacia-açude, isto é, a afluência total ao açude subtraídas as perdas que neste ocorrem. Para determinar o rendimento líquido deve-se medir D , V e S . O valor de $A - P$ pode ser positivo ou negativo.

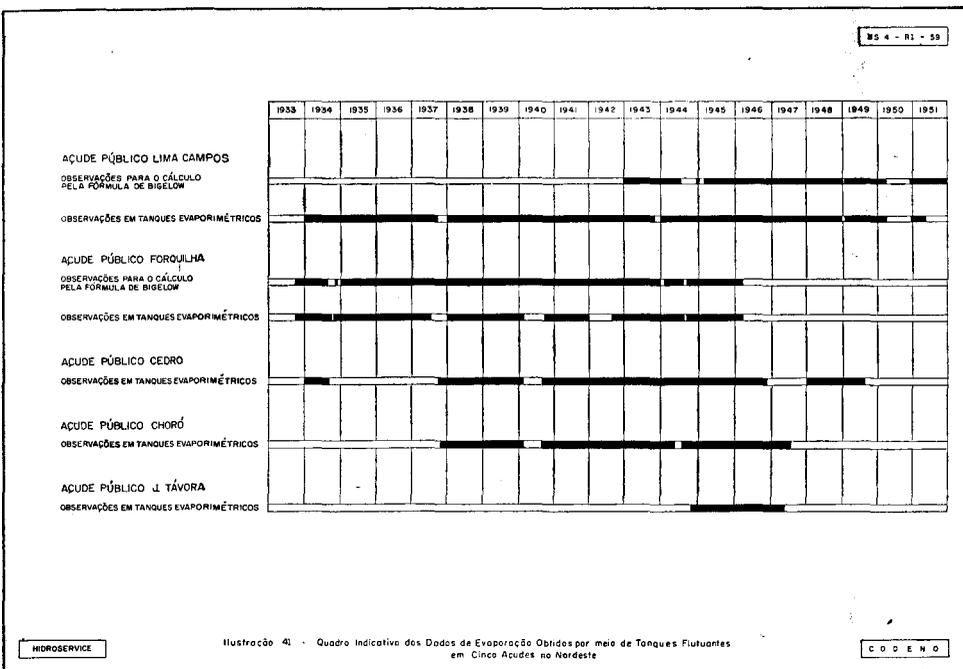
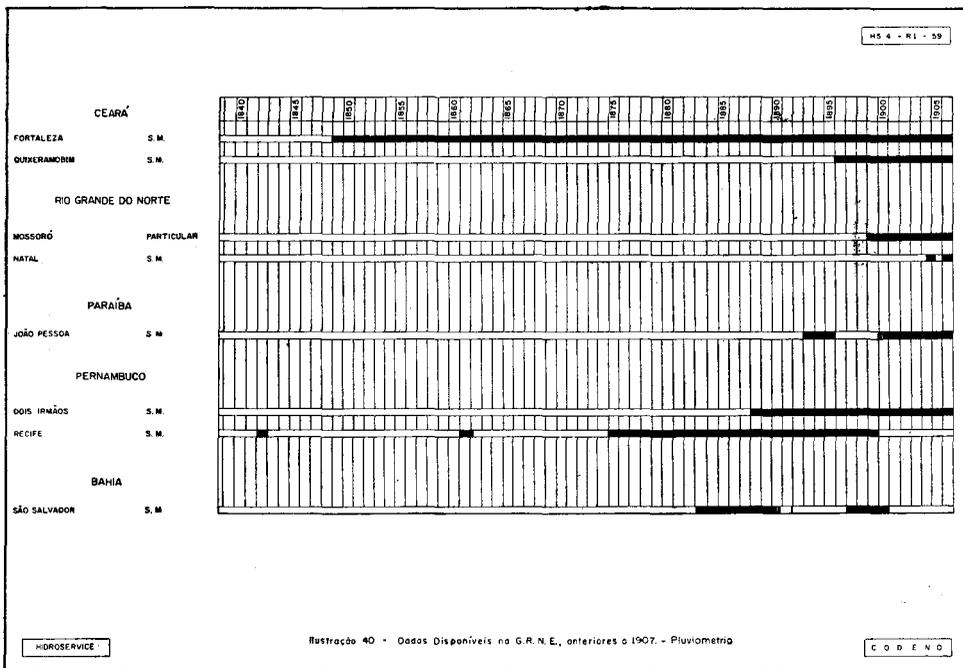
É preciso esclarecer que êsse “rendimento líquido” não dá sempre uma indicação direta da descarga do rio principalmente quando são pequenos os deflúvios afluídos. Isso porque o valor de P é variável e depende do nível (área) em que se encontra o açude. Se a área dêste não variasse com a elevação, as perdas por evaporação seriam constantes no período t , poder-se-ia admitir como constante o valor P , e as variações da diferença $A - P$ poderiam ser consideradas como representações diretas das variações da produção do rio.

A ilustração 53 apresenta uma correlação entre $A - P$ e A para um açude no rio Jaguaribe em Orós, onde se adotou um critério arbitrário de operação. A dispersão dos pontos no trecho inferior do gráfico é bastante grande. Para dar uma idéia melhor da possível dispersão em alguns casos apresentam-se abaixo alguns dos dados mostrados nessa ilustração.

ANO	Volume início do ano	+ S	Perdas, descontando as chuvas no reservatório P'	Afluência Fluvial A	Descarga regularizada D	Descarga pelo vertedor V	
1932.....	642	—	542	71	22	493	0
1941.....	3 620	—	942	483	251	700	0
1951.....	3 654	—	1 204	504	0	700	0
1958.....	2 095	—	975	275	0	700	0

Como se vê, nos anos 1951 e 1958 a afluência foi nula; o “rendimento líquido” porém foi de -504 em 1951, e -275 em 1958. No ano de 1932 o valor $A - P$ foi de -49 , relativo a uma afluência de $22 \times 10^6 \text{ m}^3$; em 1941, com uma afluência bem maior (251), o “rendimento” foi $-242 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Observações de nível d'água em açudes no Polígono das Sêcas — Em 60 açudes públicos construídos pelo DNOCS, no Polígono das Sêcas, são efetuadas observações das flutuações do nível d'água por meio de escalas linimétricas. Na Tabela 7 é apresentada uma lista, por estado, dêsses açudes, e dos períodos globais abrangidos pelas observações.



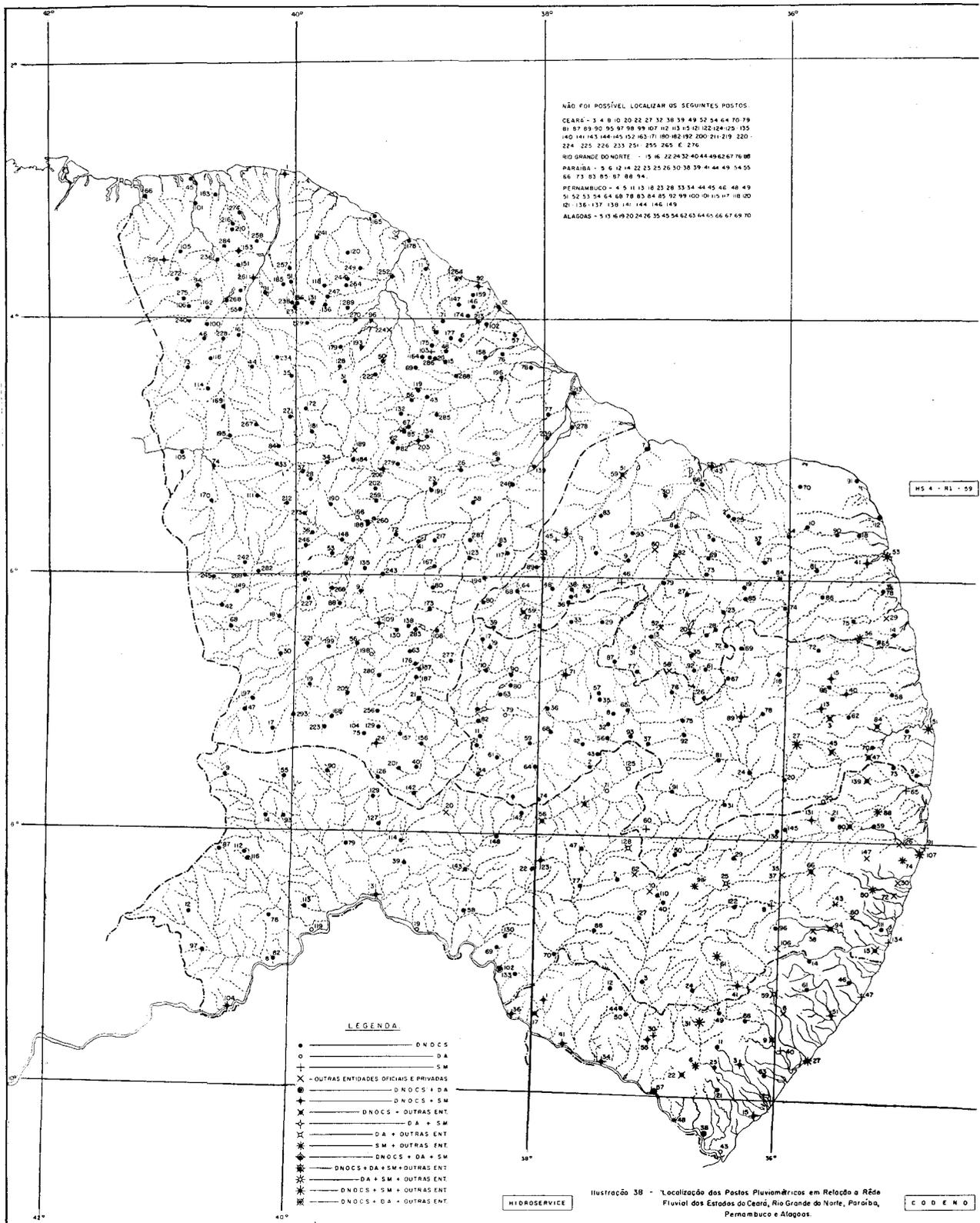


TABELA 7

Açudes públicos onde são feitas observações limimétricas

AÇUDE	Estado	Município	Período total de observações
Caldeirão.....	Piauí	Periperi	45/49
Acaraú Mirim.....	Ceará	Santana do Acaraú	40/58
Aires de Sousa.....	»	Sobral	40/58
Bonito.....	»	Ipu	40/59
Cedro.....	»	Quixadá	19/31 e 50/58
Emá.....	»	Iracema	40/59
Forquilha.....	»	Sobral	40/58
General Sampaio.....	»	Canindé	40/58
Joaquim Távora.....	»	Jaguaribe Mirim	40/58
Lima Campos.....	»	Pereira	40/58
Nova Floresta.....	»	Jaguaribe	40/58
Patos.....	»	Sobral	57/59
Riachão.....	»	Pacatuba	40/59
Riacho do Sangue.....	»	Solonópolis	40/58
Salão.....	»	Canindé	40/59
Santa Maria do Aracati-Açu.....	»	Sobral	55/59
Santo Antônio do Aracati-Açu.....	»	Sobral	55/59
Santo Antônio de Ruças.....	»	Ruças	40/58
São Vicente.....	»	Santana do Acaraú	40/59
Sobral.....	»	Sobral	40/58
Tucunduba.....	»	Santana do Acaraú	40/58
Velame.....	»	Riacho do Sangue	40/59
Várzea do Boi.....	»	Tauá	55/59
Várzea da Volta.....	»	Granja	40/59
Cruzeta.....	Rio Grande do Norte	Acari	41/58
Currais.....	» » » »	Apodi	35/41
Itãs.....	» » » »	Caicó	36/58
Inharé.....	» » » »	Santa Cruz	39/58
Lucrecia.....	» » » »	Martins	36/56
Morcêgo.....	» » » »	Augusto Severo	34/41
Santana de Pau dos Ferros.....	» » » »	Pau dos Ferros	34/41
Santo Antônio de Caraúbas.....	» » » »	Caraúbas	34/41
Condado.....	Paraíba	Pombal	36/58
Curema.....	»	Piancó	40/58
São Gonçalves.....	»	Sousa	43/58
Pilões.....	»	Antenor Navarro	34/44 e 48/58
Piranhas.....	»	Cajazeiras	38/58
Riacho dos Cavalos.....	»	Catolé do Rocha	34/43
Santa Luzia.....	»	Santa Luzia	55/58
Soledade.....	»	Ibaniópolis	34/58

AÇUDE	Estado	Município	Período total de observações
Abóboras.....	Pernambuco	Parnamirim	54/59
Arrodeio.....	»	São José do Belmonte	57/58
Cachoeira.....	»	Sertânia	37/41
Pau Branco.....	»	Petrolina	54/58
Quebra-Unhas.....	»	Floresta	38/40
Caraibinha.....	Alagoas	Palmeira dos Índios	57/58
Colégio.....	»	Pôrto Real do Colégio	57/59
Cururipe.....	»	Palmeiras dos Índios	40/59
Jacaré dos Homens.....	»	Pão de Açúcar	57/59
Major Isidoro.....	»	Major Isidoro	53/59
Pai Mané.....	»	Major Isidoro	58/59
Pogo das Trincheiras.....	»	Ipanema	54/59
Ponciano.....	»	Traipu	57/59
Riacho do Bode.....	»	Santana do Ipanema	57/59
Sertão de Beixo.....	»	Major Isidoro	53/59
Vira-Beiju.....	Pernambuco	Petrolina	57/59
Jacurici.....	Bahia	Itiúba	57/59
Macaúbas.....	»	Macaúbas	49/59
Morrinhos.....	»	Poções	57/59
Soém.....	»	Senhor do Bonfim	57/58
Xoró.....	»	Quixadá	40/58

A freqüência com que têm sido feitas as observações é variável. Atualmente, em geral, as observações são feitas diariamente ou semanalmente, dependendo da época. Muitos dados antigos envolvem observações mensais ou semanais apenas durante o período chuvoso; na estiagem não eram feitas observações.

Não foi possível apresentar pormenorizadamente nesse relatório as características e as ocorrências de falhas nas observações de cada um dos postos acima citados. É possível que em muitos casos haja solução de continuidade nas observações.

Nos boletins de variação do nível d'água referentes a êsses açudes não existem informações sôbre descargas do açude. Nos casos examinados em minúcias verificou-se que só existem dados sôbre a capacidade dos açudes até a elevação da crista do sangradouro.

Adequabilidade — Para serem de alguma utilidade (na falta de observações diretas dos cursos d'água) os dados de variação do nível d'água dos açudes devem ser acompanhados dos seguintes elementos:

- a) Curva de capacidade do reservatório, inclusive acima da crista do vertedouro. Em casos e estudos especiais, deve-se levar em conta a declividade da superfície d'água.

- b) Informações suficientemente exatas das descargas do reservatório. Para isso é preciso terem-se medidores para determinar essas efluências, como por exemplo, calhas Parshall ou vertedouros, tubos Venturi, medidores de orifício, turbinas calibradas, etc. Esses medidores, principalmente os de maior dimensão, em geral devem ser calibrados no próprio local; a aplicação pura e simples de fórmulas (para o caso de vertedouros, por exemplo) muitas vezes conduz a erros grosseiros. Algumas vezes é possível estimar a descarga total ou parcial do reservatório estabelecendo-se um posto fluviométrico (com controle artificial ou não) no próprio leito fluvial logo a jusante da barragem.
- c) Volumes de descarga pelos sangradouros. Estes, dependendo das suas características hidráulicas e da precisão com que são necessários os dados, devem ser calibrados. Existem muitas fórmulas e coeficientes experimentais que permitem calcular (com bastante exatidão, se judiciosamente usados) as descargas sobre alguns tipos de vertedores de barragem.

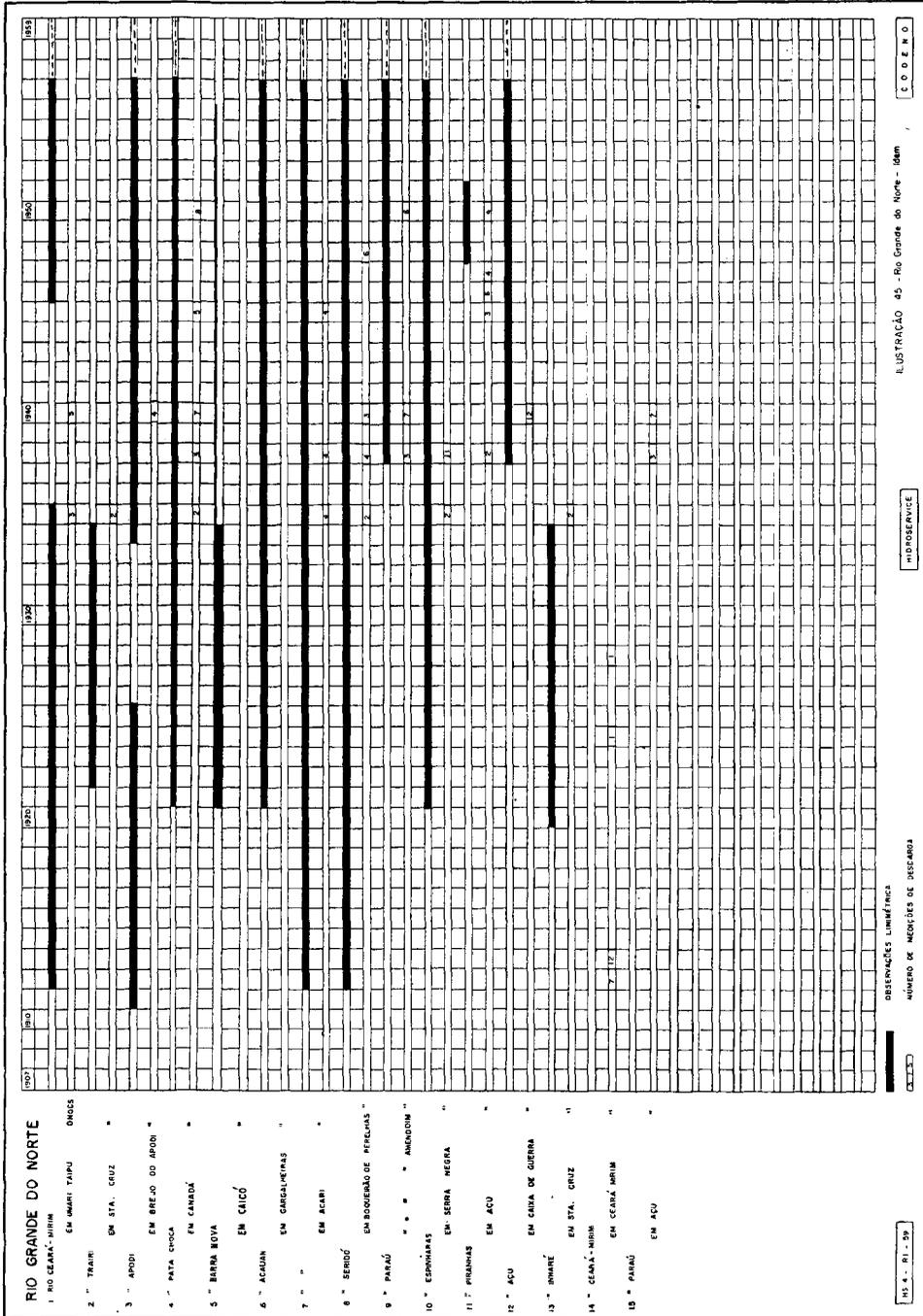
Com apenas esses elementos, como se indica na fórmula 2, é possível tão-somente determinar o valor do "rendimento líquido", $A - P$. Para determinar a afluência fluvial, seria necessário estimar as perdas P .

No Nordeste, nos açudes usados para irrigação, como por exemplo o Lima Campos (Ceará) e o São Gonçalo (Paraíba), são usados medidores de água na entrada dos canais adutores, nos pés das barragens, onde são feitas observações linimétricas que são usadas para estimar os volumes descarregados. A fim de determinar a adequabilidade dessas informações, seria de maior interesse verificar a calibragem dos principais medidores; isso pode facilmente ser levado a cabo por meio de medições cuidadosas com molinetes ou por processos especiais.

f. *Água subterrânea*

Não é demais repetir que é vitalmente necessário o conhecimento adequado das disponibilidades de água subterrânea na Grande Região Nordeste. A amplitude do problema da água subterrânea é enorme, e não seria possível neste trabalho nem pelo menos apresentar um resumo completo do mesmo. Serão feitas apenas algumas considerações básicas, julgadas necessárias para alertar sobre a importância do problema.

O estudo da água subterrânea envolve também a observação sistemática e contínua de certos aspectos de sua ocorrência como se faz com as chuvas, os rios, etc. Neste caso, porém, a localização dos postos é condicionada pelos limites da unidade geo-hidrológica a ser observada.



ESTADO	MUNICÍPIO	NOME DO PONTO DE OBSERVAÇÃO	1950		1951		1952		1953		1954		1955		C O D E M O
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
PARAIBA	1. RIO ARAUÁ	EM MARE D'ÁGUA													
	2. RIO PARANÁ	EM CURUMÁ													
	3. " "	EM FOMBAL													
	4. RIO CARANA	EM STA LUZIA DO SUDOESTE													
	5. RIO PIRAMANGA	EM S. J. DE PIRAMANGA													
	6. " "	EM AÇULAN													
	7. RIO PARAIBA	EM LUZIO MULLER													
	8. " "	EM SOQUEIRAS CABANERAS *													
	9. RIO TIRECUÁ	EM TAPERUÁ													
	PERNAMBUCO	1. RIO SÃO FRANCISCO	EM PETROLÂNIA												
2. " "		EM SÃO FRANCISCO													
ALAGOAS	1. RIO SÃO FRANCISCO	EM RIO DE APLICAR (VERFUDA)													
	2. " "	EM TRAPIJ (VERFUDA e ONI)													
SERGIPE	1. RIO VAZ-BAHIS	EM PASSO DA CONCEIÇÃO DIOS													
	2. " "	EM SÃO DIAS													

ILUSTRAÇÃO 46 - Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe - Item

HYDROSERVICE

CONSERVAÇÃO LUMINÉTICAS
NÚMERO DE MEDIÇÕES DE BARRAGEM

CTER

HS 4 - RI - 59

Nº	LUGAR	SISTEMA	1907		1910		1913		1916		1919		C. D. E. N. D.
			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
1	RIO SÃO FRANCISCO												
2	EM BENTO SÉ	SVEFIDA											
3	EM PULO ANCAIDO	" (D)											
4	EM MORPARÁ	"											
5	EM GABELEANA	"											
6	EM CAHURUANA	"											
7	EM SOBADO	"											
8	EM FAZ SÃO JOSÉ	"											
9	EM IBOTRAMA	"											
10	EM PAL. DO PÊRTO	"											
11	EM CAMOESIA MANGOCANI	"											
12	EM JUAZEVA	"											
13	EM BEBODOR	"											
14	EM MALINDA DA AREIA	"											
15	EM JOAZEIRO	" (*)											
16	EM DO GRANDE	"											
17	EM ESTREITO	"											
18	EM TAGUA	" (*)											
19	EM JAPERUÁ	"											
20	EM MACABUBA	"											
21	EM MAINGA	"											
22	EM BOQUEIRÃO	"											

ILUSTRAÇÃO 47- Bahia - Mem

HIROBREVÊ

OBSERVAÇÕES LIMÉTRICAS
NÚMERO DE MEDIÇÕES DE DECAIMIA

Nº 4 - 31 - 35

Essa unidade é o aquífero (às vezes também denominado reservatório subterrâneo), que, para o conhecimento completo do problema da disponibilidade regional de água subterrânea deve ser adequadamente inventariado: suas dimensões, profundidade, descontinuidades e sua capacidade de armazenamento e transmissão da água devem ser levantadas e medidas por meio de estudos geológicos, sondagens exploratórias, levantamentos por métodos geofísicos e testes de bombeamento; as áreas de alimentação e de descarga devem ser determinadas; mapas da superfície freática ou artesianas devem ser preparados; dados sobre a qualidade e a temperatura da água devem ser coletados. Uma vez delimitado o aquífero podem ser feitas medições sistemáticas e contínuas das flutuações do nível d'água por meio dos poços de observação que servem para determinar não só as variações quantitativas no armazenamento subterrâneo que resulta de chuvas, filtrações influentes, evapotranspiração, etc., mas também para verificar as variações ocasionadas pelo uso da água subterrânea pelo homem.

A maior parte deste trabalho pode ser levada a cabo por fases ou em diferentes graus de precisão e acabamento. O passo inicial deve sempre ser o do reconhecimento genérico dos limites e das principais características físico-geológicas e hidrológicas do aquífero. Observações das flutuações do nível d'água devem ter caráter histórico e por isso precisam ser iniciadas logo após a fase inicial de reconhecimento e delimitação do reservatório subterrâneo.

A situação atual da disponibilidade de informações sobre água subterrânea na Grande Região Nordeste talvez possa ser apresentada da seguinte forma: existem informações esparsas que direta ou indiretamente, dão indicações da ocorrência de água subterrânea. Há porém, muito pouca informação obtida com o intuito precípuo de realmente determinar as disponibilidades de água através do conhecimento sistemático dos aquíferos.

Até o presente estima-se que tenham sido perfurados pelo DNOCS cerca de 5 000 poços dentro do Polígono das Sêcas, incluindo também os estados do Pará, Maranhão e o território de Fernando de Noronha, estes incluídos no Polígono apenas durante o período da última grande guerra.

O DNOCS mantém em sua sede no Rio, um controle do andamento dos serviços de perfuração de poços e um cadastro geral de poços. Nesse cadastro entre outros encontram-se resumidos alguns elementos técnicos sobre cada poço. Em muitos boletins desse Departamento e da antiga IFOCS, encontram-se também estatísticas das perfurações efetuadas. A fim de dar uma idéia do tipo de informações que podem ser encontradas sobre os poços perfurados, reproduzem-se abaixo as características técnicas do poço Bulcão no município de Arraial, no Ceará, descritas no vol. 2, n.º 4 (1934) do *Boletim* do IFOCS.

POÇO BULÇÃO

Proprietário	J. G. R. V.
Profundidade	21 metros
Revestimento — tubos de 0,20 m	11 metros
Nível dinâmico	14 metros
Nível estático	7 metros
Vazão horária	2 500 litros
Qualidade da água	Salobra.

Camadas atravessadas:

Argila	6 metros
Rocha decomposta	2,80 metros
Areia grossa	0,20 metro
Rocha compacta	9 metros
Rocha decomposta	0,30 metro
Rocha compacta	2,70 metros

Lençóis encontrados:

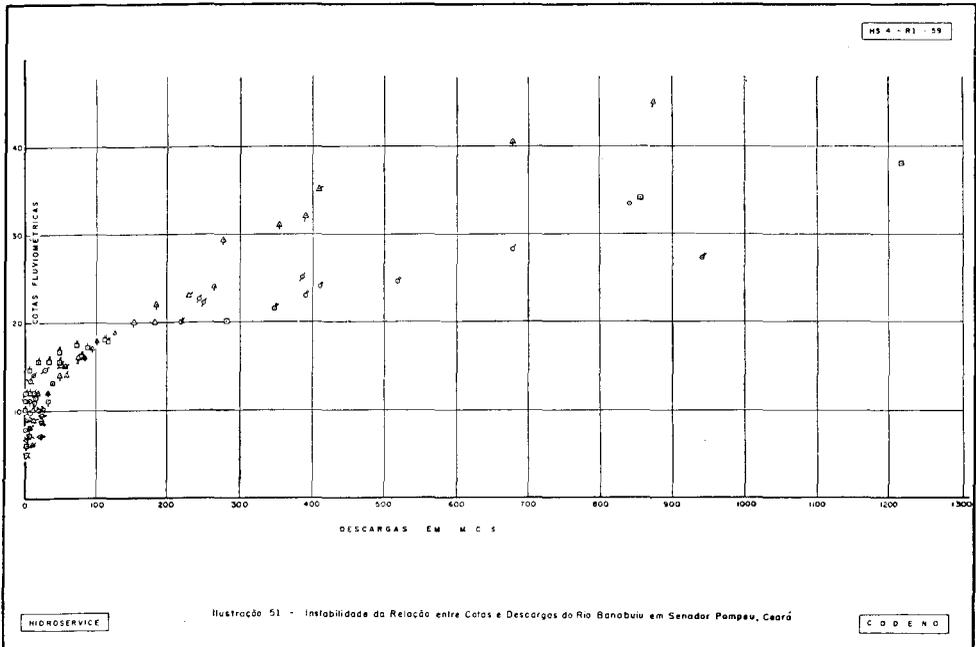
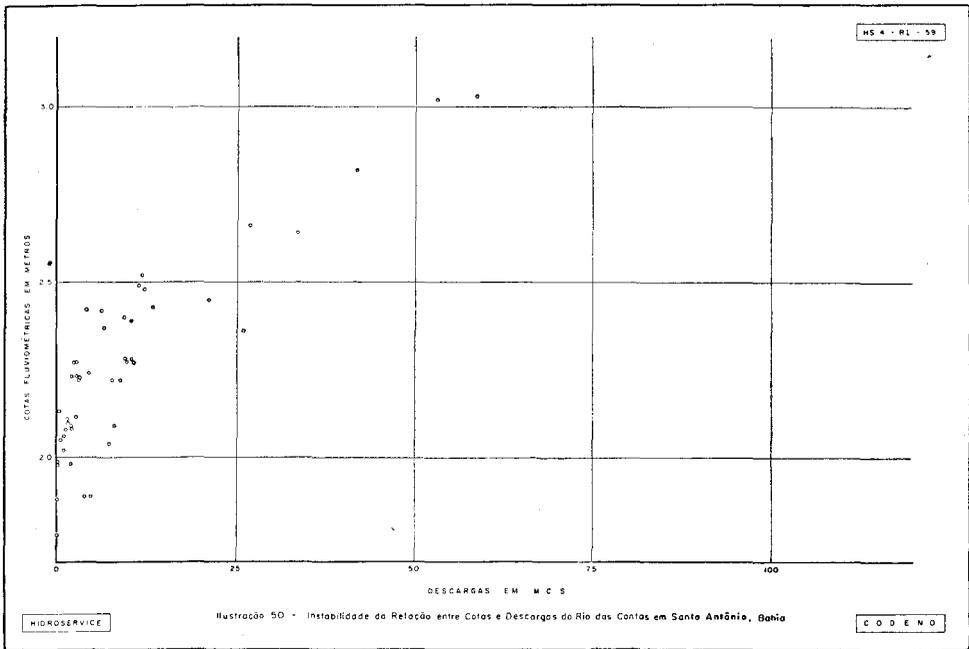
- 1.º aos 9 metros
- 2.º aos 18 metros

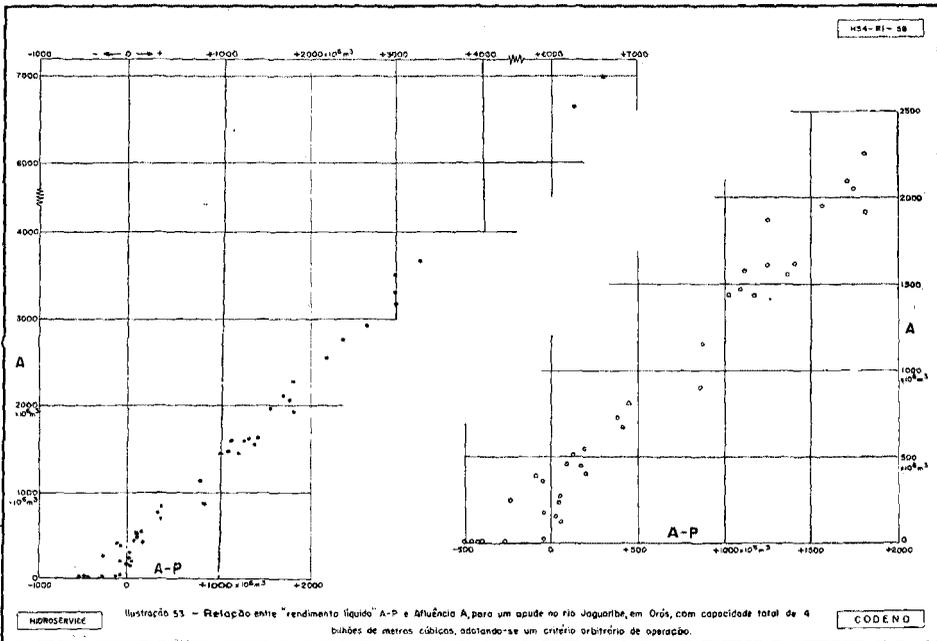
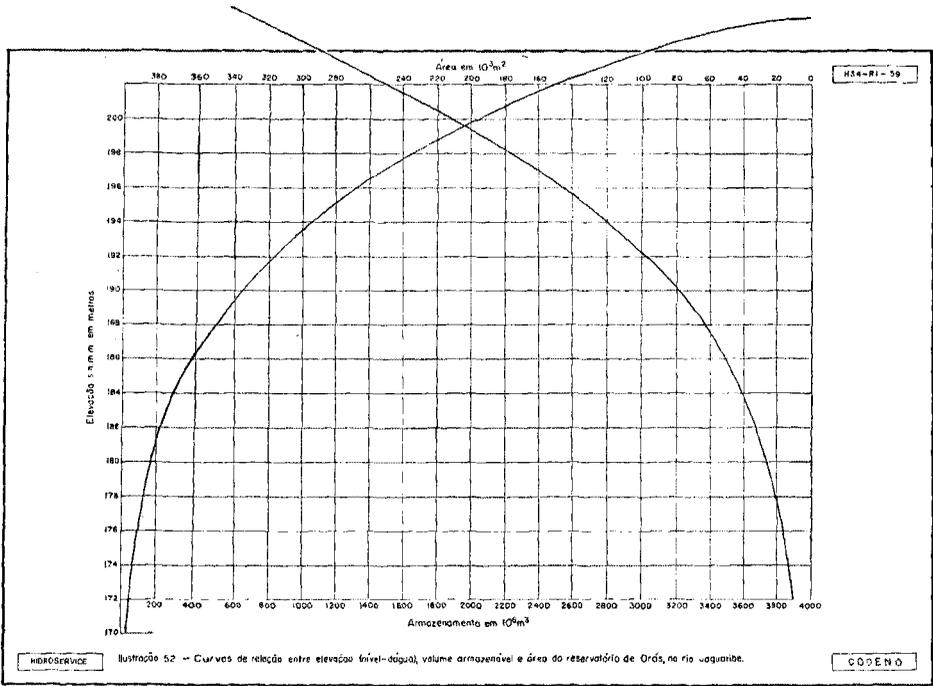
Dados dessa natureza têm uma utilidade limitada; fornecem apenas algumas indicações sobre a ocorrência da água subterrânea nas imediações das perfurações e não dão indicações objetivas a respeito das reais características geo-hidroológicas dos aquíferos atingidos. Os dados de vazão fornecidos para cada poço não devem ser tomados como base para avaliar a disponibilidade de água subterrânea. O conceito de “vazão específica” de um poço, baseado no simples quociente entre uma certa vazão e a diferença entre o nível estático e o dinâmico, está hoje superado; em um poço ou aquífero não existe uma vazão específica (ou capacidade específica) constante pois ela varia, não só com a duração do bombeamento, mas também com a descarga.

As indicações a respeito das camadas atravessadas são em geral insuficientes para estudos geológicos de correlação estratigráfica e litológica. Outras críticas poderiam ser feitas sobre os dados em geral obtidos das perfurações efetuadas no Nordeste.

Nesta apresentação sumária é preciso fazer referência aos trabalhos relacionados com o problema da água subterrânea que vem sendo realizados por técnicos da Divisão de Geologia e Mineralogia do Departamento Nacional da Produção Mineral e pelos peritos da “Missão de Hidrologia para o Nordeste”, da UNESCO. Estes vêm, desde 1955, tentando demonstrar a importância e a necessidade dos estudos sistemáticos do problema da água subterrânea tendo para isso desenvolvido cursos de hidrogeologia e realizado vários trabalhos de reconhecimento hidrogeológico.

Os trabalhos sobre água subterrânea do DNPM constituem, pode-se dizer, subprodutos das campanhas geológicas realizadas nos últimos





anos por êsse órgão, principalmente nos estados do Piauí e Maranhão. Referência deve ser feita ao *Boletim* n.º 156 do DNPM, "Água Subterrânea no Piauí", por WILHELM KEGEL; trata-se de um trabalho útil de sistematização de informações disponíveis sôbre a ocorrência e a qualidade da água subterrânea em partes do Piauí.

Cabe neste ponto chamar a atenção para a necessidade de, nos trabalhos sôbre água subterrânea, estabelecer um equilíbrio entre a ênfase geológica que se der ao trabalho e a ênfase hidrológica que o mesmo deve ter. É evidente que a ocorrência da água subterrânea é condicionada pela geologia. No entanto, o que é necessário, em última análise, são conhecimentos sôbre as características hidrológicas e hidráulicas dos aquíferos a fim de que a água possa ser adequadamente aproveitada.

Com tão poucos conhecimentos sôbre os recursos de água subterrânea, é inevitável que os mesmos sejam colocados num plano inferior em qualquer programa de desenvolvimento. Atualmente a obtenção de água subterrânea é em grande parte uma questão de pura sorte. Muitas perfurações são efetuadas, fundadas apenas na esperança de que talvez se encontre água. São muito reduzidos os conhecimentos que se têm sôbre reservatórios subterrâneos da Grande Região Nordeste, de modo que não é possível ter-se pelo menos uma idéia quantitativa de suas potencialidades e reais limitações.

A importância do problema requer que sejam imediatamente tomadas providências no sentido de iniciar a avaliação sistemática dos recursos de água subterrânea da Grande Região Nordeste.

É preciso ir, progressivamente, delimitando e classificando os aquíferos da região. Numa fase inicial devem ser localizados e pelo menos aproximadamente demarcadas e levantadas as características físico-geológicas e hidrológicas mais salientes dos principais aquíferos. Êsse trabalho deverá ser gradualmente ampliado e sistematicamente completado à medida que os dados e resultados de novos estudos forem surgindo. Tôdas as perfurações que foram realizadas na região devem fornecer elementos litológicos minuciosos a serem estudados geologicamente.

A determinação da ocorrência de água e a delimitação dos aquíferos não são suficientes. Há necessidade também de observações judiciosas sôbre o comportamento hidráulico e hidrológico dos mesmos.

Testes de bombeamento para determinação de índices de armazenamento e permeabilidade devem ser levados a cabo em todos os aquíferos onde se prevê a utilização em escala considerável da água subterrânea. Os métodos a serem adotados nesses testes devem ser o que de mais recente e comprovado existe sôbre a questão na hidrologia das águas subterrâneas.

Poços linigráficos devem ser instalados nos principais aquíferos para que sejam observadas continuamente as flutuações dos níveis d'água e das pressões artesianas. Não é possível, com as informações

disponíveis, avaliar quantos seriam necessários para uma cobertura adequada*.

Estudos de outras fases do ciclo hidrológico como as chuvas, a infiltração, a evaporação, transpiração, etc., devem ser levados a cabo tendo em vista a determinação das características de alimentação e descarga dos principais aquíferos da região.

g. *Transporte e deposição de sedimentos*

Informações sobre o transporte e deposição de matéria sólida por curso d'água, e sobre a perda de capacidade de armazenamento nos açudes devido à acumulação de sedimento são vitais para o projeto e a operação de todos os tipos de estruturas hidráulicas.

Todo curso d'água transporta sedimentos. A quantidade e o tipo de material carreado variam bastante de área para área, e, inclusive, de ponto para ponto de um mesmo rio; a magnitude e a intensidade das chuvas, a geologia, a fisiografia da bacia contribuinte, a densidade e a natureza da cobertura vegetal, as características do uso da terra são alguns dos principais fatores que determinam a intensidade da sedimentação em uma bacia fluvial.

O sedimento transportado pelos cursos d'água provém: da erosão-em-lençol produzida pelo escoamento superficial das águas de chuva nas terras agricultadas, nos pastos, nas caatingas, etc.; do voçorocamento provocado pela concentração do escoamento superficial; da erosão dos próprios álveos e das planícies aluviais; do movimento em massa de terrenos devido a desmoronamentos, escorregamentos de taludes, etc.; da erosão acelerada que ocorre nas proximidades das obras e trabalhos do homem que envolvem o movimento de terra, como por exemplo estradas, pontes, mineração e a construção de casas e outras estruturas.

Além de a erosão por si só já constituir um sério problema, o sedimento transportado pela água afeta a operação dos açudes, barragens e outras obras hidráulicas, e interfere com a navegação nos cursos d'água perenes, com a irrigação, com a utilização dos cursos d'água para fins domésticos e industriais, e com várias outras atividades econômicas.

Todo açude tende a acumular sedimento de modo que sua capacidade de armazenamento será eventualmente perdida. Se a quantidade de matéria sólida que aflui anualmente for grande em relação à capacidade do açude, sua vida útil será muito curta. No planejamento de um reservatório é importante estudar-se a questão da intensidade provável de assoreamento para determinar, entre outras coisas, se a duração da vida útil do mesmo justifica sua construção. Um local de barra-

* Nos Estados Unidos, em 1951, havia cerca de 10 000 poços de observação dos quais 300 eram financiados inteiramente por fundos federais e 9 700 por fundos mistos, parte federal, parte estadual ou municipal.

gem e o volume armazenável no açude que se cria, constituem sempre valioso recurso natural. Uma vez construídos a barragem e o lago, passarão a fazer parte da paisagem. Uma economia agrícola na base da irrigação, por exemplo, poderá se desenvolver tendo como base, em última análise, a capacidade de armazenamento do açude, a qual deverá ser preservada por período de tempo mais longo possível.

A fim de corretamente avaliar os efeitos — sôbre os açudes e outras obras hidráulicas — do transporte de sedimento pelos cursos d'água e levá-los em conta nos planos de desenvolvimento da utilização dos recursos de água; e para poder, judiciosamente, tomar medidas de controle ou redução da erosão em suas várias formas, é imprescindível que sejam coletadas, sistemáticamente, informações dignas de fé e completas sôbre quantidades e tipos de sedimentos carregados pelas correntes fluviais, e sôbre o assoreamento dos açudes construídos.

Na Grande Região Nordeste nada está sendo feito sistemáticamente sôbre êste problema. É preciso começar, porém.

Informações básicas sôbre as cargas sólidas dos cursos d'água devem ser obtidas através da instalação e operação de uma série de postos sedimentométricos a serem localizados junto a estações fluviométricas. Numa fase inicial, devem ser escolhidos pelo menos 5 pontos em diferentes rios, preferivelmente a montante de açudes, que possam, a *grosso modo*, ser considerados como aproximadamente representativos (sob os pontos de vista geológico e climático) da região onde se encontram. Êsses pontos devem abarcar, de preferência, áreas de drenagem de 10 a 30 mil quilômetros quadrados. Durante um período de pelo menos dois anos, deverão ser coletadas informações com freqüência suficiente para poder-se calcular as descargas sólidas diárias, mensais e anuais. Nesse período dever-se-á também obter dados sôbre as principais chuvas e enchentes que ocorrerem de modo a ter-se alguma idéia inicial sôbre as principais áreas geradoras de sedimento. Observações judiciosas, porém rápidas e mesmo qualitativas, poderão ser feitas em outros cursos d'água, de modo a ir ampliando progressivamente os conhecimentos sôbre as principais áreas-problema da região. À medida que a questão fôr sendo focalizada, se tornarão mais evidentes as características da rede sedimentométrica que se deve adotar para a região.

Levantamentos batimétricos periódicos dos açudes já construídos são também muito necessários. Êsses levantamentos fornecem dados básicos que possibilitam: 1) a correção das curvas de capacidade dos açudes, necessárias para a operação eficiente do reservatório; 2) o estudo da produção de sedimento na bacia fluvial contribuinte; 3) a verificação dos ritmos em que se dão as perdas de capacidade das obras concluídas, tendo em vista a programação de obras suplementares; e, 4) a obtenção de informações sôbre a distribuição dos sedimentos nos açudes, a densidade dos depósitos, as eficiências de retenção, etc., que permitem melhorar os critérios a serem usados em novos projetos.

Seria da maior utilidade levar a cabo um estudo abrangendo o maior número possível de açudes, do maior ao menor, tendo em vista verificar qualitativamente, sempre que possível, o grau de assoreamento da obra. Se judiciosamente levada a cabo, esta investigação poderá dar indicações úteis a respeito da distribuição provável dos problemas de sedimentação em açudes.

Alguns dos açudes mais antigos devem ser os primeiros a ser levantados. Existem instrumentais ecobatimétricos que permitem não só determinar com bastante precisão o fundo atual dos reservatórios, mas também fornecem indicações úteis das camadas abaixo.

h. *Qualidade química e sanitária da água*

Da qualidade da água dependem as possibilidades de sua utilização para os vários fins.

A concentração de minerais dissolvidos, que toda água contém embora em quantidades variáveis, determina a qualidade química, isto é, se a água é boa, má ou imprópria para o uso agrícola, municipal, industrial, etc.

Nas regiões de baixa precipitação e alta evaporação, o conteúdo de minerais dissolvidos constitui uma característica freqüente das águas. Os problemas de mineralização da água são de vital importância, não só pela sua complexidade, mas principalmente pelas suas consequências sobre a vida humana e a agricultura.

Com o desenvolvimento das atividades que exigem água para sua manutenção, tornam-se também mais rigorosas as especificações de qualidade, o que exige cada vez mais informações básicas e estudos sobre as características químicas das águas e as condições físicas e atividades humanas que as determinam ou modificam.

As investigações básicas sobre a qualidade química da água envolvem a obtenção de dados básicos sobre as características químicas das águas superficiais e subterrâneas, através da coleta sistemática de amostras de água (nos rios, nos açudes e em poços de observação) e análises químicas completas das mesmas. Os tipos de dados e a freqüência de sua obtenção devem ser tais que permitam: verificar as variações no tempo e na qualidade da água; avaliar a influência da hidrologia, geologia e atividades humanas no processo de mineralização; e, principalmente, determinar a usabilidade da água para os vários fins.

O problema da poluição também existe na Grande Região Nordeste. Embora não tenha sido feito ainda um levantamento sistemático do problema em toda a região, sabe-se que são inúmeros os trechos de cursos d'água perenes que se encontram altamente poluídos por cidades e indústrias (resíduos das usinas de açúcar em Pernambuco, por exemplo) e que por isso, tornam-se inservíveis para o uso humano, para a vida aquática e o uso industrial.

Há necessidade de informações de natureza básica sobre a questão. Cada fonte de poluição deve ser estudada; dados quantitativos sobre as matérias poluidoras devem ser obtidos assim como sobre os efeitos das mesmas no curso d'água receptor.

O problema da poluição é extremamente sério, tendendo a tornar-se cada vez mais agudo com o desenvolvimento industrial das cidades. São necessárias atitudes rígidas de controle da poluição, mas para sua execução, em cada caso, requerem um adequado conhecimento das relações entre as cargas poluidoras e as características dos sistemas de autopurificação dos cursos d'água.

1. *Elementos meteorológicos*

Como em qualquer outra área, há no Nordeste muitas relações entre os problemas hidrológicos e a meteorologia e climatologia regionais. O empenho do hidrólogo por conhecer problemas do tempo e do clima, estende-se profundamente dentro do campo de ação dessas ciências.

Há grande interesse e necessidade de dados meteorológicos. Informações sobre temperatura, umidade, insolação e vento são algumas das mais exigidas nos trabalhos hidrológicos. O conhecimento das características normais da circulação atmosférica e das frequências de ocorrência de determinadas situações sinóticas constitui uma das condições necessárias para a completa compreensão do regime hidrológico de uma região.

A rede meteorológica oferecida pelo Serviço de Meteorologia na Grande Região Nordeste, à semelhança do que ocorre em outras partes do país, possui quatro tipos de estações:

- Estações termopluiométricas;
- Estações de 2.^a classe;
- Estações de 3.^a classe;
- Estações sinóticas.

As estações sinóticas são as que enviam diariamente via rádio, em horas sinóticas, informações sobre as condições de tempo reinante na localidade, e que servem para o traçado das cartas do tempo usadas para previsão. Na Grande Região Nordeste as estações sinóticas podem ser termo-pluiométricas, de 2.^a ou 3.^a classe, adaptadas para o trabalho sinótico.

A aparelhagem normalmente instalada nessas estações é a seguinte:

- a) Estação de 2.^a classe:
Barômetro; Termômetro de máxima e de mínima; Termômetros psicrométricos; Catavento; Heliógrafo; Tubo Piché; Anemômetro; Barógrafo; Termógrafo; Pluviômetro e Pluviógrafo.

b) Estação de 3.^a classe:

Barômetro; Termômetro de máxima e mínima; Termômetro psicrométrico; Catavento; Barógrafo; Tubo Piché; Pluviômetro.

c) Estação termo-pluviométrica:

Termômetros de máxima e de mínima; Catavento; Pluviômetro.

Nem sempre, porém, as estações possuem em funcionamento todo esse instrumental. As estações de 2.^a classe, por exemplo, muitas vezes não possuem pluviógrafos operando.

São 66 as estações meteorológicas atualmente em operação nos 9 estados da Grande Região Nordeste, conforme se vê na Tabela 8 abaixo.

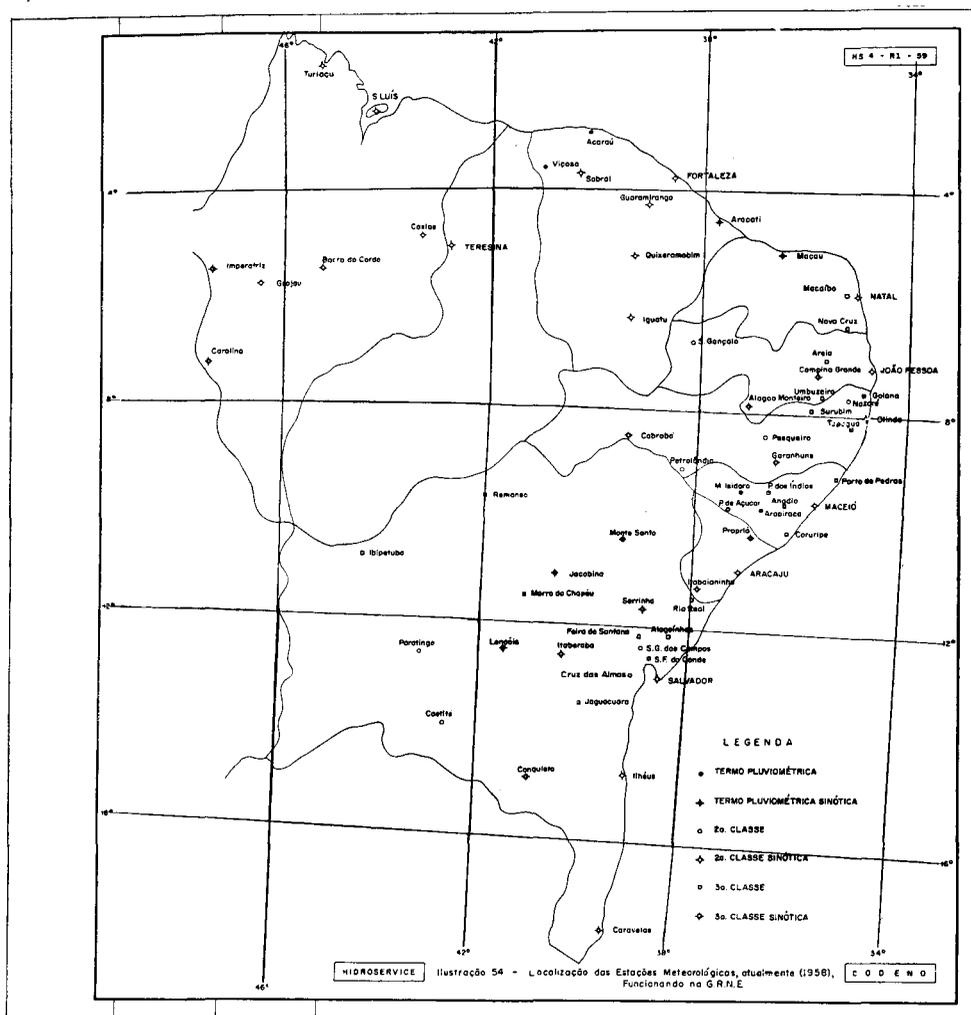
Na ilustração 54 apresenta-se a localização de cada uma das estações que no presente se encontram funcionando. Como se vê a cobertura da parte mais seca da região é bastante deficiente. A maior parte das estações encontra-se ao longo do litoral.

Há alguns anos, havia um número bem maior de estações meteorológicas na Grande Região Nordeste. De acordo com dados obtidos no Serviço de Meteorologia, deve ter havido, já na região, cerca de 160 estações de várias classes, ou sejam 240% mais que o que atualmente existe em operação!... (Em parte isso se deve ao fato de que o Serviço não pode, devido à regulamentação governamental admitir novos observadores. Com o falecimento ou afastamento do observador de uma estação, esta em geral é forçosamente fechada!) Mesmo antes, porém, a densidade da rede era maior no litoral que no interior, principalmente nos estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco.

TABELA 8

Número de estações meteorológicas em operação (1958) na Grande Região Nordeste, de acordo com informações colhidas no Serviço de Meteorologia

ESTADO	Termo-pluviométricas	2a. classe	3a. classe	Sinóticas	Total
Maranhão	—	—	—	7	7
Piauí	—	—	—	1	1
Ceará	2	—	—	6	8
Rio Grande do Norte	—	—	2	2	4
Paraíba	—	1	2	3	6
Pernambuco	—	3	3	3	9
Alagoas	2	—	5	1	8
Sergipe	—	—	—	3	3
Bahia	—	3	8	9	20
TOTAL DA REGIÃO	4	7	20	35	66



Há necessidade urgente de ampliar a rede atual de observações meteorológicas. Para isso devem ser restabelecidos os postos extintos e instalados novos postos, tratando-se agora de densificar mais as observações — tanto de superfície quanto de altitude — no interior de todos os estados da região e nos estados adjacentes. O planejamento de uma nova rede, a classificação por tipo das mesmas (sinóticas ou climatológicas), e a sua localização devem merecer um cuidadoso estudo. Uma rede sinótica adequadamente planejada e operada, poderá ser de grande utilidade para prognosticar ou seguir o progresso de períodos críticos e determinar os de precipitação deficiente que podem anualmente se desenvolver na região.

2. Dados básicos correlatos e de interesse

Não foi efetuado um levantamento completo da disponibilidade de dados básicos correlatos e de interesse para os trabalhos relacionados

com os recursos de água. É finalidade desta parte apenas chamar a atenção sobre a importância desses dados.

As principais informações correlatas necessárias às várias fases dos projetos de desenvolvimento da utilização dos recursos de água são:

- Topografia;
- Geologia, solos e cobertura vegetal;
- Elementos cadastrais; e
- Dados sócio-econômicos.

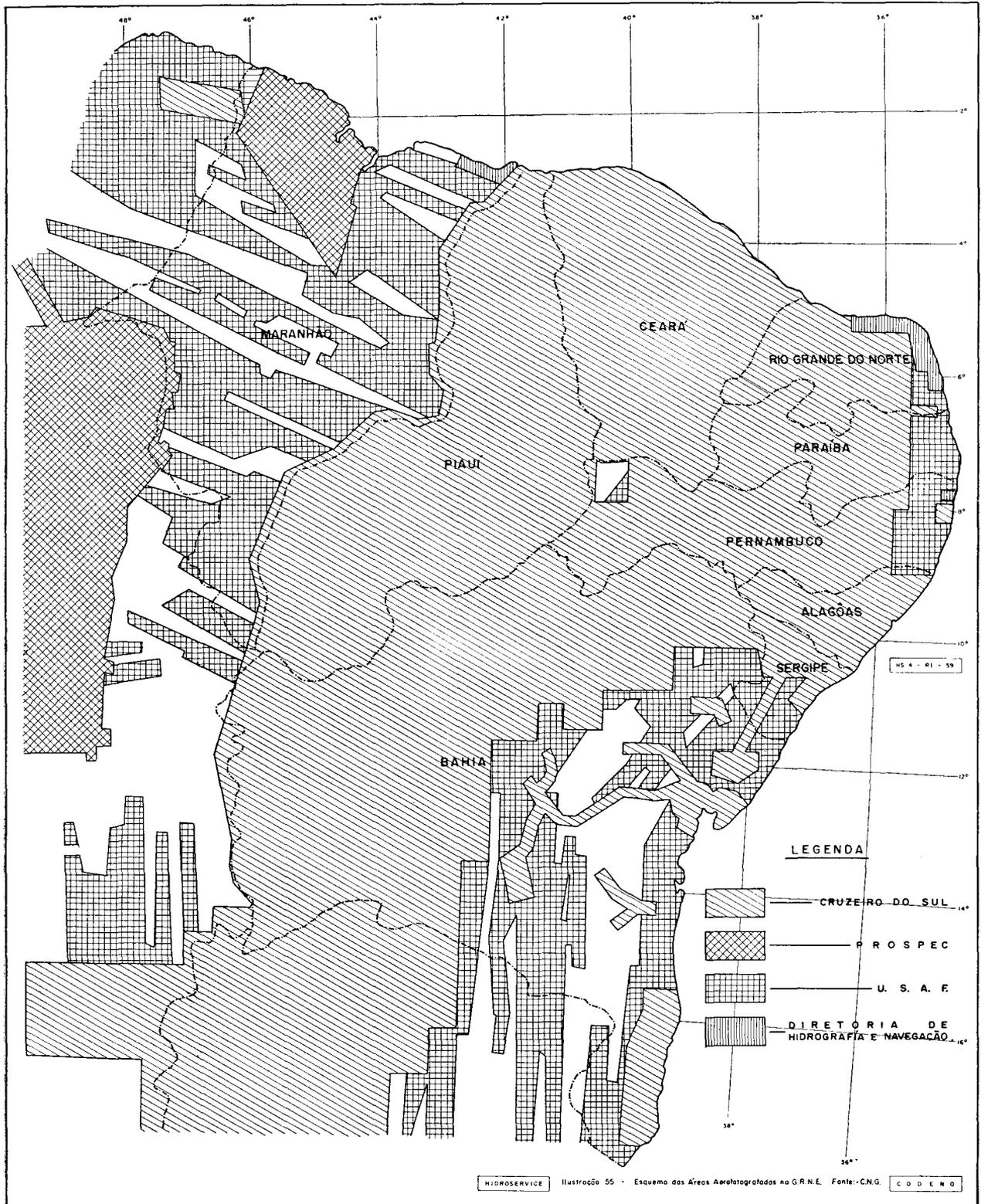
Informações exatas sobre a topografia (relêvo, drenagem e ocupação e uso da terra) são um pré-requisito para qualquer programa de desenvolvimento. Eles são necessários e imprescindíveis para o planejamento e projeto de todas as obras necessárias ao controle e utilização da água, como também constituem uma base fundamental para dar sentido geográfico e analisar todos os demais dados básicos hidrológicos, geológicos, pedológicos, econômicos, etc.

A Divisão de Cartografia do CNG é o principal órgão produtor de mapas do país tendo como finalidades principais mesmo, “a elaboração das cartas geográficas do Brasil, o estabelecimento de redes de triangulação geodésicas fundamentais, o nivelamento de primeira ordem, a determinação de coordenadas astronômicas de 1.^a, 2.^a e 3.^a ordens, além de observações de cálculos gravimétricos e levantamentos topográficos”.

A disponibilidade de mapas da Grande Região Nordeste elaborados pela Divisão de Cartografia pode ser verificada por meio da publicação *Trabalhos Técnicos da Divisão de Cartografia*, Rio, dezembro de 1958, IBGE. Os mapas mais minuciosos de que se dispõem atualmente, publicados pela Divisão, são as folhas da carta do Brasil na escala 1:500 000, que abrangem quase toda a região, e as folhas na escala 1:250 000 abrangendo apenas grande parte da Bahia e de Pernambuco, e parte de Alagoas e Sergipe.

Existem sem dúvida outros mapas mais pormenorizados, porém, se referem a pequenas áreas relacionadas com determinados projetos tendo sido levados a cabo especificamente para a realização daqueles projetos. Supõe-se, por exemplo, que o DNOCS possua mapas em escala pequena das áreas dos açudes, locais de barragens, etc. A Comissão do Vale do São Francisco vem executando nos últimos anos o mapeamento de boa parte do fundo do vale do trecho inferior do médio São Francisco.

Há necessidade imperiosa de uma cobertura topográfica da região em escalas adequadas. Como indica a ilustração 55, grande parte da Grande Região Nordeste encontra-se já recoberta aerofotograficamente; há pois bastantes elementos para restituição aerofotográfica e mapeamento. É preciso que se desenvolva um programa bem coordenado e sistemático de aproveitamento dessas fotografias.



Um aspecto importante do estudo da topografia que merece menção especial se refere à utilidade das fotografias aéreas não só para o mapeamento fotográfico mas também como ferramenta de estudo e planejamento, mediante a técnica conhecida como fotointerpretação.

A fotografia aérea registra, além dos fenômenos superficiais, muitos dos fenômenos que ocorrem abaixo da superfície; a identificação desses depende de diversos fatores. Através do estudo estereoscópico das fotos e mediante procedimentos de correlação, análise, síntese e verificações, é possível reconhecer nas mesmas, vários fenômenos superficiais e subterrâneos.

É vasto o campo de aplicação da técnica da fotointerpretação, merecendo realce os seguintes: classificação dos solos para a engenharia e a agricultura; materiais de construção; rede hidrográfica; seleção de locais para barragens e reservatórios; uso e ocupação da terra; geologia; erosão e conservação do solo; valor da terra; seleção de traçados de estradas, etc. A precisão dos resultados obtidos mediante o uso da fotointerpretação bem planejada, aliada à rapidez e economia que essa técnica permite, convertem-na em um elemento necessário para a obtenção de muitas informações básicas necessárias ao planejamento local e regional.

Os mapas, os dados e os estudos geológicos além de serem elementos básicos na investigação e aproveitamento dos recursos minerais, precisam ser levados em conta nos estudos sobre a quantidade e a qualidade das águas subterrâneas, na escolha de materiais de construção e na solução de problemas construtivos e de fundação das obras para utilização e controle da água. O Departamento Nacional da Produção Mineral, através da sua Divisão de Geologia é o órgão encarregado de efetuar, no âmbito nacional, estudos e mapas geológicos. Embora essa Divisão já tenha realizado vários trabalhos (especialmente em partes do Piauí, Maranhão e Bahia) e outros órgãos e entidades como a Petrobrás, o próprio DNOCS (principalmente em épocas passadas) e outros, também hajam efetuado estudos e investigações geológicas (em geral esparsas), pode-se dizer que o que se tem atualmente de informações sistemáticas, coordenadas, e, principalmente disponíveis para o uso, é muito pouco e insuficiente.

A classificação e a cartografia dos recursos de solo são, como é bastante sabido, imprescindíveis aos trabalhos de aproveitamento da água para irrigação. A classificação dos solos é baseada no levantamento de uma série de fatores físicos e químicos onde se salientam: a quantidade, distribuição e espessura dos principais horizontes no perfil do solo; a textura, estrutura, cor e consistência de cada horizonte e sua composição química e mineralógica; o grau de alcalinidade ou acidez, e a permeabilidade de cada horizonte; a drenagem natural no perfil; a capacidade de armazenamento de umidade; a profundidade do solo até as camadas que afetam o desenvolvimento das raízes e a percolação normal da água gravitacional; o teor de matéria orgânica

e os tipos e quantidades de sais do solo; as características da microtopografia, etc. A apresentação gráfica com a localização, delimitação dos tipos e descrições adequadas dos vários tipos de solos é necessária pois sem ela o trabalho seria incompleto; os mapas do solo constituem um dos elementos básicos dos projetos de irrigação.

A Secção de Solos do Serviço Agro-Industrial do DNOCS, tem realizado estudos das terras irrigáveis situadas no Polígono das Sêcas. Estes estudos têm consistido do "levantamento agrológico das amostras colhidas"; e "confecção de mapa e de relatórios contendo todos os dados agrológicos e censitários". De acôrdo com o livro *Solo e Água no Polígono das Sêcas*, do Eng.-Agron. J. G. DUQUE, MVOP, Ceará, 1953, p. 136, até 1952 haviam sido efetuados estudos agrológicos em 15 áreas de irrigação, totalizando quase 150 000 hectares. Seria de grande interêsse estudar êsses dados com referência à sua disponibilidade para o uso imediato.

O conhecimento dos solos da Grande Região Nordeste ainda é altamente insuficiente. Urge programar e levar a cabo um trabalho sistemático de coleta de dados sôbre êsse importante recurso natural.

O desenvolvimento da utilização dos recursos de água envolve também vários problemas de ocupação das terras, que nem sempre são de propriedade pública. O levantamento cadastral dos limites e extensões das propriedades privadas e das terras de domínio público constitui um elemento básico necessário ao planejamento das obras e sistemas de utilização da água.

Para que se possa determinar e situar os aspectos econômicos e sociais dos trabalhos de aproveitamento da água, é necessário que a programação dos mesmos tenha em vista: as necessidades atuais da população das bacias e da região; os níveis de população, emprêgo, renda e produção para os quais o planejamento e programação se destinam; e os problemas a atacar para conseguir os objetivos desejados. Dados sócio-econômicos são como se sabe, necessários para estabelecer os sentidos sociais e econômicos dos planejamentos.

3. Inventários sôbre o uso da água

As populações que atualmente existem na Grande Região Nordeste, evidentemente, utilizam a água nas várias atividades que desenvolvem. Quanta água é utilizada para fins domésticos, industriais e agrícolas? Como se distribui na região o uso da água? Quais as tendências de consumo de água?

O Serviço Agro-Industrial mantém um serviço de estatística do uso da água nas suas áreas de irrigação. Que parte dessa água é usada consumptivamente, isto é, devolvida à atmosfera? Que proporção é desperdiçada consumptivamente, isto é, evaporada ou transpirada sem produzir benefícios ao homem? E que parte volta ao curso d'água ou se infiltra e percola, indo fazer parte dos aquíferos subjacentes constituindo portanto um uso não consumptivo?

Inventários da utilização da água podem ser levados a t ê rmo de modo a possibilitar a diferenciação do uso nas tr ê s categorias acima discriminadas; uso consumptivo, desperdício consumptivo e uso n ã o consumptivo. A quantidade usada consumptivamente deixa de fazer parte dos recursos de água dispon i veis.

A água desperdiçada tamb é m \acute{e} perdida, mas talvez seja poss i vel e desej \acute{a} vel reduzir \acute{e} sse consumo e usar essa água para outros fins ben \acute{e} ficos. O uso da água por vegetação n ã o cultivada numa \acute{a} rea irrigada, por exemplo, constitui uma forma de desperdício consumptivo, embora nem sempre seja poss i vel evit \acute{a} -lo. Muita vegetação freat \acute{o} fita desnecess \acute{a} ria consome água subterr \acute{a} nea que poderia ser utilizada para outros fins.

A água utilizada n ã o consumptivamente poder \acute{a} ainda ser adequada para ser novamente usada ou ter \acute{a} sua qualidade afetada a tal ponto que n ã o seja mais poss i vel us \acute{a} -la e, se f \acute{o} r descarregada num curso d'água ou num aq \acute{u} ifero, poder \acute{a} poluir uma quantidade maior de água.

Nas \acute{a} reas irrigadas, uma parte da água aplicada volta ao curso d'água ou passa a fazer parte dos aq \acute{u} iferos subjacentes; \acute{e} a água de ret \acute{o} rno dos projetos de irrigação. Nas zonas s \acute{e} cas essa água pode ter consider \acute{a} vel concentração salina podendo ser prejudicial seu uso a ju-
sante se n ã o f \acute{o} r poss i vel a diluição da mineralização. Nas cidades e nas ind \acute{u} strias grande parte do uso pode ser n ã o consumptivo; mas a água usada \acute{e} em geral polu \acute{i} da e merece atenç \acute{o} o especial.

A discuss \acute{o} o acima talvez tenha sido suficiente para indicar a necessidade de invent \acute{a} rios adequados das caracter \acute{i} sticas da utilizaç \acute{o} o da água na Grande Regi \acute{o} o Nordeste.

III

ANÁLISES E INTERPRETAÇÕES HIDROLÓGICAS

J \acute{a} se foi o tempo em que o que valia era a "aç \acute{o} o", n ã o importando que a mesma f \acute{o} sse baseada em fatos ou em fantasias. Nos dias de hoje, admite-se que a situaç \acute{o} o seja diferente; as decis \acute{o} es t \acute{e} m que ser tomadas dentro de bitolas estreitas devendo satisfazer a padr \acute{o} es t \acute{e} cnico e econ \acute{o} micos em geral bem definidos.

Sob o ponto de vista moderno, seja qual f \acute{o} r o setor de estudo, a coleta de dados b \acute{a} sicos, sua an \acute{a} lise e interpretaç \acute{o} o s ã o imprescind \acute{i} veis para chegar a decis \acute{o} es racionais e inteligentes; o simples uso do sentimento ou o empirismo n ã o podem mais existir.

Num planejamento em que se adotem s o mente m \acute{e} todos arbitr \acute{a} rios, pode-se chegar a eclipsar completamente a necessidade e utilidade das informaç \acute{o} es factuais b \acute{a} sicas.

Mas existe tamb \acute{e} m o extremo oposto que consiste em apenas juntar dados e mais dados para buscar em cada problema os seus m \acute{i} nimos

pormenores. O verdadeiro caminho, porém, consiste num equilíbrio razoável entre a coleta de dados básicos e a análise, a pesquisa e a interpretação dos mesmos.

No campo dos recursos de água, a análise envolve o processamento, a preparação e certos graus de manipulação estatístico-hidrológica dos dados básicos; ela deve ser efetuada sistematicamente para servir aos seguintes fins:

- 1) Ser usada, na medida das necessidades, em estudos interpretativos necessários a projetos específicos;
- 2) Ser usada em inventários dos recursos de água das bacias, regiões ou estados;
- 3) Para poder avaliar, continuamente, a exatidão e a adequabilidade dos dados a fim de evitar que se percam longos períodos de observação (como é comum no Brasil) por defeitos nos métodos usados na coleta dos mesmos;
- 4) Para determinar a necessidade de expansão, mudança de regime de operação, ou redução do sistema de coleta de dados;
- 5) Para poder publicar ou tornar disponíveis os conhecimentos básicos, em forma fácil de serem utilizados por um maior número possível de pessoas interessadas.

Como já ficou demonstrado, há, no Nordeste, uma grande deficiência (em qualidade, quantidade e tipos) de dados básicos hidrológicos. Mas é indubitável também, que os campos para pesquisas e interpretações encontram-se ainda quase virgens.

Em comparação com a quantidade de obras e trabalhos relacionados com a água executados, é insignificante o número de estudos hidrológicos analíticos e interpretativos realizados, principalmente nos últimos 20 anos, sôbre os recursos de água superficiais e subterrâneas da Grande Região Nordeste.

Com referência à hidrologia das águas subterrâneas à exceção de alguns estudos preliminares feitos recentemente (a partir de 1955), pelos técnicos da Missão da UNESCO em Recife, do trabalho sôbre o Piauí, *Boletim* n.º 156 do DNPM, já citado, e de uma pequena série de notas e monografias publicadas pela antiga IFOCS, pode-se dizer que nada mais existe que pudesse ser considerado como contribuição analítica e interpretativa. Mesmo nesse trabalho, o que existe de quantitativo, sôbre a água subterrânea propriamente, é muito pouco, pois os dados básicos disponíveis sôbre essa fase do ciclo hidrológico são reduzidíssimos.

Com relação ao regime fluvial, êste relatório não poderia deixar de conter uma discussão sumária sôbre os métodos adotados no DNOCS para a determinação das capacidades dos açudes.

O estudo "Possibilidades das Bacias Hidrográficas" publicado no *Boletim* do IFOCS, vol. 12, n.º 1, de 1939, de autoria do Eng.º F. G. AGUIAR, descreve o método em geral adotado, mesmo atualmente, para a determinação das capacidades dos açudes. Esse método é, a nosso ver, completamente inaceitável.

Não serão apresentados neste informe todos os pormenores sobre o mesmo; o leitor que tiver interesse, poderá recorrer à fonte citada. Em poucas palavras, o método consiste na aplicação das seguintes fórmulas para determinar os "Volumes Acumuláveis" V_a e as "Disponibilidades Anuais" V_d :

$$V_a = H_M \times R\% \times S \times U$$

$$\text{e } V_d = H_m \times R\% \times S \times U, \text{ onde}$$

S é a área da bacia fluvial, H_M é a chuva anual média das máximas; H_m é a chuva anual média das mínimas; $R\%$ é o rendimento superficial, média da bacia, em porcentagem da chuva anual considerada; e, U é um coeficiente de rendimento médio.

Com referência à obtenção dos valores de H_M e H_m , o autor do método sugere que se usem dados de chuva de 11 anos (?). O valor de $R\%$ obtém-se de um gráfico (fornecido no *Boletim* citado) que dá a relação entre o rendimento superficial R e a chuva anual. O coeficiente U depende do tipo da bacia fluvial e, uma vez conhecida esta, pode ser obtido da seguinte tabela, também reproduzida do trabalho "Possibilidades das Bacias Hidrográficas" do Eng.º F. G. AGUIAR:

Bacia	Tipo	U
Pequena; íngreme; rochosa	1	1,30-1,40
Bem acidentada, sem depressões evaporativas	2	1,2
Média	3	1,0
Ligeiramente acidentada	4	0,8
Ligeiramente acidentada, apresentando depressões evap.	5	0,70
Quase plana, terreno argiloso	6	0,65
Quase plana, terreno variável ou ordinário	7	0,60
Quase plana, terreno arenoso	8	0,50

Dêsse mesmo artigo, é tirado o seguinte exemplo de aplicação do método, referente à bacia do rio Jaguaribe em Orós:

1.º — *Dados* (períodos de 1915-1923)

S	Área de captação = 25 100 km ²
H	Chuva média absoluta = 860 mm
H_M	Chuva média das máximas = 1 050 mm
H_m	Chuva média das mínimas = 635 mm
U	Coeficiente de rendimento médio = 0,70 (tipo 5)

Rendimento em milímetros (fig. 2)

Da chuva anual de 1 050 mm : $H_M R\% = 170$ mm

Da chuva anual de 635 mm : $H_m R\% = 40$ mm

2.º Possibilidades:

a) Volume acumulável:

$$V_a = 170 \times 0,70 \times 25\ 100 = 3\ 000 \times 10^6 \text{ m}^3$$

b) Disponibilidade anual:

$$V_d = 40 \times 0,70 \times 25\ 100 = 700 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Nem sempre, porém, o método é aplicado exatamente dessa forma. Muitas vezes (talvez na maior parte dos casos) ao invés de usar os valores H_M e H_m , usam a chuva média anual (tomada às vezes de mapas pluviométricos) e determinam, aplicando os coeficientes R e U, um “volume afluente médio”. A capacidade do açude é em geral tomada igual a duas vezes êsse volume, de acôrdo com um “critério trienal” que considera a “repleção em três anos, sendo um chuvoso, outro médio e o terceiro sêco”.

Para o dimensionamento dos extravasadores das barragens é também adotado em geral um método do Eng.º FRANCISCO GONÇALVES DE AGUIAR, descrito no *Boletim* da IFOCS, vol. 13 n.º 1, de 1940, num artigo intitulado “Dedução de uma Fôrmla Racional para o Cálculo da Descarga Máxima dos Rios”. Para a determinação de descargas máximas, por êsse método, usam-se as fórmulas:

$$A) \quad Q_o = \frac{1\ 150 \times S}{LC (120 + JKLC)}, \text{ para a descarga máxima ordinária (?)}$$

$$e B) \quad Q_s = \frac{1\ 150 \times S}{LC (120 + KLC)}, \text{ para a descarga máxima secular (?)}$$

onde S é a área da bacia em km²; L é a “linha de fundo” da bacia, medida em mapas ou tomada igual a 3,65 S’ (fig. 1 do artigo citado); J é um “coeficiente pluviométrico” tomado igual a 3,65. K é um “coeficiente de rendimento” e C é um “coeficiente de velocidade”, ambos obtidos de uma tabela fornecida pelo Eng.º AGUIAR que dá os valores dêsses coeficientes em função do tipo da bacia, como segue:

Coeficientes		
Tipo	K	C
1	0,10	0,85
2	0,15	0,95
3	0,20	1,00
4	0,30	1,05
5	0,40	1,15
6	0,65	1,30
7	1,00	1,45
8	2,50	1,60

A descrição de cada tipo é a mesma já fornecida na página anterior.

A seguir apresenta-se um exemplo tirado desse trabalho, correspondente ao rio Jaguaribe em Orós. A bacia foi classificada como pertencente ao tipo 5. São os seguintes os dados:

S = Área de captação = 25 100 km²

L = Linha de fundo : 350 km

C = Coeficiente de velocidade média = 1,15 (tabela acima)

K = Coeficiente de deflúvio máximo = 0,40 (tabela acima)

Com esses ingredientes, foram aplicadas as fórmulas A) e B) dadas acima, obtendo-se:

Descarga máxima, "ordinária":

$$Q_o = 2\,100 \text{ m}^3/\text{s}$$

Descarga máxima, "secular":

$$Q_s = 5\,100 \text{ m}^3/\text{s}$$

Foram apresentados resumidamente, os métodos usados no Nordeste, em geral, para a determinação das características de armazenamento dos açudes e das descargas máximas para o dimensionamento dos vertedores.

A idéia fundamental desses métodos consiste em fixar relações genéricas simples entre certos índices de chuva anual e algumas características das bacias fluviais para determinar: a descarga média anual disponível para o uso; o volume de armazenamento em um açude necessário para manter essa disponibilidade; as descargas máximas de enchente (enchentes "ordinárias" e "seculares"); outras características destas enchentes, etc.

E a idéia é realmente tentadora; se fôsse possível estabelecer fórmulas e tabelas, aplicáveis a quaisquer bacias, que, com apenas um mapa topográfico, um atlas pluviométrico e alguns conhecimentos qualitativos da bacia fluvial (no caso em tese para saber, por exemplo, se a bacia é ligeiramente acidentada, ou "média", ou quase plana), pudessem ser aplicados para determinar praticamente tôdas as características do regime fluvial e ainda mais a capacidade do reservatório necessário para regularizar esse regime, ter-se-ia conseguido atingir o que, pelo menos até agora, é considerado uma quimera.

Com a evolução da ciência hidrológica nestes últimos 25 anos adquiriu-se notável conhecimento das relações entre as características físicas, as chuvas e o funcionamento das bacias fluviais. Muitas relações e noções puramente empíricas que havia sobre o regime fluvial, foram deixadas de lado, por não representarem a realidade. Novos conceitos racionais eliminaram e vêm substituindo velhas idéias.

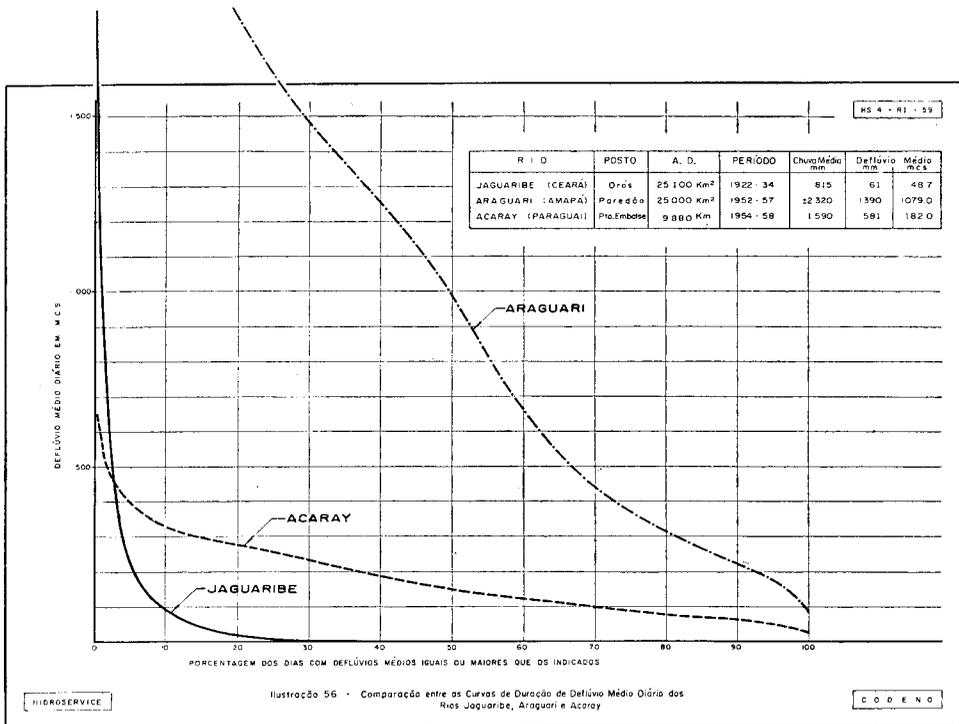
A procura de relações estatístico-matemáticas simples para definir certas características do regime dos rios continua sendo motivo de intensa preocupação por parte de todos aqueles que lidam com os problemas hidrológicos.

É ponto pacífico, porém, o fato de que a observação direta das disponibilidades históricas da água constitui a única base adequada para programar regionalmente o uso e o contróle desse recurso natural.

Para demonstrar algumas das utilidades dos dados históricos e comparar os resultados de uma análise e interpretação destes dados com as conclusões produzidas por uma simples aplicação de fórmula, apresentam-se a seguir algumas considerações sôbre a regularização do regime de um rio por meio de um reservatório.

Tomar-se-á, para exemplificar, o caso do rio Jaguaribe em Orós. Os dados utilizados foram em parte observados diretamente e em parte obtidos por correlação com dados de chuva. Não será discutida a maneira como foram coletados os dados nem a qualidade dos mesmos porquanto o que se tem em mente é apresentar as idéias básicas do problema e não resultados quantitativos; por isso mesmo, só foram usados dados anuais nos estudos de operação do reservatório.

A ilustração 56 dá uma boa idéia da variabilidade dos deflúvios médios diários do rio Jaguaribe e permite sua comparação com as de dois rios perenes de regiões úmidas, o Araguari no território federal do Amapá e o Acarai, na República do Paraguai.

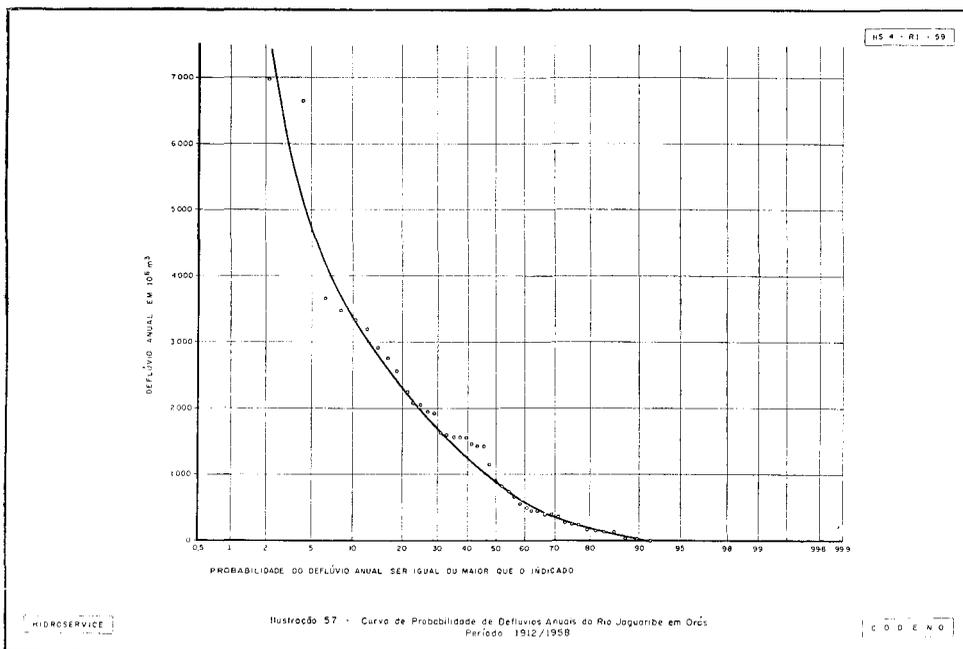


Pela curva referente ao Jaguaribe, observa-se que durante 65% dos dias do período de 1922 a 1934, a descarga desse rio foi nula; em 20% do tempo foi igual ou maior que 20 m³/s; e em 10% do tempo igualou ou excedeu cerca de 90 m³/s. O deflúvio médio nesse período foi de

cêrca de $49 \text{ m}^3/\text{s}$ tendo sido igualado ou excedido durante cêrca de 14% do tempo. O deflúvio médio do rio Araguari foi durante o período 1952/57 igualado ou excedido em 47% do tempo, enquanto o do Acaraí o foi em cêrca de 42% dos dias do período de observações.

A curva integral de freqüência mostrada na ilustração 57 fornece o mesmo tipo de informações, porém referente aos deflúvios anuais do rio Jaguaribe, observados e estimados, correspondentes ao período de 1912 a 1958. Vê-se, por exemplo, que em cêrca de 8% dos anos o rio não apresentou escoamento. Em 50% dos anos o deflúvio total anual é igual ou maior que $900 \times 10^6 \text{ m}^3$. Pode-se também admitir a seguinte interpretação: há uma probabilidade de 50% para que o deflúvio anual, num dado ano, seja igual ou maior que $900 \times 10^6 \text{ m}^3$.

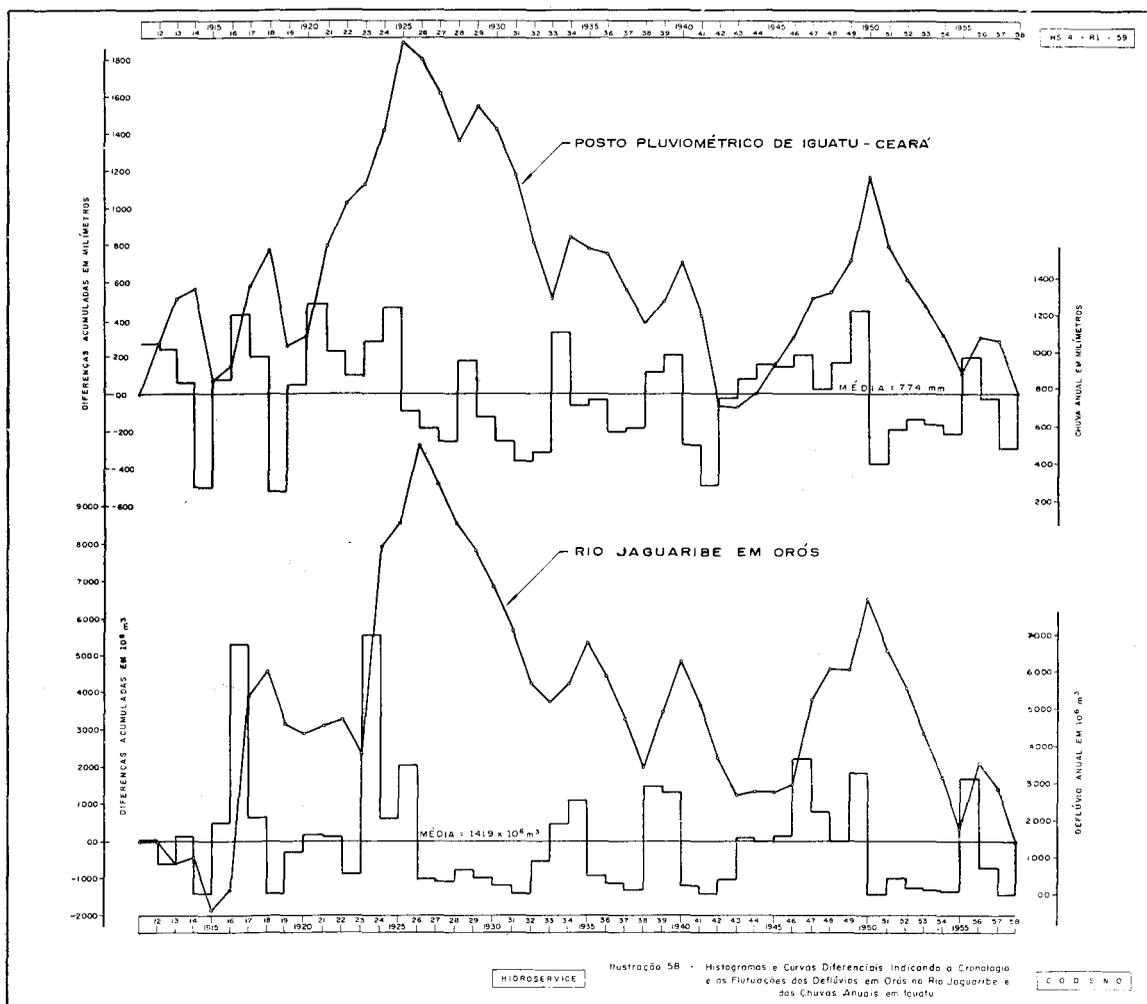
A ilustração 56 indica o grau de variabilidade e a probabilidade de disponibilidade de deflúvio das várias magnitudes através dos dias dos anos considerados, enquanto a ilustração 57 mostra o mesmo em relação aos totais anuais.



As curvas de duração, porém, não indicam a ordem cronológica de ocorrência dos deflúvios nem as flutuações observadas na produção de água das bacias. Para isso seria necessário o traçado de hidrogramas, ou de curvas de deflúvios acumulados, ou de histogramas e curvas diferenciais acumulativas como as mostradas na ilustração 58, referentes aos deflúvios anuais do rio Jaguaribe e às chuvas anuais do Iguatu.

Estas curvas diferenciais indicam as tendências e persistências de períodos deficientes ou excessivos em relação à média, de chuvas e

deflúvios. Como se nota nessa ilustração, a tendência geral do período de 1912 a 1926 é positiva, isto é, em média os deflúvios (ou as chuvas) foram maiores que a normal do período, embora, nalguns anos, os deflúvios tenham sido deficientes. A tendência geral de 1927 a 1958 é negativa, observando-se porém uma importante reversão a partir de 1946 até 1950; destacam-se nestes últimos 32 anos, dois períodos críticos de deficiências: um que se estende de 1927 a 1946, apresentando duas reversões transitórias; e outro que se inicia em 1951 e se estende até o fim do período analisado.



No período de 1912 a 1958, o deflúvio médio estimado do rio Jaguaribe em Orós foi de cerca de $45 \text{ m}^3/\text{s}$ que corresponde a um volume anual de aproximadamente $1420 \times 10^6 \text{ m}^3$. Pela ilustração 57 se vê que esse deflúvio foi igualado ou excedido em apenas cerca de 36% dos 47 anos de 1912 a 1958.

Para poder utilizar continuamente a água dêsse rio é preciso estabelecer uma regularização de suas descargas, isto é, deve-se armazenar a água nos meses e anos em que a produção do rio é maior que a demanda para usar nos períodos e anos em que o inverso ocorre. Se não fôr efetuada essa regularização, a economia dependente da água que porventura se desenvolver estará sujeita à grande variabilidade de disponibilidade desta.

A regularização é efetuada por meio de reservatórios com capacidades de armazenamento suficientes para suprir as demandas para que foram projetados de modo que a probabilidade de esgotamento seja a menor possível.

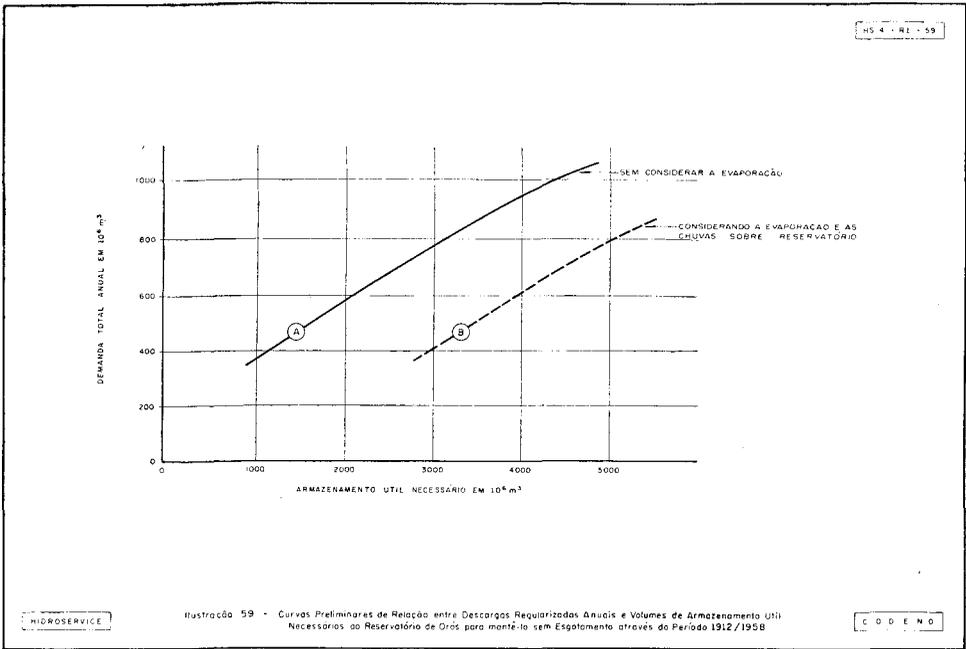
As capacidades de armazenamento necessárias dependem das características e magnitudes das demandas, das perdas por evaporação e outras no reservatório e das prováveis seqüências cronológicas de produção do rio, dependem também da freqüência com que se permite que haja *deficits* na disponibilidade de água.

As demandas e as perdas podem ser avaliadas com suficiente aproximação; num projeto de irrigação, por exemplo, uma vez conhecidas as áreas a irrigar, as culturas, rotações e sua distribuição, os métodos de irrigação e adução da água, é possível estimar as demandas do projeto e suas características partindo de dados que se devem ter como de uso consumptivo, etc.

As seqüências cronológicas das aflúências ao futuro reservatório, são estimadas através de análises interpretativas de dados históricos, algumas vêzes modificados supondo que os mesmos constituem uma amostra do que pode vir a ocorrer no futuro. Pode-se supor, por exemplo, que os dados anuais do rio Jaguaribe de 1912 a 1958 constituem uma representação das condições futuras.

A curva A da ilustração 59 fornece uma indicação das capacidades de armazenamento úteis necessárias para manter diversas demandas sem que o açude em Orós se esgote num período de 46 anos, como o de 1912 a 1958. Para a determinação dos valores dessa curva não foram consideradas as perdas do reservatório por evaporação e vazamento (filtração).

Para indicar a provável magnitude do efeito da evaporação foi adotado o valor de 2 200 milímetros anuais descontando-se, porém, dêste valor, as chuvas de cada ano, observadas em Iguatu. A curva B da ilustração 59 representa uma relação aproximada entre demandas e armazenamentos úteis necessários, levando em conta as perdas por evaporação. Essa curva mostra, por exemplo, que para manter uma demanda contínua de 600×10^6 m³ por ano em Orós, sem que o reservatório se esgote no período 1912/58, há necessidade de um volume útil de armazenamento de cerca de $4\,000 \times 10^6$ m³. É importante mencionar que, se as perdas forem maiores que as supostas, êsse valor poderá ser consideravelmente mais alto.



É interessante verificar, com os dados de 1912 a 1958, quantos anos teriam sido necessários para encher um reservatório de 4 bilhões de capacidade em Orós, supondo que o mesmo tivesse sido terminado no início de um dos anos de 1912, 1917, 1918, 1923, 1925, 1927, 1936, 1941, 1947, 1949 e 1951, e que as únicas descargas até o enchimento fôsem as devidas às perdas evaporativas. Na tabela que segue apresenta-se o resumo de um estudo efetuado neste sentido.

TABELA 9
Ano de início do enchimento

ANO	1.º ano	2.º ano	3.º ano	4.º ano	5.º ano	6.º ano	7.º ano	8.º ano	9.º ano
1912	1 361	1 957	3 169	2 638	4 000	—	—	—	—
1917	4 000	—	—	—	—	—	—	—	—
1918	1 955	1 585	2 454	3 789	4 000	—	—	—	—
1923	110	4 000	—	—	—	—	—	—	—
1925	1 961	4 000	—	—	—	—	—	—	—
1927	349	610	1 161	1 394	1 372	1 145	1 787	3 419	4 000
1936	444	606	610	3 273	4 000	—	—	—	—
1941	217	169	513	1 907	3 021	4 000	—	—	—
1947	3 471	4 000	—	—	—	—	—	—	—
1949	1 331	4 000	—	—	—	—	—	—	—
1951	0	388	470	526	553	3 519	3 856	3 392	—

O volume de $4\,000 \times 10^6 \text{ m}^3$ corresponde a 2,8 vezes o volume médio anual. Pela ilustração 57 nota-se que, embora seja possível o enchimento do reservatório em um ano, as probabilidades de que o deflúvio anual seja bem maior que $4\,000 \times 10^6 \text{ m}^3$ são pequenas. Em apenas 26% dos 47 anos, o deflúvio anual foi maior que $2\,000 \times 10^6 \text{ m}^3$.

A tabela acima indica, por exemplo, que se o reservatório tivesse sido terminado em dezembro de 1950, até 1958 não se teria enchido, mesmo sem ser utilizado. Nove anos teriam sido necessários a partir de 1927 para enchê-lo. Por outro lado, um açude terminado em princípio de 1917 ter-se-ia enchido no mesmo ano, ou levaria apenas 2 anos, se começasse o enchimento em 1923, 1925, 1947 ou 1949. É evidente que outras combinações de anos poderiam ser consideradas do mesmo modo que as apresentadas na tabela acima.

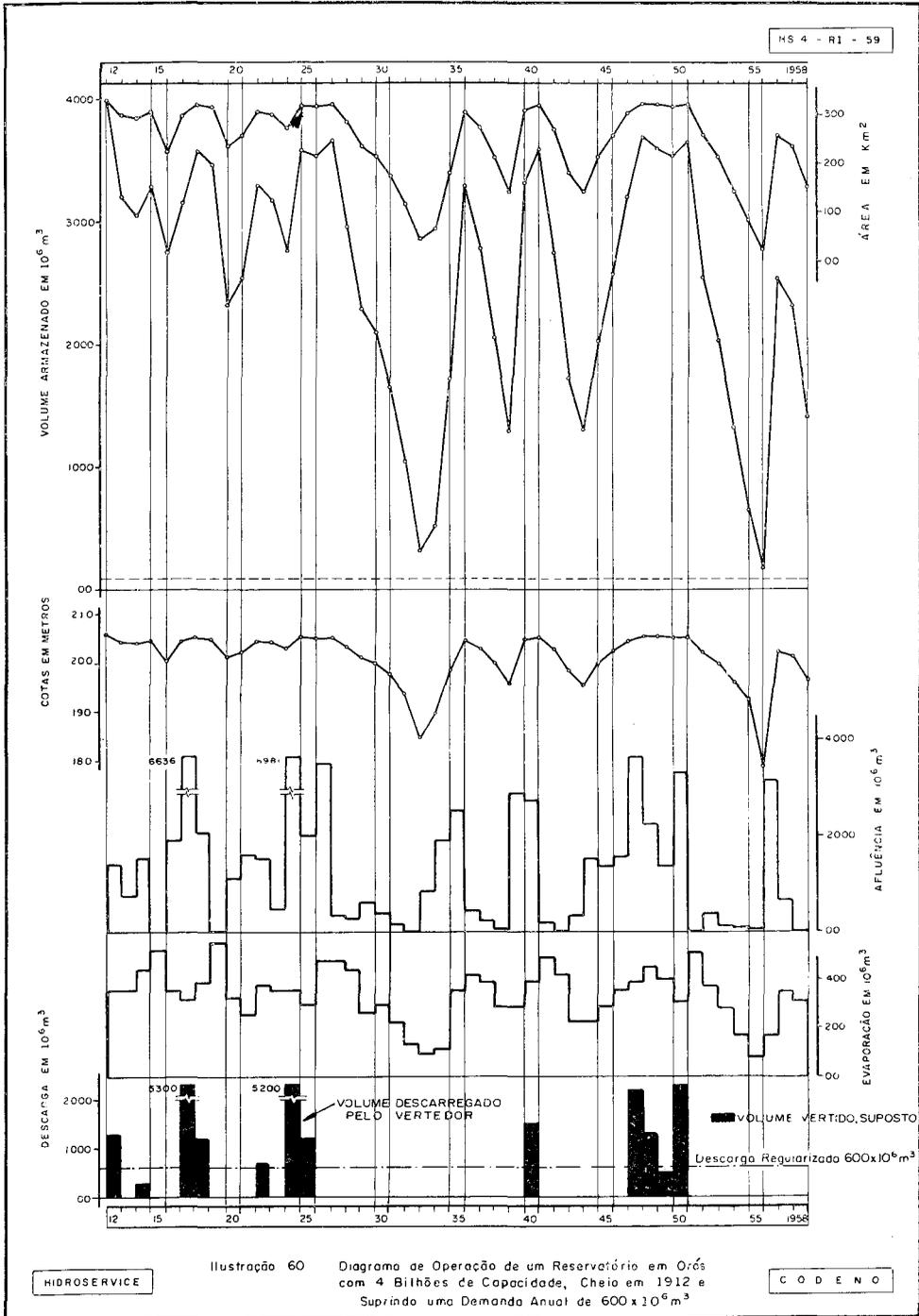
Não é possível prever com antecedência, quanto tempo levaria para encher determinado açude. É possível, porém, desde que se tenham dados hidrológicos de observação histórica, estimarem-se as probabilidades de enchimento. Trata-se de considerações bastante importantes a serem tidas em conta nos estudos de utilização da água do Nordeste. É preciso deixar bem claro, porém, que não é imprescindível esperar o açude encher para começar a utilização da água; pode-se usá-la, tendo em vista, porém, que a probabilidade de esgotamento é tanto maior quanto maior fôr a demanda em relação à capacidade disponível e à capacidade máxima necessária para mantê-la sem esvaziamento através de um dado período.

É interessante estudar as características de operação de um açude em Orós, com 4 bilhões de capacidade de armazenamento, suposto cheio no início de 1912. A ilustração 60 apresenta o caso de uma demanda anual de 600×10^6 m³. Nessa figura apresentam-se diagramas de variação de área, cotas, volume armazenado, evaporação, volume extravasado e descarga regularizada. Admitindo como verdadeiras as condições supostas para o estudo, verifica-se que o reservatório atravessa o período 1912/58 sem esgotamento, mantendo a descarga média de apenas cerca de 19 m³/s.

As ilustrações 61 e 62 apresentam as mesmas informações, para os casos das demandas de 700×10^6 m³ e 900×10^6 m³, respectivamente. Nestes casos, ocorrem *deficits*, em 2 anos no primeiro caso e em 6 anos no outro. As magnitudes desses *deficits* estão indicadas nessas ilustrações. Vale a pena estudar se há vantagens em utilizar mais água em detrimento de estabilidade de sua disponibilidade.

Tôdas essas considerações referentes ao rio Jaguaribe em Orós, foram efetuadas com o único intuito de dar algumas indicações sobre a aplicabilidade dos dados hidrológicos. Nos exemplos apresentados, com exceção de um, foram usados dados anuais embora em geral é mais adequado trabalhar com dados de período mais curto como por exemplo, um mês.

Há, indubitavelmente, necessidade de mais e melhores dados básicos hidrológicos no Nordeste do Brasil. Há também, no entanto, necessidade urgente de analisar e interpretar, de acordo com os modernos preceitos da hidrologia moderna, os dados já existentes e os que forem sendo coletados, para que se possa melhor conhecer as características dos recursos de água da região.



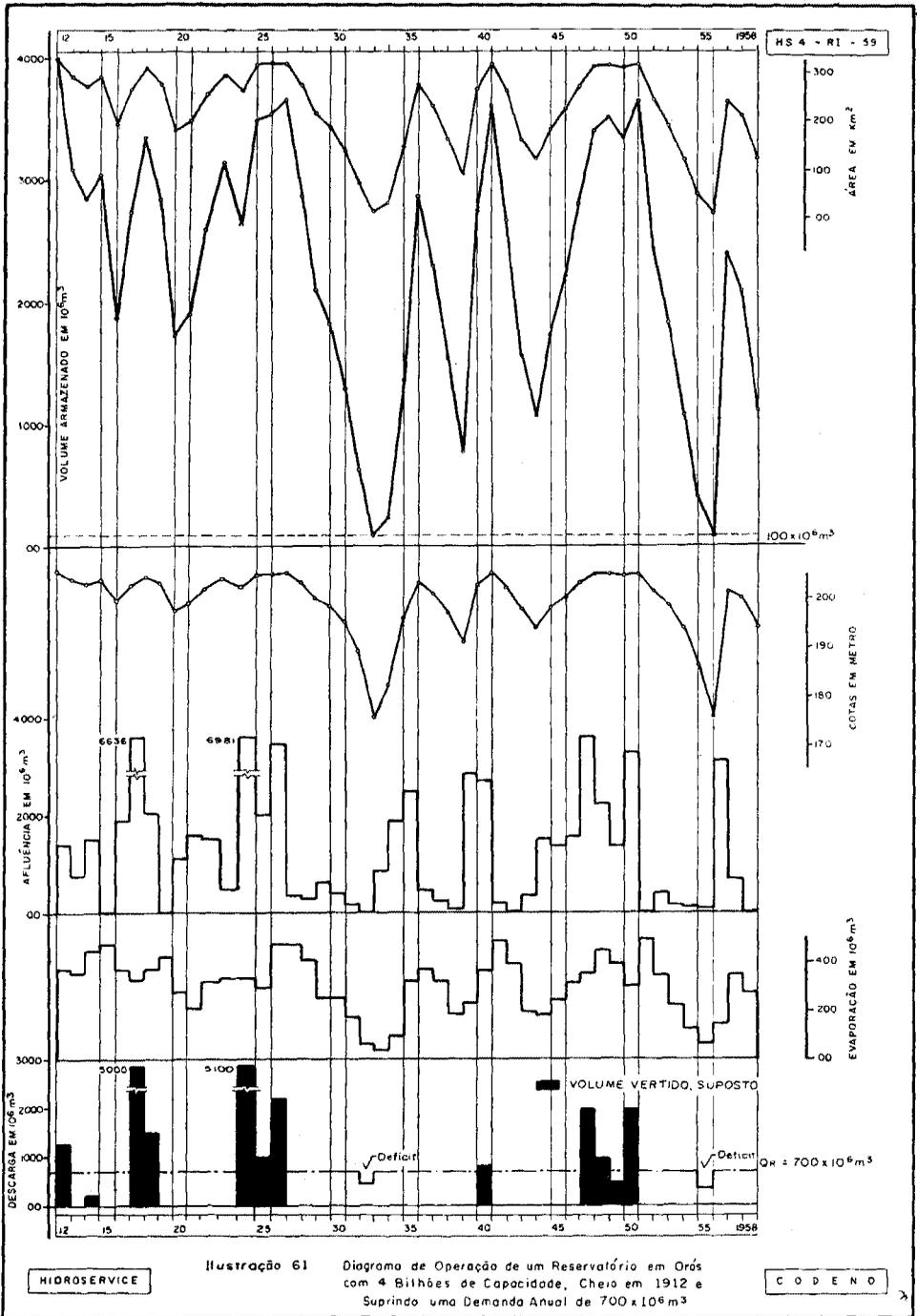
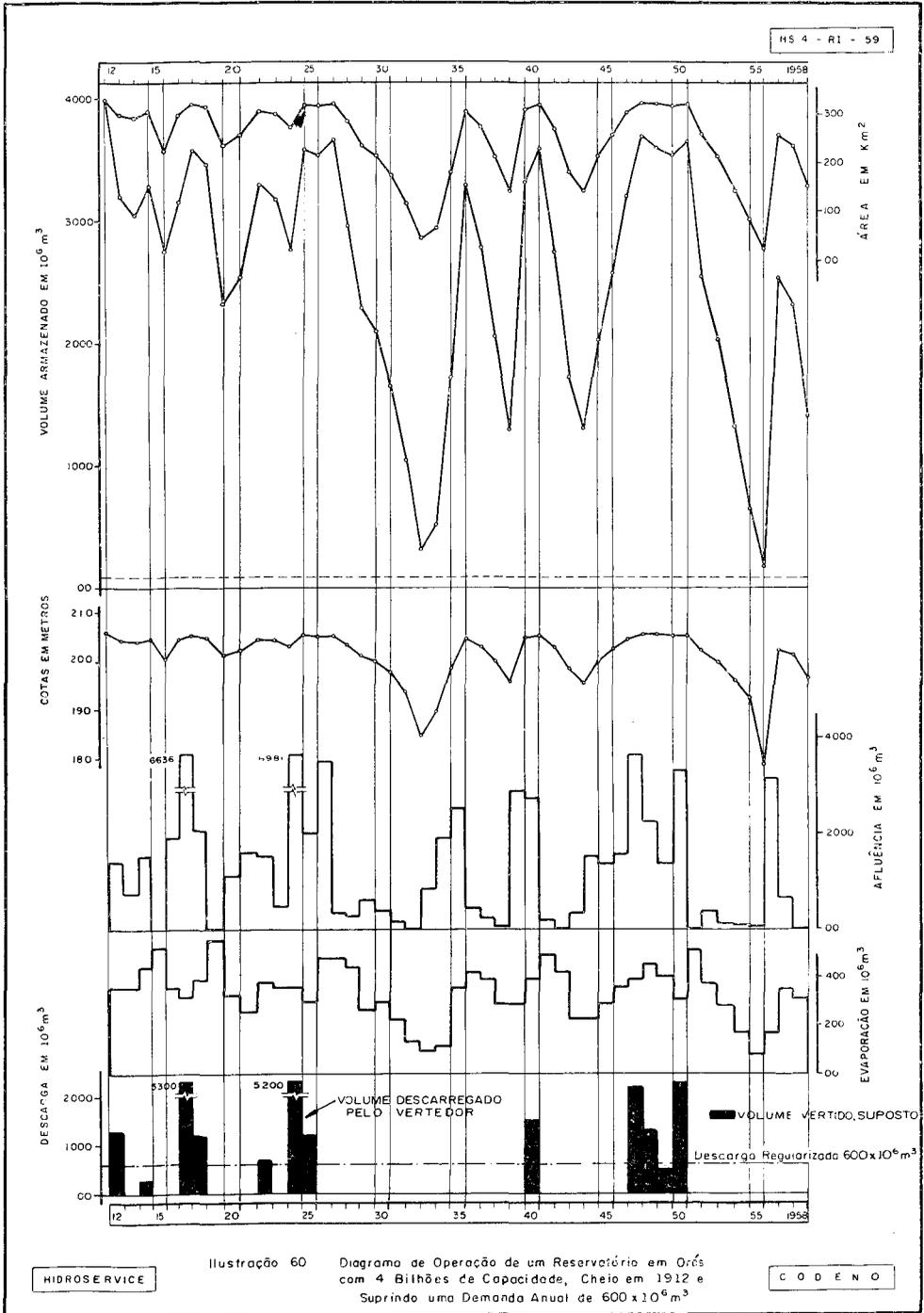


Ilustração 61

Diagrama de Operação de um Reservatório em Orós com 4 Bilhões de Capacidade, Cheio em 1912 e Suprindo uma Demanda Anual de $700 \times 10^6 \text{ m}^3$

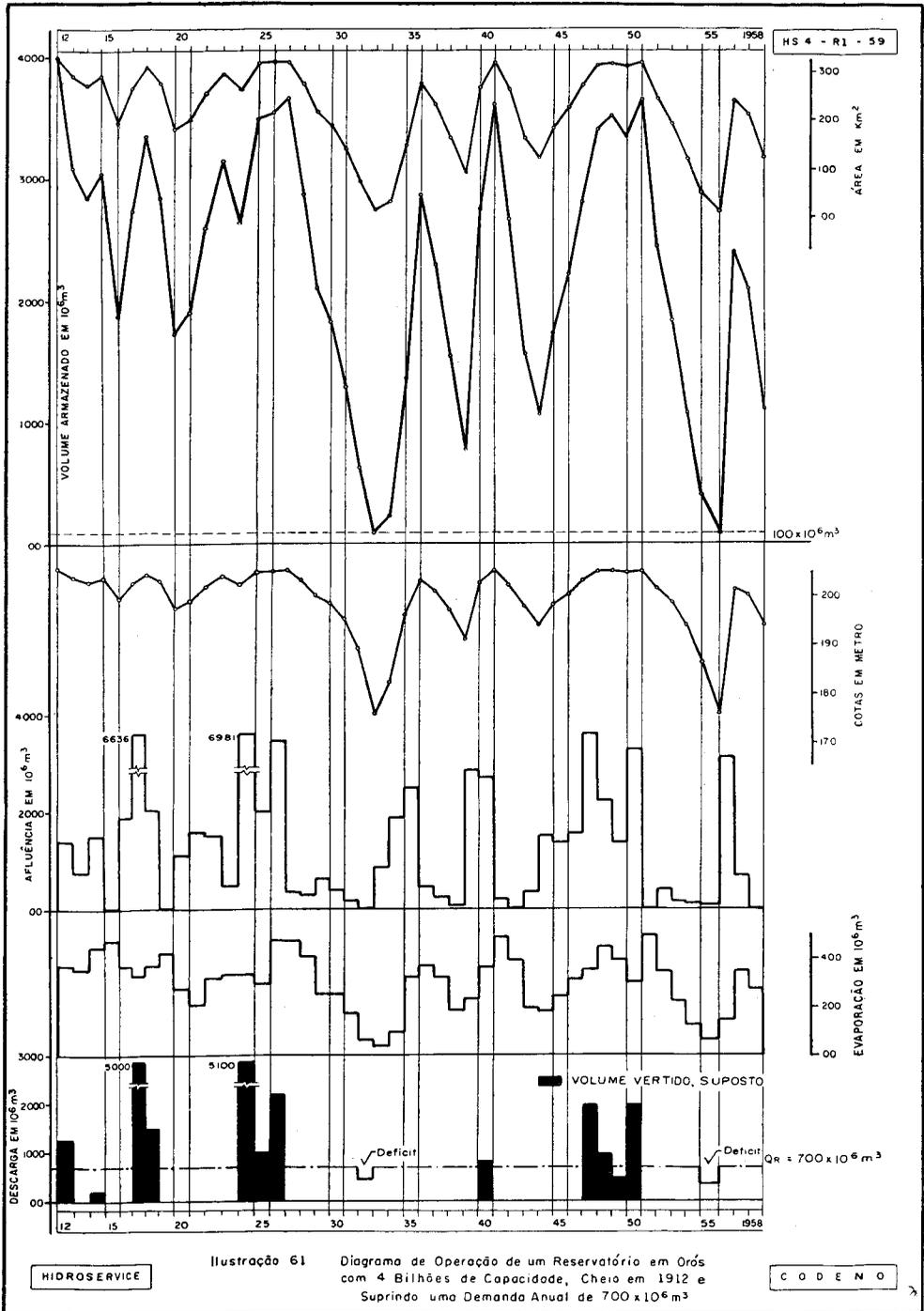


HIDROSERVICE

Ilustração 60

Diagrama de Operação de um Reservatório em Orés com 4 Bilhões de Capacidade, Cheio em 1912 e Suprindo uma Demanda Anual de $600 \times 10^6 \text{ m}^3$

C O D E N O



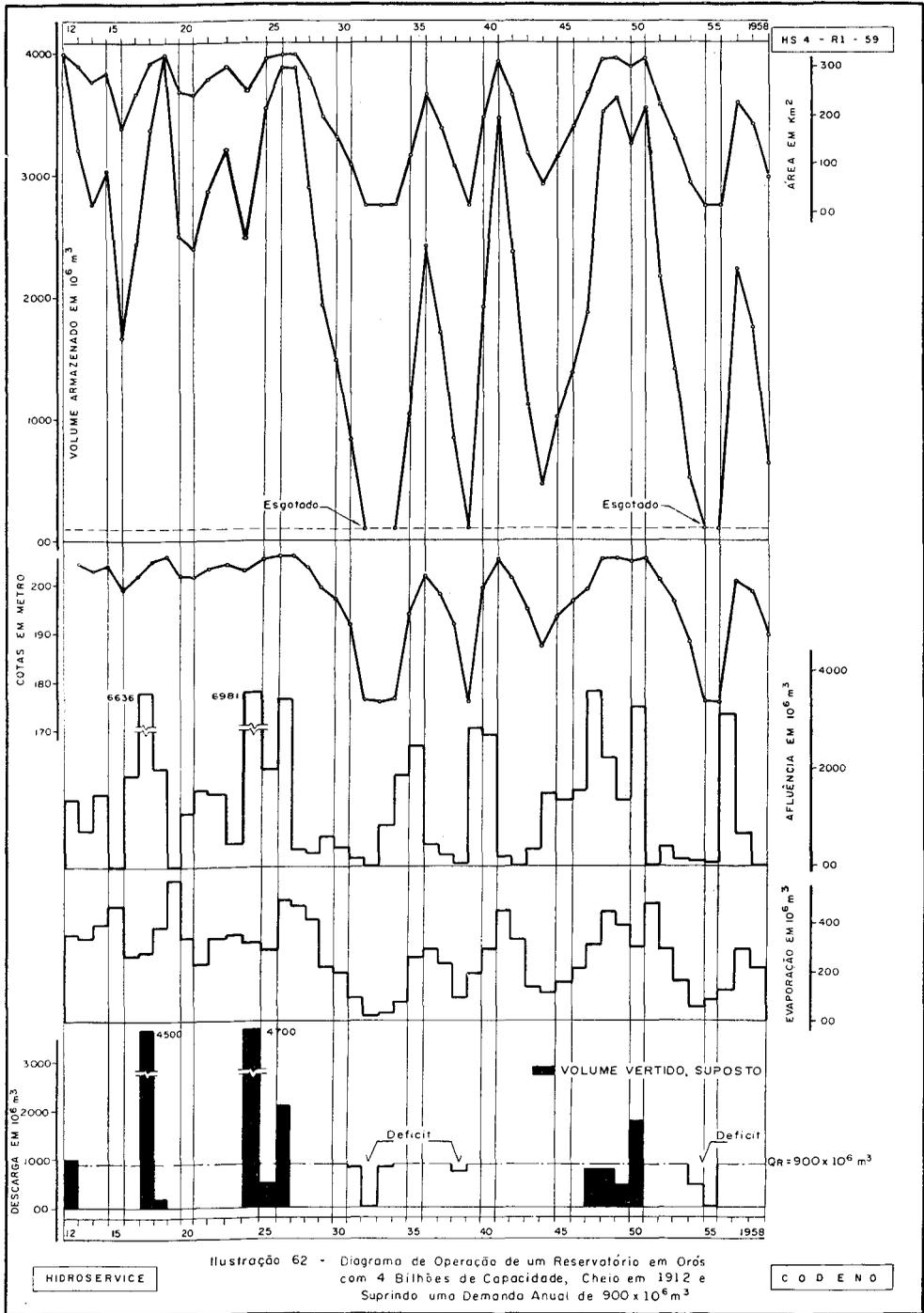


Ilustração 62 - Diagrama de Operação de um Reservatório em Ors com 4 Bilhões de Capacidade, Cheio em 1912 e Suprindo uma Demanda Anual de 900 x 10⁶ m³

IV

AÇUDES NO POLÍGONO DAS SÊCAS

Há um grande número de obras hidráulicas na região. Além do DNOCS, vários organismos federais, estaduais e privados têm levado a cabo obras relacionadas com o uso e o controle da água, destacando-se o DNOCS, a CVSF, o DNPV do Ministério da Agricultura, a CHESF, o SESP, etc.

Não se cogitou para o presente trabalho efetuar um levantamento completo de todas as obras já executadas por cada um desses órgãos. Procurou-se apenas verificar a característica dos trabalhos executados e o campo de ação normal de cada um deles. Evidentemente o DNOCS, por ser um órgão criado especificamente para tratar dos problemas da região, apresenta o maior volume de obras ali distribuídas.

De acordo com as informações disponíveis, esse Departamento já construiu ou está construindo, um total de 584 açudes, dos quais 149 são açudes públicos e 435 açudes particulares.

A Tabela 10 apresenta um resumo da distribuição por estados dos açudes públicos, de acordo com sua capacidade de armazenamento.

TABELA 10

Distribuição por estados dos açudes públicos de acordo com a sua capacidade de armazenamento

ESTADO	Até 3 hm ³	De 3 a 10	De 10 a 50	De 50 a 200	De 200 a 500	Maior de 500	Total
Piauí.....	5 *	3	2	2	—	—	12
Ceará.....	17 *	9	9	10	2	2	49
Rio Grande do Norte.....	17 *	16	11	2	1	—	47
Paraná.....	9 *	4	11	—	1	3	28
Pernambuco.....	6 *	2	8	1	1	1	19
Alagoas.....	4	1	—	—	—	—	5
Sergipe.....	3	—	—	—	—	—	3
Bahia.....	8 *	8	6	3	1	—	26
TOTAL.....	69	43	47	18	6	6	189

* FONTES: — Obras Contra as Secas, Eng. VINÍCIUS BERREDO, Rio, 1950.

Dos 149 açudes públicos, apenas 12 (8%) têm capacidade de armazenamento de mais de 200 milhões de metros cúbicos; nestes 12 incluem-se o Orós e o Banabuiú, que estão ainda sendo construídos.

Cabe aqui, fazer uma ressalva importante: é preciso não deixar de lado o fato de que “capacidade de armazenamento” não significa volume de água disponível para o uso. No exemplo apresentado sobre o reservatório de Orós, por exemplo, verifica-se que, embora sua capacidade total seja de 4 bilhões de metros cúbicos, o volume útil disponível

seria de 600 milhões, mais ou menos, dependendo do critério a adotar para utilização da água.

Sòmente 12 dêsses açudes são hoje usados pelo Serviço Agro-Industrial para a irrigação *, contando, porém, com rêdes de canais “ora muito reduzidas, ora incompletas, nos locais de maiores possibilidades irrigatórias”. A área irrigada total em 1956 foi de 4 776 hectares *. “Em 19 açudes supervisionados pelo SAI vivem 57 000 pessoas, em dependência direta ou a êles fortemente vinculadas”, “A valorização das terras irrigadas pelos açudes tem sido espantosa; o hectare tem passado de 1 a 3 mil para 10 a 30 mil cruzeiros”.

Além da irrigação a jusante, tem-se verificado o desenvolvimento, em vários açudes, de cultivo nas vazantes e o uso de faixas sêcas em tôrno dêles. As vazantes e as terras adjacentes aos açudes são loteadas e arrendadas **.

Dos demais açudes públicos dispõe-se de muito pouca informação com respeito às características de sua exploração. Sabe-se, porém, que são muitos os açudes praticamente sem função econômica bem definida.

A Tabela 11 apresenta a distribuição por estados dos açudes construídos sob o regime de cooperação, pelo DNOCS.

TABELA 11

Distribuição por estados dos açudes particulares construídos pelo regime de cooperação de acôrdo com sua capacidade de armazenamento

ESTADO	Até 0,5 hm ³	De 0,5 até 1	De 1 a 3	De 3 a 10	Maior de 10	Total
Piauí.....	—	—	—	—	—	—
Ceará.....	14	84	158	63	4	323
Rio Grande do Norte.....	7	14	20	4	—	45
P Paraíba.....	3	23	9	3	1	39
Pernambuco.....	—	4	5	1	1	11
Alagoas.....	—	—	—	—	—	—
Sergipe.....	—	1	—	—	—	1
Bahia.....	4	5	6	1	—	16
TOTAL.....	28	131	198	72	6	435

A Tabela 12 permite comparar a quantidade total de açudes atualmente existentes ou em construção com os que havia em 1948. Os valores de 1948 foram tomados do trabalho *Obras Contra as Sêcas* do Eng.º VINICIUS BERREDO, DNOCS, Rio, 1950.

* Eng.º Agt. PAULO DE BRITO GUERRA — “Irrigação no Nordeste — Histórico, Realizações, Aspectos Atuais e Possibilidades”. Trabalho não publicado, apresentado na 1.ª Reunião de Técnicos de Irrigação do CETI, dezembro de 1957.

** Veja-se para maiores pormenores: *Solo e Água no Polígono das Sêcas* por J. G. DUQUE; Fortaleza, 1953, p. 177.

TABELA 12

Comparação entre o número de açudes públicos e particulares e o total atual

CAPACIDADE (hm ³)	PÚBLICOS		CAPACIDADE (hm ³)	PARTICULARES	
	1948	1959		1948	1959
Até 3.....	64	69	Até 0,5.....	23	28
De 3 a 10.....	28	43	De 0,5 a 1.....	89	131
De 10 a 50.....	19	47	De 1 a 3.....	125	198
De 50 a 200.....	8	18	De 3 a 10.....	45	72
De 200 a 500.....	2	6	Maior de 10.....	5	6
Maior de 500.....	1	6			
TOTAL.....	122	189	TOTAL.....	287	435

Aumentou consideravelmente nos últimos 10 anos, o número de açudes no Nordeste.

Reina de modo geral na região, a orientação no sentido de considerar como objetivo primordial, a obra em si, sem levar em conta seus reflexos não só na economia regional mas também na própria disponibilidade de água em outros pontos da bacia da qual o curso d'água barrado é parte tributária.

Um açude introduz modificações no regime de descarga de um rio, controlando-o e regularizando-o. Mas também provoca novas perdas de água. Essas perdas, por unidade de áreas, na região nordestina, são muitas vezes maiores que o rendimento unitário das bacias fluviais, de modo que a produção de água de uma parte considerável da área contribuinte ao açude é toda consumida pela evaporação. À medida que aumenta a extensão das áreas líquidas, aumenta também a proporção da bacia dedicada apenas a suprir as perdas.

Para ilustrar, suponhamos uma bacia fluvial de 2 400 km², controlada por um açude com uma área média de 12 km². A chuva média anual na bacia é de 550 milímetros e o deflúvio médio anual corresponde a 28 milímetros sobre a área de drenagem (72 × 10⁶ m³).

Supondo uma evaporação anual de 2 200 milímetros e admitindo que toda a chuva que caia sobre a área do reservatório constitua um ganho em relação às condições anteriores à criação do açude, ter-se-á uma perda líquida média anual do açude de 1 650 milímetros, ou seja, cerca de 20 × 10⁶ m³. Ora, as perdas por unidade de área são 60 vezes maiores que a produção unitária da bacia; isto significa que, num ano médio, para manter essas perdas são necessários 720 milímetros quadrados, ou sejam, 30% da área total de drenagem!

Admitamos ainda que, a montante desse açude, num ponto, onde a área de drenagem é de 300 km², venha a criar-se outro açude, com capacidade de 6 hm³ e área (que suporemos média) de 2 km². Os outros elementos são iguais e, portanto, a produção média da bacia será de

8,4 hm³ e as perdas de 1 650 milímetros. Admitamos também, que o açude tenha sido projetado para suprir sem se esgotar através de períodos bastante críticos, a demanda de um projeto de irrigação que necessita de 800 000 m³ por ano.

As seguintes observações podem ser feitas a respeito dêsse caso:

1. São necessários 120 km² da bacia para suprir, num ano médio, as perdas evaporativas produzidas numa área de 2 km². Somados aos 720 do açude de jusante têm-se 840 km² que correspondem a 35% da área total. Isso quer dizer, que, no ano médio, 30% da produção da bacia são perdidos através dos 2 açudes. É preciso também lembrar que, nas condições supostas, com a criação do açude de montante, a produção unitária da bacia reduz-se de modo que o valor de 720 poderia ser acrescido.
2. Embora o deflúvio médio anual seja igual a 8,4 hm³, êste valor só é igualado ou excedido em certo número de anos, digamos em 35% dos anos, de modo que nos demais a descarga é menor e em muitos dêles bem menor que 6 hm³. Isso significa que em muitos anos secos, o deflúvio será todo ou em grande parte retido no reservatório para manter um armazenamento suficiente para suprir continuamente as demandas do projeto e da evaporação, de modo que a contribuição da bacia de 300 km² do açude de jusante será bastante modificada. Em vários anos, a descarga, abaixo do projeto de irrigação será exclusivamente o escoamento de retôrno do projeto, isto é, a parte que não foi consumida por evapotranspiração ou não se infiltrou.
3. Se outros açudes forem criados, uma proporção progressivamente maior da bacia fluvial deverá contribuir para suprir as perdas, e o açude de jusante terá sua área de drenagem cada vez mais controlada e menos produtiva.

Êsse exemplo, embora baseado em valores médios, arbitrários e um tanto rígidos, serve para indicar a necessidade de se considerarem globalmente as obras de açudagem de uma bacia. É preciso levar em conta os efeitos que as obras de montante poderão ter sôbre as de jusante.

A construção indiscriminada de açudes, baseada apenas em disposições regulamentares ou na simples existência de "boqueirões" favoráveis, pode conduzir a graves situações de desperdício e deterioração dos recursos de água. Há pois, necessidade de melhor definir os princípios fundamentais que regem a utilização das bacias fluviais. Eis aí mais um importante aspecto da hidrologia nordestina que merece urgente consideração.

É preciso desenvolver gradualmente uma nova política de utilização da água. Essa política deve visar à obtenção para a coletividade

dos máximos benefícios que se pode conseguir da água; deve ter em conta a preservação desses benefícios para as gerações futuras; deve propugnar por um ordenado e progressivo desenvolvimento da utilização dos cursos d'água; deve incentivar as possibilidades dos projetos de uso múltiplo; deve estabelecer a necessidade de situar cada projeto de utilização ou controle da água dentro de um esquema global de desenvolvimento de toda a bacia, levando em conta a interrelação de todos os possíveis empreendimentos na bacia; e deve determinar a necessidade de considerar na programação da utilização da água todas as formas susceptíveis de uso em que a mesma ocorre, como seja, superficialmente, subterraneamente e no solo.

V

ATIVIDADES NECESSÁRIAS AO BOM CONHECIMENTO E USO DA ÁGUA NO NORDESTE DO BRASIL

Sendo exígua e irregular a disponibilidade da água no Nordeste, é evidente a importância de se ter uma utilização integral e inteligente desse recurso; é preciso compreender, contudo, que a questão não é de luta contra ou modificação da natureza, mas muito mais de adaptação às disponibilidades de água. Sem, porém, uma adaptação racional, bem planejada, não será possível manter uma economia estável no Nordeste.

A questão, no entanto, tem raízes mais profundas, pois para poder planejar um desenvolvimento racional e integral da água é preciso, antes, conhecer bem as características de sua disponibilidade.

Pode-se, portanto, concluir que, para o desenvolvimento adequado da utilização dos recursos de água do Nordeste, dois aspectos igualmente importantes devem ser levados em conta: o primeiro, que é fundamental e absolutamente imprescindível, se refere ao conhecimento sistemático dos recursos disponíveis; e o segundo, que visa em última análise à obtenção dos benefícios econômicos almejados, se refere à utilização racional e mais intensa desses recursos.

Estes dois aspectos podem ser agrupados dentro do seguinte esquema, que é simplificado e genérico, não tendo portanto o objetivo de ser todo-inclusivo, servindo porém para situar, basicamente, os problemas.

I — CONHECIMENTO SISTEMÁTICO DOS RECURSOS DE ÁGUA DO NORDESTE

A — *Coleta e Registro de Dados Básicos Hidrológicos*

- 1) Investigações sistemáticas — Planejamento, estabelecimento gradual e operação de um amplo sistema de coleta de dados hidrológicos e meteorológicos, envolvendo medidas e observações de precipitação, deflúvio, evaporação, flutuação de níveis d'água subterrâneos, evapotranspiração, transporte de sedimento por cursos d'água, elementos meteorológicos, qualidade química e sanitária da água, etc.

- 2) Investigações gerais — Levantamento e reconhecimento de fatores físicos fixos ou quase fixos, necessários ao estudo adequado das disponibilidades de água e ao planejamento dos programas de desenvolvimento das bacias fluviais. Envolvem, por exemplo, o levantamento aerofotogramétrico, topográfico e geológico das bacias, locais barráveis, reservatórios, etc.; investigações de áreas de alimentação e descarga de aquíferos; determinação de extensão, estrutura geológica, descontinuidade, etc., de aquíferos; reconhecimentos das características da hidrologia regional, superficial e subterrânea; aplicações da fotoanálise, etc.
- 3) Trabalhos intensivos — Coleta de informações dentro de prazos relativamente curtos, para:
 - a) Completar os conhecimentos necessários ao planejamento, projeto ou operação de aproveitamentos específicos, em áreas onde já se disponha de determinado montante de informações básicas obtidas através das investigações sistemáticas e gerais; ou,
 - b) Para adquirir um mínimo de dados necessários ao encaminhamento de estudos preliminares ou urgentes de utilização da água, onde não se disponham de outras informações. Exemplos: Testes de bombeamento para determinação das características hidráulicas de aquíferos; levantamentos geofísicos e geológicos expeditos; observações fluviométricas por curto prazo em locais de aproveitamentos específicos; medições intensivas das propriedades físicas e químicas da água; observações evaporimétricas por curto prazo, etc.
- 4) Investigações especiais — Compreendem trabalhos e coleta de informações sobre assuntos que interessem ao desenvolvimento racional dos recursos de água, como por exemplo: possibilidades de utilização da água salgada do mar e de aquíferos ao longo da costa; intrusão salina em aquíferos; controle da evaporação em reservatórios; determinação de índices de uso de água por culturas irrigadas; estudos de problemas de salinização da água; eficiência dos projetos de irrigação; perdas de água em canais de irrigação, etc.

B — *Compilação, Análise e Interpretação Científica dos Dados Básicos Hidrológicos Disponíveis*

- 1) Compilação e apuração dos dados hidrológicos e outros correlatos de interesse. Preparação dos elementos para análise, obtenção de índices e curvas básicas, compilação de mapas topográficos e geológicos disponíveis, determinação de características fisiográficas das bacias fluviais, etc.
- 2) Estudos de fases específicas do ciclo hidrológico e das características funcionais das bacias fluviais: Realização de investigações analíticas, tendo em vista ampliar os conhecimentos básicos sobre as bacias fluviais, os fenômenos hidrológicos especificamente e a interrelação entre estes. Exemplos: Estimativas de prováveis perdas de água por evaporação; estudos da variabilidade, frequência e distribuição das chuvas; estimati-

vas do uso consumptivo de água das culturas irrigadas; estudos das relações entre chuvas, descargas dos rios e flutuações dos níveis d'água subterrâneos; estudos meteorológicos das causas e características das chuvas e dos climas; aspectos funcionais hidrológicos das bacias fluviais; estudos das características hidrológicas de aquíferos, etc.

C — *Avaliação dos Recursos de Água e das Possibilidades Hidrológicas de sua Utilização*

Envolve estudos compreensivos das disponibilidades de água de determinadas áreas ou bacias fluviais, tendo em vista projetos específicos de aproveitamento ou então futuros desenvolvimentos. Trata-se de uma fase diretamente ligada ao aspecto que segue.

II — UTILIZAÇÃO E CONTRÔLE DA ÁGUA

A — *Uso Atual e já Programado dos Recursos de Água das Bacias*

- 1) Verificação das condições atuais de utilização da água.
- 2) Inventários do uso atual da água nas várias atividades domésticas e da produção. Uso consumptivo, desperdício consumptivo e uso não consumptivo.
- 3) Programação e racionalização do uso da água nos empreendimentos já concluídos, tendo em vista a obtenção de imediatos e maiores rendimentos.
- 4) Revisão e diagnose imparcial dos empreendimentos isolados programados, a fim de situá-los em programas locais de desenvolvimento das bacias.

B — *Levantamentos Genéricos das Características, dos Problemas e das Potencialidades das Bacias Fluviais, Consideradas como Unidades Econômicas*

- 1) Características físicas gerais.
- 2) Estudos sócio-econômicos — Fatos, problemas e possibilidades presentes e futuras. Formulação de modelos econômicos convenientes às áreas estudadas.
- 3) Avaliação dos recursos naturais e das relações entre seu desenvolvimento e o dos recursos de água.
- 4) Os problemas técnicos, econômicos, financeiros, sociais, administrativos, etc., e sua relação com o desenvolvimento dos recursos de água.
- 5) Formas atuais de utilização da água.
- 6) Potencialidades.

C — *Estudos das Possibilidades, Oportunidades e Necessidades de Desenvolvimento das Bacias Fluviais*

- 1) Avaliação das relações entre as atividades relativas ao uso da terra e o aproveitamento dos recursos de água.
- 2) Necessidades presentes e prováveis futuras de água para os vários fins a que ela pode destinar-se. Oportunidades para o seu desenvolvimento.

- 3) Avaliação das possibilidades de utilização dos recursos de água em suas várias formas. O uso da água superficial, subterrânea, e da água do solo. Relações entre disponibilidades e demandas, etc.

D — *Estabelecimento de Planos para o Desenvolvimento das Bacias Fluviais*

- 1) Objetivos funcionais dos planos.
- 2) Aspectos legais, administrativos e constitucionais relacionados com a execução dos planos.
- 3) Características econômicas e financeiras dos projetos.
- 4) Etapas, prioridade e programa de ação para o desenvolvimento dos planos de utilização e controle dos recursos de água.

SUMMARY

The work is divided up into 5 parts. The first, by way of introduction, deals with apperceptions of a general nature on water resources and their utilization, without attempting to situate the descriptions geographically.

The second part refers to the important question of the availability and adequacy of basic factual information relating to the occurrence, characteristics, use and control of water resources; schedules, tables, graphs and maps are given to show what actually exists, what has already been done, and what is being done at present to acquire a systematic knowledge of the water resources in the nine states from Maranhão to Bahia inclusively by means of collecting data on rainfall, climate, underground water, fluvial regimen, evaporation, transpiration, quality of the water, meteorology, sediment transportation, etc. Discussions are presented on the need for the data and the adequacy of what is available, and for each case specific suggestions and recommendations for improvement are put forward.

In the third parte another aspect of the presente State of knowledge is discussed: the hydrological analysis and interpretation of basic data. The most widely used method for hydrologically dimensioning the dams and reservoirs built in the region is briefly described and criticised in this part.

The tendency for losses by evaporation to increase with increasing control of the surface water and the interrelationship between the damming projects in a basin are discussed in the penultimate part of the report.

Finally a concise scheme is set forth for pursuing the activities necessary to a general improvement of knowledge and to make good use of the water in the Northeast.

The main generic conclusions to be drawn from the studies made are as follows:

1. Present knowledge of the surface and subterranean water resources of the Great Northeastern Region is very poor.
2. This deficiency is due to three direct causes: the first and main cause is the severe lack of basic hydrological data; the second, which depends partly on the first, is the absence of adequate studies and interpretative analysis of the information that is available; while the third is the lack of skilled technicians engaged in the study of the countless aspects of regional hydrology.
3. Though there are exceptions, the greater part of the information now available is based on work done 15 years ago or more. In the last decade, very little has been done in the way of systematically studying, or broadening the knowledge of water in the Northeast.
4. By statutory impositions and others, and also probably through ignorance of any other way of meeting certain demands for water, there is a tendency towards indiscriminate control of the river basins by dams; if this tendency grows, there may arise (and perhaps already have arisen in certain areas) serious problems, amongst others, a loss in availability of the water resources.
5. The methods (mentioned in this work) generally used for hydrologically dimensioning the dams in the Drought Polygon are inadequate and should be abandoned.
6. The underground stage of the hydrological cycle is extremely important for the Northeast; it is, however, little understood and neglected in the solution of many problems of water supply.

The basic causes of the deficiencies observed in the present state of knowledge and utilization of water are varied, complex and interdependent; to discuss them all, in their various aspects, would need a whole chapter for this purpose only. One fundamental cause, however, stands out from the others, and that is the lack of formal recognition — on the part of the public administration, the technicians themselves and even the national, state and regional research and planning bodies — of the importance of the basic data and the necessity of systematically obtaining them.

To bring about a change in this situation, it will be necessary:

1. To realize that in order to have water and use it well, the characteristics of its availability must be known; and knowledge demands observation, analysis and interpretation.

2. To have a technical staff, fully qualified and interested in tackling the manifold problems involved in the various stages of investigation and planning of use of water resources.
3. To have a bureau specifically interested in the water problems of the region and extraneous to any executive activity as regards the actual construction work, so as to reduce to a minimum any possibility of partiality, fluctuation in budget assignments and deflection of efforts towards such work at the expense of the collection and analysis of data.

To this end, it is recommended:

- a) That the training of technicians and auxiliary personnel should be promoted, and encouragement be given to undertaking of technical and scientific work in connection with water resources.
- b) That a start be made as soon as possible on the planning and putting into practice of a system of collection of basic data covering every stage of the hydrological cycle, with especial emphasis, in the initial stage, on work on fluvimetry, underground water, evaporation and pluviometry.
- c) That there be organized, as part of the activities of the future Superintendency for Development of the North-East (SUDENE), a service or sector devoted to water research, mainly to be engaged in:
 - 1) Promoting, co-ordinating and pursuing activities related to the systematic knowledge and to the rational utilization and control of surface and underground water in the Great Northeastern Region; and
 - 2) Checking and diagnosing all isolated undertakings related to water resources that that have been programmed so as to situate them in global plans for the development of river basins and growd water reservoirs.

To prepare this report various kinds, of informations were obtained including the compilation of data, reconnaissance trips, interviews and inquiries with public organization, etc. The authors gratefully recognize the unfailing goodwill displayed by technicians, administrators and civil servants belonging to such agencies as: the National Department of Anti-Drought Works; the Water Division, Meteorology Service and National Department of Vegetable Production, of the Ministry of Agriculture; the São Francisco Valley Commission; of the National Department of Reclamation Works; the Special Health Service; The Bank of the Northeast; the Petroleum and Energy Council (C.P.E.) of the state of Bahia; the Pernambuco Development Council (CODEPE), etc.

Special recognition is due to the enthusiastic and efficient assistance received from Major Paulo Teixeira Costa of the Engineers, assigned by the Directorate of Ways of Transport of the War Ministry to collaborate with the Council on Development of the Northeast (CODENO) in this work.

RESUMÉ

Ce travail se divise en 5 parties. La première, en guise d'introduction, présente des considérations et des appréciations d'ordre général sur les ressources d'eau et leur utilisation, sans se soucier de situer géographiquement ce qui est décrit.

La deuxième partie se rapporte à la grave question de la disponibilité et de la suffisance des informations basiques et factuelles relatives à l'occurrence, aux caractéristiques, à l'emploi et au contrôle des ressources d'eau; au moyen de schémas, de tableaux, de graphiques et de cartes, on indique ce qui existe, ce qui a déjà été fait et ce se fait actuellement pour connaître systématiquement les ressources d'eau dans les 9 états de Maranhão à Bahia inclus, grâce au recueil de données sur les pluies, le climat, l'eau souterraine, le régime fluvial, l'évaporation, la transpiration, la qualité des eaux, la météorologie, le transport de sédiments, etc. On présente des discussions sur la nécessité des données et la suffisance de celles dont on dispose, et chaque cas est accompagné de suggestions et de recommandations spécifiques visant à l'amélioration.

Dans la troisième partie on examine un autre aspect de l'état actuel des connaissances: celui des analyses et des interprétations hydrologiques des données basiques. La méthode la plus employée pour "dimensionner" hydrologiquement les versoirs construits dans la région est décrite et critiquée brièvement dans cette partie.

La tendance à l'augmentation des pertes par l'évaporation due au contrôle chaque fois plus grand de l'eau en superficie et à la corrélation entre les projets de barrage d'un bassin sont discutées dans l'avant-dernière partie de ce rapport.

Ce travail se termine par la présentation d'un schéma succinct des activités nécessaires pour obtenir une amélioration générale des connaissances et un bon emploi de l'eau dans le Nord-Est.

Les principales conclusions génériques à tirer de cette étude sont les suivantes:

1. Les connaissances actuelles des ressources d'eau, tant superficielle que souterraine, de la grande région du Nord-Est laissent beaucoup à désirer.
2. Ces déficiences sont dues à trois causes directes: la première, la principale, est le manque aigu de données basiques hydrologiques; la seconde, qui en partie dépend de la première, est l'insuffisance d'études et d'analyses interprétatives des informations disponibles; et la troisième, c'est le manque de techniciens spécialistes dédiés à l'étude des nombreux aspects de l'hydrologie nationale.
3. Bien qu'il y ait des exceptions, une grande partie des informations disponibles aujourd'hui proviennent d'initiatives d'il y a 15 ans ou plus. Au cours de la dernière décade, on a fait très peu pour étudier systématiquement, ou amplifier les connaissances sur l'eau du Nord-Est.
4. Par impositions réglementaires et autres, et probablement aussi par ignorance d'autres méthodes de satisfaire à certaines demandes d'eau, il s'est formé une tendance de contrôle indiscriminé des bassins fluviaux au moyen de barrages; si cette tendance s'intensifie, de graves problèmes pourraient surgir (et ont peut-être déjà surgi dans certaines régions), y compris ceux de la détérioration de la disponibilité des ressources d'eau.

5. Les méthodes (citées dans ce travail) généralement employées pour le dimensionnement hydrologique des réservoirs dans le Polygone des Sécheresses, sont insuffisantes et doivent être abandonnées.
6. La phase souterraine du cycle hydrologique est extrêmement importante pour le Nord-Est; cependant, elle est peu connue, et n'entre que rarement dans les solutions de bien des problèmes d'alimentation d'eau.

Les causes basiques des déficiences observées dans l'état actuel des connaissances et de l'utilisation de l'eau sont diverses, complexes, et dépendent les unes des autres; pour les discuter toutes, sous leurs multiples aspects, il faudrait y consacrer un chapitre entier. Une cause fondamentale, cependant, se détache des autres; c'est le fait que l'administration publique, les propres techniciens et même les organes nationaux, d'état et régionaux de recherches et d'organisation de projets, ne reconnaissent pas formellement l'importance des données de base et la nécessité de les obtenir systématiquement.

Pour changer cette situation, il faut:

1. Comprendre que pour avoir de l'eau et bien l'utiliser, il s'agit de connaître les caractéristiques de sa disponibilité; et pour les connaître, on doit observer, analyser et interpréter.
2. Disposer d'un personnel technique, capable et dévoué, pour faire face aux multiples problèmes compris dans les phases de la connaissance et de l'élaboration des projets de distribution de l'eau.
3. Avoir une entité chargée spécialement de s'occuper des problèmes d'eau de la région et détachée de toute activité exécutive des travaux de construction pour réduire au minimum les possibilités de partialité, les fluctuations dans les allocations budgétaires et la déviation des efforts vers de tels travaux au détriment du recueil et de l'analyse des données.

Et pour cela, il est recommandé:

- a) De favoriser l'entraînement de techniciens et d'un personnel auxiliaire, et de stimuler la réalisation de travaux techniques et scientifiques ayant rapport aux ressources d'eau.
- b) De commencer aussitôt que possible l'élaboration de projets et la mise en oeuvre d'un système de recueil de données basiques comprenant toutes les phases du cycle hydrologique, en appuyant tout particulièrement, au cours de la phase initiale, sur les travaux de fluviométrie, d'eau souterraine, d'évaporation et de pluviométrie.
- c) D'organiser, dans les cadres de la future Surintendance du Développement du Nord-Est (SUDENE), un service ou secteur d'études des eaux, chargé principalement de:
 1. Promouvoir, coordonner et réaliser les activités relatives à la connaissance systématique et à l'utilisation et contrôle rationnels des ressources d'eau en surface et souterraines de la Grande Région du Nord-Est; et
 2. Revoir et diagnostiquer toutes les entreprises isolées ayant rapport aux ressources d'eau qui ont été projetées dans le but de les incorporer aux programmes globaux de développement des bassins fluviaux et des couches aquifères.

Pour l'élaboration de ce rapport on s'est servi d'informations de sources diverses, comprenant la compilation de données, de voyages de reconnaissance, d'entrevues et d'investigations auprès d'autorités publiques, etc. Les auteurs reconnaissent avec gratitude la bonne volonté toujours présente des techniciens, administrateurs et fonctionnaires appartenant aux organisations suivantes: le Département national de travaux contre la sécheresse; la Division des eaux, le Service de météorologie et le Département national de production végétale du Ministère de l'agriculture; la Commission de la vallée du São Francisco, du Département national des travaux de récupération de terrains; de Service spéciale de la santé publique; la Banque du Nord-Est; le Conseil de pétrole et d'énergie (C.P.E.) de l'état de Bahia; le Conseil de développement de l'état de Pernambuco (CODEP), etc.

Une reconnaissance spéciale est due au Commandant du Génie, Paulo Teixeira da Costa, chargé par la Direction des voies de transport du Ministère de la guerre de collaborer avec le Conseil pour le développement du Nord-Est (CODENO) à ce travail, et dont l'aide effective et l'enthousiasme ne se sont jamais démentis.