

# DESAGUAMENTOS À LUZ DOS DESMATAMENTOS E DESCURAMENTOS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

**José Santino de Assis**

Universidade Federal de Alagoas

Professor Aposentado

## ABSTRACT

The 958.820 km<sup>2</sup> of semiarid Northeastern Brazilian continue amplify, due to an increase in average temperature and the expansion of deforestation. The main consequence is the reduction of useful waters, which are still wasted or misused. Results are presented in two of the various searches performed on this theme: one in Piauí (waste), another in Rio Grande of Norte (management neglected). Both about groundwater. In the Piauí covers the stretch between the towns of Bom Jesus of Gurguéia and Canto of Buriti, River Valley Gurguéia. There are several permanent spurt wells, with individual flow up 600 m<sup>3</sup>/h. The deforestation recharge zone is irresponsibly legalized. Search in Rio Grande of Norte is on the Açú Sandstone Aquifer in Potiguar Basin, where excessive exploitation downgraded the level of the water, emptied piezometric wells and reduced the volume of the reserve, which was no longer replenished due to deforestation of infiltration zone and to the advancement of semiaridity.

Key-words: northeastern of Brazil; underground water; wasted

## INTRODUÇÃO

As terras secas da Região Nordeste do Brasil se estendem por 958.820 km<sup>2</sup> (dados de 1989) que são distribuídos por parcelas dos nove Estados que compõem a região: Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe. Em 1936, no entanto, quando foi dado o nome de "Polígono das Secas", a área foi delimitada como possuindo 672.282 km<sup>2</sup> apenas (PAN-Brasil, 2004). Essas terras recebem o nome de "Semiárido" pelos estudiosos, e de "Sertão" pela população nativa. A expansão territorial da semiaridez pode ser devida ao aumento da temperatura média que, segundo informações recentes do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), se aproxima dos 4°C a partir dos últimos 40 anos. Parte desse acréscimo é atribuída às mudanças climáticas globais. Mas, sem dúvida (porque os efeitos são caoticamente sentidos e vividos), os amplos e permanentes desmatamentos, em potencial, se constituem na causa mais contundente, através da manifestação de dois grandes extremos: a escassez das águas, por um lado, e por outro, o excesso das mesmas. De ambos os efeitos o principal corolário é a frequente perda dos bens patrimoniais decorrentes das baixas e irregulares disponibilidades de água no seu sentido regular de oferta para todas as classes de uso relativas ao consumo populacional, industrial e agropecuário. Sem deixar de contar os fatais danos ambientais generalizados. O termo desaguamento, está sendo utilizado como indicativo desses efeitos da atual conjuntura ambiental, em escala planetária. As principais consequências mais visíveis se manifestam através das danosas perdas dos solos e da biodiversidade; avanço da desertificação; pobreza; crises sociais graves. Além das grandes enchentes catastróficas e das prolongadas e devassadoras secas.

Apesar dessa gravidade que os desmatamentos sem controle vêm promovendo, aqui no semiárido nordestino as alternativas para recuperação das fontes produtivas de água são inexistentes, mesmo perante às constantes chamadas de atenção para os riscos dos progressivos desmatamentos predatórios (Assis, 2010) que dizimam os reservatórios aquáticos naturais. As providências tomadas até o momento para reduzir, combater ou enfrentar os desaguamentos resultantes dos desmatamentos, no seu conteúdo aquático superficial, têm sido apenas paliativas, na medida em que são limitadas às construções de açudes e de cisternas. Estes que, para se manterem com água, dependem exclusivamente das escassas e irregulares chuvas estacionais. Por isso são esvaziados logo no começo das estiagens. Momentos em que entram em operação os conhecidos carros-pipas.

No que se refere aos reservatórios e aos respectivos usos das águas subterrâneas, que são os estudos priorizados neste Artigo em particular, os desaguamentos são oriundos de três fontes: a) Do avanço da semiaridez que se instalou no Nordeste do Brasil ao longo do período Quaternário e continua em franca expansão nos dias de hoje. Casos em que, tanto a quantidade quanto a periodicidade das chuvas são reduzidas, no que compromete o reabastecimento dos lençóis, no que as águas se tornam fossilizadas. Portanto muito fragilizadas à exploração. Exemplo do "Aquífero Arenito Açú", na Bacia Potiguar; b) Dos desmatamentos que foram realizados para o cultivo de lavouras comerciais e de subsistência (feijão, milho e algodão) e para a criação dos gados: bovinos, caprinos e muares, que foram os responsáveis pela dizimação das Caatingas, no que ampliou os escoamentos e reduziu a taxa de infiltração das águas realimentadoras dos já escassos lençóis. c) Das descuidadas e predatórias formas de uso, que se fazem representar, por um lado, com o descuido em não compatibilizar o potencial do aquífero com o volume a ser explorado. Momento em que a capacidade de infiltração deve ser medida, a fim de que a vazão não seja

superior, caso da Bacia Potiguar. E por outro lado, o abuso do desperdício, ou seja, a exploração dos aquíferos através da perfuração de poços apenas pelo prazer de ter água jorrante permanentemente. Exemplo dos poços no vale do Rio Gurguéia, também objeto deste trabalho, que, ainda por cima, os desmatamentos das zonas de recargas são oficialmente incentivados.

Assim, no caso do Nordeste semiárido brasileiro as suas águas subterrâneas, ou são desordenadamente utilizadas, ou são irresponsavelmente desperdiçadas. Ou seja, não existe uma estratégia definida para uma exploração racional e sustentável dos seus lençóis aquáticos. Neste artigo são discutidas duas das várias experiências de pesquisas realizadas para a chamada de atenção nesse particular, principalmente através da associação que é feita entre os recursos vegetacionais e os aquáticos. Uma vez que a vegetação é o principal instrumento regulador do equilíbrio ambiental movido por essa associação. As áreas selecionadas para este estudo pertencem ao semiárido de dois Estados nordestinos: o Piauí e o Rio Grande do Norte.

No caso do Estado do Piauí, por onde se observa o maior caso de desperdício de água subterrânea, o local por onde ocorre esse desperdício em grande escala é o vale médio do rio Gurguéia, com extensão para as cabeceiras dos rios Itaueiras e Piauí. Todos integrantes da grande Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba que ali divisa com a do Rio São Francisco, tendo como interflúvio a Chapada do Bom Jesus da Gurguéia, local por onde se infiltram as águas que abastecem os lençóis alimentadores dos poços jorrantes. Os poços observados se estendem pela margem direita, no trecho situado entre as cidades de Bom Jesus da Gurguéia e Elizeu Martins, com extensão para as cidades de Canto do Buriti e São João do Piauí. Entre os anos de 1980 e 1985, época em que os estudos foram realizados (Assis, 1987), havia vários poços do tipo “artesianos” de jorros permanentes, com capacidade de vazão de até 600 metros cúbicos por hora. Águas que não tinham outros aproveitamentos além do lazer (balneários) e da beleza cênica que os jorros proporcionam. A pesquisa feita naquela época chamava a atenção para o risco do esvaziamento dos aquíferos, principalmente pelos desmatamentos que eram promovidos nas zonas de recargas: representadas pelas formações sedimentares de que se compõe a Chapada do Bom Jesus da Gurguéia. Apesar desse longo tempo, nenhuma medida de proteção foi tomada. Pelo contrário, o desmatamento predatório foi oficial e estupidamente legalizado.

O exemplo referente ao Estado do Rio Grande Norte é a sua Bacia Potiguar (Assis, 1989). Os estudos foram desenvolvidos para se verificar o rebaixamento ou não do nível piezométrico do “Aquífero Arenito Açú”, considerando a relação do volume explorado e o desmatamento generalizado da sua zona de recargas. Uma vez que este aquífero atendia a uma população superior a meio milhão de habitantes; irrigava grandes projetos agrícolas; servia todo o conjunto industrial da bacia; e movia outras demais empresas rurais e urbanas de todos os níveis. Foi constatado que o aquífero desse grande potencial se tornaria improdutivo por volta dos quinze aos vinte e cinco anos mais tarde, devido a um excesso de exploração, muito além da sua capacidade de oferta. Principalmente porque não estava havendo infiltração suficiente. As suas águas eram fósseis. O alerta foi colocado e, com ele, a sugestão de que outras fontes de obtenção de água teriam que ser viabilizadas de imediato, a fim de que o colapso pudesse ser evitado. Pois o nível piezométrico já havia baixado de nível em tal magnitude que muitos poços profundos já estavam paralisados. Posteriormente foi construída a macro-represa Eng. Armando Ribeiro Gonçalves, que está substituindo as águas originárias do aquífero em referência, já perigosamente comprometido. Neste caso particular, a falta de ordenamento do uso foi a principal causa do esvaziamento, muito além dos desmatamentos proibitivos dos reabastecimentos e das mudanças climáticas movidas pelo avanço da semiaridez, com a redução das chuvas.

## **MÉTODOS**

Todos os trabalhos realizados até o momento nessa magnitude, ou seja, voltados para o planejamento do território sob a ótica da sustentabilidade ambiental, obedecem a uma metodologia eminentemente fitogeográfica, dentro do conceito da Fitogeografia Aplicada. Desse modo, os estudos fitogeográficos nessa linha, tomam a vegetação nativa como a base para o desenvolvimento dos estudos destinados ao Planejamento Ambiental, que têm sido utilizados, dentre outros, para o zoneamento da desertificação antropogênica. e o planejamento de unidades de conservação, incluindo os planos de Corredores Ecológicos. Dentre as quais, aquelas que se destinam à proteção dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

## **Fundamentos**

Teoricamente, os estudos sobre a vegetação desenvolvidos nessa linha da aplicação à Organização do Espaço foram iniciados pelo Projeto RADAMBRASIL, ainda na década de setenta, embora ainda muito aquém da amplitude que se pratica na atualidade. O primeiro desses estudos diretamente correlacionados aos recursos hídricos foi realizado na década de oitenta (ASSIS, 1985), sobre uma área experimental de 3.025 km<sup>2</sup>, abrangendo terras dos Estados do Ceará, da Paraíba e do Rio Grande do Norte (Folha SB.24 ZA-II Pau dos Ferros). Os estudos resultaram de um convênio celebrado entre os atualmente extintos: SUDENE e Projeto RADAMBRASIL, numa tentativa de detectar águas subterrâneas no Embasamento

Cristalino do sertão semiárido nordestino. O Resumo do capítulo: Vegetação foi iniciado pelo seguinte texto: *“Os estudos sobre a vegetação foram realizados levando-se em conta a dinâmica exercida por esse recurso na manutenção e regularização do funcionamento naturalmente equilibrado do sistema ambiental, no caso particular dos recursos hídricos subterrâneos, dada a sua eficiente colaboração no processo de infiltração das águas pluviais necessárias à alimentação dos aquíferos”*. (ASSIS, 1985). Após este, vários outros estudos foram desenvolvidos visando este exclusivo princípio da Organização do Espaço (ASSIS, 1988 a 2010), no contexto da Fitogeografia Aplicada.

### **Síntese metodológica**

Os métodos das investigações fitogeográficas adotados nos estudos têm primado sempre por esse comprometimento com a relação permanente e intrínseca entre os recursos vegetacionais e os aquáticos. Na convicção de que a vida de todos os seres ocupantes da superfície terrestre depende da existência combinada desses dois mais vitais recursos da natureza.

Em todos os casos dos estudos fitogeográficos de aplicação ao ordenamento territorial, a metodologia tem sido a mesma adotada desde o início. Todos passam pelo que foi denominado por Assis (1988), de “Zoneamento Fitoambiental”, que consiste no estudo da vegetação pelas suas formas biológicas, fundamentado no conhecimento dos fatores geoambientais interagentes: clima, geologia, geomorfologia, solos e interferência humana, como sendo os principais.

O método passa por uma sequência de estudos dos fatores que, somados, permitem a classificação da vegetação pela sua linha Fisionômico-Ecológica. Porque a base da classificação se inicia pela Região Fitoecológica que é o primeiro nível da hierarquia de classificação. Podendo chegar até o topo da hierarquia, ao nível de “Comunidade Fitoambiental”, conforme seja o detalhamento exigido pelos estudos. Por etapas, o primeiro fator estudado é o “Zoneamento Bioclimático”. Em seguida, o “Litológico-Geomorfológico”. Os dados de Precipitação e Temperatura, pelas suas médias mensais, são lançados no “Diagrama Ombrotérmico”, na relação  $P < 2T$ , para fins de mensuração do “Período Biologicamente Seco”. Este que é a base inicial da classificação fitoambiental a partir da segunda hierarquia. Por esta primeira fase dos estudos já se permite saber a quantidade média da água disponibilizada no ambiente num determinado período anual. Ao se somar esse resultado ao estado fisionômico-estrutural da vegetação original, já se tem um parâmetro básico para uma primeira avaliação da capacidade de infiltração das águas pluviais que se destinam ao abastecimento dos lençóis subterrâneos. Assim como uma boa impressão dos danos ambientais que uma chuva superconcentrada pode causar. Os demais dados necessários para o prosseguimento dos estudos exigidos para esta avaliação, como resultado final da pesquisa, são oferecidos pelos estudos hidrogeológicos. São os exemplos da declividade dos terrenos; da permeabilidade dos solos; e dos excedentes hídricos que determinam os potenciais, dentro de uma escala variável desde o “Bom” até o “Muito Fraco”, conforme a metodologia seguida.

### **Tecnologia**

Ao lado dos levantamentos e tratamentos desses dados e da sua respectiva análise, participam os trabalhos de interpretação de imagens de satélite e dos rigorosos trabalhos de campo. Pela interpretação das imagens são delineados os diversos polígonos referentes aos diferenciados estágios fitofisionômicos, que são classificados por categorias, conforme sejam as tonalidades representativas das diversas densidades, aberturas e até da própria inexistência de vegetação. Através dos indispensáveis levantamentos de campo são realizadas navegações pelos diversos meios de locomoção: terrestres (viaturas, animais e caminhadas), aéreos (sobrevôos em baixa altura e helicópteros) e aquáticos. Esta outra etapa dos trabalhos se constitui num irrefutável complemento aos estudos de interesse ao ordenamento territorial, ou organização do espaço, na parcela que cabe à cobertura vegetal aos desígnios do Planejamento Ambiental. Inclusive no que concerne ao uso e à sustentabilidade dos recursos hídricos, particularmente os subterrâneos.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Em virtude dos estudos terem sido individualizados para duas áreas distintas do semiárido nordestino, os resultados que foram obtidos também são particularizados para cada uma. Do mesmo modo, apesar dos objetivos das duas pesquisas acusarem semelhanças, inclusive metodologicamente, no entanto os caminhos seguidos para se alcançar os objetos do destino são diferenciados em partes. Em razão disso, os resultados são desmembrados em subitens distintos, sob as denominações relacionadas a cada uma das áreas, individualmente.

### **1. O SISTEMA GURGUÉIA HIDROGEOVEGETACIONAL**

#### **A Localização**

A área objeto desta parte dos estudos posiciona-se pelas imediações centrais da metade sul do Estado do Piauí. Ela recebe a denominação de Chapada (ou Serra) do Bom Jesus da Gurguéia (Figura 1), que se

caracteriza por ser uma zona de recarga para os seus diversos lençóis subterrâneos de grande potencialidade de vazão. É formada por várias unidades sedimentares identificadas, do topo para a base, pelas formações litoestratigráficas (Projeto RADAMBRASIL, 1983): Coberturas Detríticas; Formação Piauí; Formação Poti; Formação Longá; Formação Cabeças; Formação Pimenteiras; e, Formação Serra Grande. Todo esse pacote sedimentar mergulha para a Bacia do Rio Parnaíba, numa inclinação de até 15 graus medidos na formação inferior, a Serra Grande, no seu contato com o embasamento cristalino. Quanto à formação do platô, em torno dos 800 metros de altitude, a inclinação não é superior aos 5 graus.

### **A Vegetação**

De acordo com os resultados obtidos pelos estudos bioclimáticos desenvolvidos com base no tratamento dos dados consignados nos oito Postos Pluviométricos instalados sobre a Chapada e nos vales que lhe circundam, o clima atuante foi classificado como sendo do tipo semiárido normal. Isso se confirma porque a estação seca situa-se em torno dos seis meses de cada ano. Esta configuração bioclimática indica a ocorrência da Caatinga como sendo a vegetação preponderante, nas suas condições normais de submissão ou de dependência aos ditames climáticos reinantes na região. Esta classe de vegetação, junto com as condições climáticas que lhes condiciona, são, por si só, plenamente desfavoráveis ao abastecimento e à manutenção dos lençóis aquáticos subterrâneos. Por isso o uso dos seus reservatórios, seja em operação ou em planejamento, precisa ser rigorosamente monitorado, afim de que o volume da exploração, quando for o caso, não supere o da infiltração. Isto que tem sido uma praxe em todo o semiárido nordestino, e até nas suas vizinhanças sob climas úmidos.

Todavia, a ocorrência da Caatinga somente foi constatada nas áreas de relevo fortemente dissecado, ou pelas encostas que separam as bordas dos fácies tabuliformes, dos canais de drenagem que demandam da própria chapada. São os exemplos dos rios Itaueira e Piauí, além dos pequenos afluentes da margem direita do rio Gurguéia, que também nascem nas encostas oeste do mesmo chapadão. São pelas laterais desses canais de drenagem por onde jorram os poços artesianos. No entanto, em conformidade com Assis (1987), nas planuras do platô da chapada, a vegetação foi classificada como “Floresta Estacional Decidual”. Essa aparente incongruência é devida à condição de “reliquia florestal” que lhe é atribuída, desde que remanescente de um clima tropical idêntico ao da Amazônia de hoje. Porque o clima semiárido da atualidade é desfavorável à gênese e à manutenção de florestas, esta que recobre o platô da chapada está lentamente caminhando para o desaparecimento. Logo, a caminho de tornar nula a capacidade de infiltração das águas pluviais mantenedoras dos aquíferos, mesmo nas suas condições exclusivamente naturais.

### **O Apoio hidrogeológico**

Essas características climáticas são entendidas como de caráter desfavorável ao desenvolvimento de florestas. Condições estas que foram confirmadas pelos estudos hidrogeológicos realizados pelo Projeto RADAMBRASIL, com abrangência para todo o Nordeste semiárido brasileiro. Estudos que foram desenvolvidos no contexto do Capítulo dedicado à Geologia, no seu apêndice denominado: “Potencial dos Recursos Hídricos” (Ver detalhes no volume 23 da série LRN, daquele Projeto).

Pela classificação utilizada por estes estudos, a área foi identificada pela sigla alfanumérica: 4eB. Através dessa legenda são identificados e classificados os potenciais hídricos, tanto superficiais quanto subterrâneos. Pela fórmula, o número inicial indica o grau de excedente hídrico anual, determinado pelo número de meses possuidores desse excesso. Assim, numa escala variável de 1 a 4, tem-se a distribuição anual de chuvas classificadas pelas seguintes denominações:

- Classe 1 – Concentração homogênea. Corresponde a um período de 10 ou mais meses com excedente hídrico.
- Classe 2 – Concentração subhomogênea. Corresponde a um período de 7 a 9 meses com excedente hídrico.
- Classe 3 – Concentrada. Corresponde a um período de 4 a 6 meses com excedente hídrico.
- Classe 4 – Concentração superconcentrada. Corresponde a um período de 3 meses e menos com excedente hídrico. Esta foi a classificação alcançada pela área abrangida por este estudo. Esse período coincide com o obtido pelo método bioclimático, onde os 800 milímetros em média de precipitação pluviométrica são distribuídos entre os meses de novembro a março de cada ano, conforme mostrado no diagrama ombrotérmico. Assim, sob altos índices de precipitação concentrados numa curta estação chuvosa, para um escoamento superficial muito alto. Fato que, somado a uma cobertura vegetal rarefeita, compromete o grau de infiltração das águas no solo. Pelo que o lençol subterrâneo resulta prejudicado.

Quanto à letra minúscula da legenda, que varia de “a” a “e” minúsculos, elas indicam o volume de água disponível avaliado pelo potencial hídrico de superfície. Elas correspondem à quantidade de água gerada numa determinada área expressa em quilômetros quadrados, durante um ano ( $m^3/km^2//ano$ ). Para a sua determinação consideram-se cinco ordens de grandeza que, de acordo com a quantidade do excedente hídrico em milímetros, se obtém o volume de água disponível, que é indicado pelas seguintes

denominações e valores:

- A letra “a” simboliza o potencial Muito Bom, que corresponde a um excedente hídrico acima de 1.300 milímetros, Ou seja, uma disponibilidade de volume d’água superior a  $1.300.000 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{ano}$ .
- A letra “b” simboliza o potencial Bom, que corresponde a um excedente hídrico entre 700 e 1.300 milímetros, Ou seja, uma disponibilidade de volume d’água situado entre  $700.000$  a  $1.300.000 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{ano}$ .
- A letra “c” simboliza o potencial Médio, que corresponde a um excedente hídrico entre 200 e 700 milímetros, Ou seja, uma disponibilidade de volume d’água situado entre  $200.000$  a  $700.000 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{ano}$ .
- A letra “d” simboliza o potencial Fraco, que corresponde a um excedente hídrico entre 10 e 200 milímetros, Ou seja, uma disponibilidade de volume d’água situado entre  $10.000$  a  $200.000 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{ano}$ .
- A letra “e” simboliza o potencial Muito Fraco, que corresponde a um excedente hídrico inferior a 10 milímetros, Ou seja, uma disponibilidade de volume d’água abaixo de  $10.000 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{ano}$ .

Apesar desses parâmetros sobre água de superfície não estarem sendo avaliados neste momento, no entanto, as informações a seu respeito fornece uma idéia sobre a grande carência de água que a área é possuidora. Dado que impõe um redobrado cuidado com a preservação das suas águas subterrâneas, desde que a sua capacidade de recarga soa bastante comprometida. Isso sem considerar, ainda, a rarefação da vegetação e os seus desmatamentos.

Por sua vez, a letra da legenda que está simbolizada pelo “B” maiúsculo, e que é igualmente variável de “A” a “E”, representa o potencial hídrico subterrâneo calculado para a área. Esse potencial é calculado por meio de um processamento matricial, que oferece pesos diferenciados para cada um dos indicadores utilizados: litologia e/ou estratigrafia; fraturamento das rochas; geomorfologia; solos; vegetação; uso atual da terra; precipitação pluviométrica média anual; excedente hídrico anual; taxa de infiltração; e, escoamento superficial. As potencialidades são calculadas seguindo-se a uma fórmula matemática dada, cujos resultados, denominados de “Distância Taxonômica”, ou, “Distância Euclidiana Generalizada”, são colocados na coluna da matriz, onde o peso alcançado por cada um serve para determinar o grau do potencial hídrico subterrâneo das diferentes áreas do terreno.

Desse modo, os valores obtidos são variáveis de acordo com a influência maior ou menor das variáveis ou indicadores considerados, que são colocados nas linhas da matriz. Assim, a classificação do potencial hídrico subterrâneo, junto com a sua respectiva simbologia são expressos em conformidade com as seguintes distâncias taxonômicas calculadas:

- A letra “A” simboliza o potencial Muito Bom, que é representado pela Distância Taxonômica variável entre 0 e 2,99.
- A letra “B” simboliza o potencial Bom, que é representado pela Distância Taxonômica variável entre 3,0 e 4,99.
- A letra “C” simboliza o potencial Médio, que é representado pela Distância Taxonômica variável entre 5,0 e 6,99.
- A letra “D” simboliza o potencial Fraco, que é representado pela Distância Taxonômica variável entre 7,0 e 8,99.
- A letra “E” simboliza o potencial Muito Fraco, que é representado pela Distância Taxonômica variável entre 9,0 e 10,0.

### Comentários

Como se verifica, a classificação identificada pela sigla 4eB alcançada pela área do estudo atesta que ela possui uma distribuição anual de chuvas situada no índice “Superconcentrado”. Isso é uma decorrência do seu excedente hídrico, que se encontra na faixa de tempo inferior aos três meses. O que significa que o seu potencial hídrico de superfície, indicado pela letra símbolo “e”, também está situado no último grau da escala: o Muito Fraco. Por outro lado, apesar desses baixos índices alcançados que interferem diretamente no potencial de água subterrânea, a área ainda restou classificada numa posição de certa forma privilegiada, uma vez que está posicionada no segundo lugar da escala, sob o grau atribuído como “Bom”. Posição que foi assim adquirida, desde que a sua “Distância Taxonômica” ficou embutida na faixa do índice situado entre 3,0 e 4,99.

Todos esses resultados matematicamente conseguidos são perfeitamente perceptíveis na paisagem da área por meio de observações visuais diretas. Inclusive na confirmação dos resultados sob o elevado potencial de águas subterrâneas que se manifestam pelos seus diversos poços jorrantes localizados dentro e ao redor da Chapada, ao longo dos seus canais de drenagem. Vários desses poços jorram permanentemente por tubulações sob diâmetros nunca inferiores a duas polegadas, que ainda são submetidas às altas pressões movidas por aquelas fortes inclinações dos terrenos.

Todo esse “Bom” potencial de água subterrânea possui como única zona de recargas, ou de reabastecimento dos seus aquíferos, a exclusiva área do estudo, a Chapada do Bom Jesus da Gurguéia. Onde se pode medir a grande importância da sua cobertura vegetal. Desde que, sem ela, os solos são impedidos de manter a infiltração das águas de chuvas.

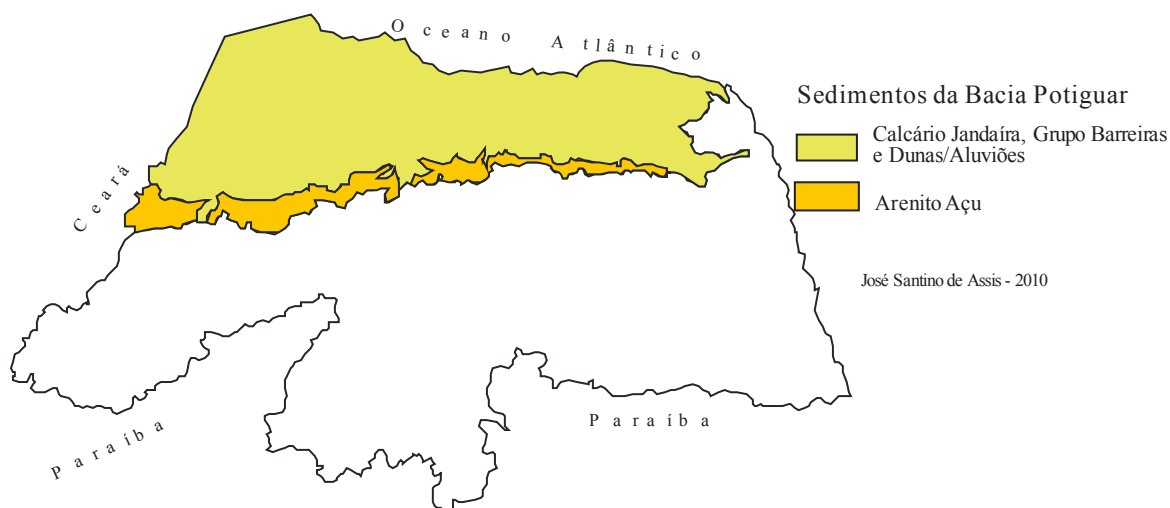
O interesse pelos estudos geofitoambientais a respeito desta Chapada em referência foi despertado desde os primeiros levantamentos de campo realizados para os estudos e mapeamentos fitogeográficos da Folha SC.23 Rio São Francisco. Esta que abrange uma área próxima dos 296.000 quilômetros quadrados. Das dezesseis pernas programadas para o sobrevôo que foi regularmente realizado, uma delas teve o seu traçado de rotas por sobre a Chapada do Bom Jesus da Gurguéia e suas circunvizinhanças, num total aproximado de 18.500 quilômetros quadrados. Por meio deste sobrevôo, do tipo rasante, já se teve um conhecimento exato da vegetação florestal da classe “decidual” que o seu dossel refletia. Bem como da fitofisionomia que as encostas exibiam, agora sob o perfil característico das Caatingas ressequidas. Igualmente também já se observou a existência de alguns poços jorrantes, com águas aparentemente desperdiçadas; e os extensos desmatamentos laterais à rodovia que rasgou o chapadão no sentido São Raimundo Nonato/Canto do Buriti/Elizeu Martins. Todos estes casos, incluindo a vegetação do tipo florestal, embora em ambiente de clima semiárido, foram confirmados quando dos levantamentos por via terrestre, também por meio de caminhadas. Os resultados daquela pesquisa constaram do Relatório Técnico de Pesquisa concluído em 1983, que o Projeto RADAMBRASIL, nem o seu substituto, o IBGE, não publicaram. Ali, no capítulo Vegetação, foi dado um toque muito especial à área em apreço que, em função do seu grande, rico e raro potencial e da forte degradação dos recursos, já foi sugerida a transformação da área em uma Unidade de Conservação.

De tão importantes se tornaram esses dados reveladores de uma fragilidade ambiental muito comprometida da conservação dos recursos hídricos e vegetacionais naturais da área da chapada, que deu azos, inclusive, ao desenvolvimento de uma Dissertação de Mestrado (ASSIS, 1987).

## 2. O DESAGUAMENTO DO AQUÍFERO ARENITO AÇU

No Brasil, a política de uso das águas subterrâneas e superficiais tem sido desprovida de qualquer medida organizacional e mitigadora no sentido da proteção, da conservação e da sustentabilidade ambiental das matrizes produtoras e fornecedoras. Assim como, e principalmente, da própria cobertura vegetal que responde pelo controle do sistema da captação e da infiltração das águas que reabastecem os mananciais. O descaso é extensivo, obviamente, aos lençóis aquáticos subterrâneos da Região Nordeste, onde também inexistem medidas governamentais orientadas para o atendimento destes fundamentais princípios. São vários os exemplos que podem ser demonstrados. Para este artigo em particular foi escolhido o pacote sedimentar chamado de “Arenito Açú” situado na “Bacia Potiguar” (Figura 1), que tem por localização o Estado do Rio Grande do Norte, na referida Região Nordeste do Brasil. Esta unidade hidrogeológica possui 18.730km<sup>2</sup>, no que corresponde a 35,3% da superfície total do Estado.

Figura 1 – Rio Grande do Norte/Bacia Potiguar – Área de Afloramentos do Arenito Açú



Os estudos realizados nessa temática sobre a bacia em referência foram realizados sob uma metodologia eminentemente fitogeográfica, no que esta disciplina contempla o ordenamento territorial, no contexto da sustentabilidade ambiental. Neste caso, foi levada em consideração a dinâmica exercida pela cobertura vegetal no funcionamento do sistema e no seu equilíbrio ambiental natural. Especialmente dos recursos hídricos subterrâneos, devido à indispensável participação da vegetação no processo de infiltração das águas pluviais necessárias à realimentação dos aquíferos.

Partiu-se do princípio de que, ante uma demanda de exploração de grande proporção, podendo ser superior à capacidade de oferta do mais importante reservatório de água subterrânea potável da bacia, o "Aquífero Arenito Açú"; ele poderia ingressar num processo de esvaziamento irreversível. Seguido a esse

pressuposto, vários outros fatores ameaçavam contribuir para esse possível processo de desaguamento: a forte inclinação dos terrenos na “zona de recarga”; a escassez pluviométrica e a concentração das chuvas; a severidade da semiaridez; a estreita faixa da zona de infiltração; o desmatamento generalizado. Tudo isso conspirando para um previsível desequilíbrio do sistema ambiental hidrogeológico, podendo chegar, com a sua evolução, a um progressivo e caótico esvaziamento do lençol. Sem contar a possibilidade de toda a água ainda se encontrar em estado fóssil.

Após a realização dos levantamentos e da respectiva análise dos mesmos, foi comprovada a veracidade desses pressupostos. O fato foi considerado agravante, na medida em que o tempo de vida útil do aquífero estava se aproximando da sua incapacitação produtiva. O gravame tornou-se ainda mais preocupante quando foi constatado que não havia, em andamento, nenhum projeto de substituição à altura, que atendessem ao funcionamento das fábricas e ao completo abastecimento das empresas agropecuárias e agroindustriais, em todos os seus níveis de utilização.

### **O Aquífero**

A conhecida Bacia Potiguar abriga, nas suas camadas sedimentares mesocenozóicas, um elevado potencial de águas subterrâneas. Ela se destaca entre as demais bacias nordestinas suas congêneres por localizar-se num meio onde há uma grande carência desse imprescindível recurso. Isso acontece porque em toda a extensão da sua área atua um regime climático de características semi-áridas extremamente severas. Tanto que, embora confinando com o litoral, seus rios e riachos são intermitentes durante a maior parte do ano.

Sua estratigrafia é composta por diversas camadas sedimentares que são datadas desde o Quaternário mais recente até o Cretáceo Médio. As quais são formadas por sedimentos holocênicos (dunas e aluviões), pliocênicos (Grupo Barreiras) e cretácicos (Calcário Jandaíra e Arenito Açú). Cada uma dessas unidades representa um sistema hidrogeológico distinto, sobre o qual, uma cobertura vegetal original responde pela regularidade na infiltração das anualmente passageiras águas pluviais. Sendo que, na atualidade, essa vegetação já passou por um processo de desmatamento tão elevado que está comprometendo decisivamente o abastecimento dos lençóis pelas águas das chuvas. No contexto hidrogeológico é contabilizado um grande potencial de águas subterrâneas referido para área. Cada uma das referidas formações é portadora do seu próprio reservatório.

De todos aqueles aquíferos o único detentor de água potável que vem sendo explorado em grande escala é o representado pelo Arenito Açú. Ele é o responsável pelo abastecimento de cidades interioranas de grande demanda populacional, como acontece com Mossoró, o mais importante centro regional interiorano do Estado. Devido a esse caráter de grande importância para a sobrevivência da população, a unidade representada pelo “Aquífero Arenito Açú” foi a escolhida para se testar as hipóteses então formuladas.

O afloramento desta unidade hidrogeológica ocorre na extremidade sul da bacia, margeando-a longitudinalmente no sentido leste-oeste (Figura 1). Ocupa uma área de 2.810km<sup>2</sup> de superfície, ou o equivalente a 15% da área total da Bacia Potiguar, onde se situa. Trata-se da camada sedimentar que congrega o potencial aquático subterrâneo de maior importância para o abastecimento de água potável para todas as necessidades aquáticas da população. A espessura dos seus sedimentos varia de cerca de 70m na estreita faixa aflorante, até pouco mais de 700m nas proximidades da costa, incrustada entre o embasamento cristalino e o “Calcário Jandaíra” que lhe sobrepõe. Toda a área da bacia é altamente carente de recursos hídricos destinados ao uso da população. Essa carência é maior ainda quando se trata dos recursos aquáticos de superfície. E isso é uma decorrência natural da própria região, devido à sua submissão a um regime climático de longa estação anual de estio. Quanto ao potencial subterrâneo exclusivo do “Arenito Açú”, a questão é muito mais complexa porque, apesar do volume estimado do lençol ser exponencialmente muito elevado, havia a suspeita de que o da infiltração seria inferior ao da retirada. Para o teste dessa hipótese foram realizados os seguintes levantamentos de dados supostamente causadores do fenômeno objeto da investigação. Dentre eles: o clima semiárido de longa estação de estio; a escassa e irregular precipitação pluviométrica anual; a baixa, ou nenhuma, infiltração das águas pluviais; a forte inclinação dos terrenos; o desmatamento completo da sua vegetação original; o uso da água em quantidade superior ao da realimentação do aquífero.

### **Perfil da Zona de Recarga**

Como se verifica na Figura 1, a área de infiltração das águas de chuvas do Aquífero Arenito Açú é muito reduzida em relação à extensão territorial total da Bacia Potiguar. De fato, a área de afloramento disponível à infiltração é de 2.810km<sup>2</sup>, contra os 18.730km<sup>2</sup> da totalidade da bacia. O que corresponde a apenas 15,0% de extensão. Vale ressaltar que a área da bacia corresponde a 35,3% da área total do Estado. Essa pequena dimensão espacial da zona de recarga já é um importante fator impeditivo ao volume de infiltração das águas de chuvas.

### **Incompleta capacidade de infiltração**

Com relação ao material constituinte das rochas (arenitos) e a espessura do manto de intemperismo, toda

área poderia ser classificada como de alto potencial ao mecanismo da infiltração. No entanto, os fatores permeabilidade e declividade dos terrenos são altamente desfavoráveis a esse mecanismo. Além disso, os solos, apesar de serem, em sua maior parte, porosos e bem drenados, há trechos em que a declividade, às vezes em forma de escarpas inclusive, somada à ocorrência de *plintita* em grande parte da área, contribui negativamente ao regular processo da percolação das águas. A distribuição espacial desse potencial foi classificada pelos níveis: alto, com uma extensão territorial de 1.485km<sup>2</sup> (52,8%); médio, com 1.005km<sup>2</sup> de extensão (35,8%); e, baixo, com 320km<sup>2</sup> de área (11,4%).

### **Escassez e irregularidade de chuvas**

Ainda que os demais fatores ambientais fossem favoráveis ao trabalho de infiltração das águas, o abastecimento do lençol estaria altamente comprometido, porque as chuvas que se precipitam na área do afloramento são muito escassas e, além disso, bastante irregulares e torrenciais. Isso mesmo, no grupo dos postos pluviométricos que cobrem a área, a média anual da precipitação situa-se em torno dos 730 mm. Sendo que, desse total, cerca de 570 mm (78%) caem, de forma torrencial, em apenas 4 (quatro) meses. Os 8 (oito) meses restantes não chovem o suficiente para atender a realimentação do aquífero, que não sofre nenhuma interrupção diária ou anual.

### **Excesso de desmatamento**

O característico mais marcante da área, sob o ponto de vista vegetacional é, seguramente, o seu avançado estágio de desmatamento. Considerando a cobertura vegetal natural como sendo o fator que exerce o maior controle sobre o funcionamento em equilíbrio do sistema hidrogeológico, principalmente no que se refere ao mecanismo da infiltração das águas pluviais para a manutenção dos aquíferos, foi achado conveniente um estudo mais acurado a respeito. Para este caso particular, onde se está analisando o grau maior ou menor de favorabilidade à infiltração das águas alimentadoras dos mananciais, sejam eles subterrâneos ou de superfícies. A avaliação foi feita com base nos espaços com diferenciados níveis de desmatamento. Uma vez que não mais havia vegetação sem os sinais fortes da interferência humana. Com o apoio das imagens de satélite do Landsat 5 TM, foram classificados três níveis (I, II e III) de desmatamento. Cada um com as suas próprias particularidades, como seguem:

Nível I – Foi considerada a parcela que menos tem passado pelo processo de desmatamento generalizado. Ou aquela cuja vegetação possui uma densidade ainda admitida como favorável ao trabalho de percolação. O detalhe é que a vegetação com esta categoria ocupa apenas a insignificante área de 360 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 12,8% do total de 2.810 km<sup>2</sup> da área aflorante.

Nível II – Compreende a porção cujo grau de desmatamento ainda não foi considerado como totalmente comprometedor ao mecanismo de infiltração. São as áreas produto da regeneração por abandono da área anteriormente devastada na sua totalidade. Totalizou apenas 440 km<sup>2</sup>, ou o equivalente a 15,7% do total.

Nível III – É a área em que o desmatamento se encontra no seu estágio mais avançado. É aquele que foi classificado como o mais prejudicial ao processo de infiltração das águas pluviais. Ele é o que abrange a maior extensão, com 2.010 km<sup>2</sup>, o que alcançou os 71,5% da totalidade da área.

Uma vez conhecida essa primeira etapa dos estudos sobre os mecanismos da produção, da proteção e da insuficiente infiltração das águas infiltradas para o atendimento do aquífero, se tem uma visível noção do seu estado para fins de utilização pública. Percebe-se, por exemplo, que o grande volume do reservatório não era nada satisfatório em matéria de reposição das águas retiradas do lençol para o atendimento da população. A comprovação real disso, todavia, somente seria obtida após os conhecimentos sobre os poços, sua produção, sua permanência de vazão e seu estado de conservação e manejo. O que se constituiu na segunda etapa da pesquisa, como segue.

### **CONFIGURAÇÃO DOS POÇOS**

Esta parte dos estudos foi considerada como indispensável à concretização da pesquisa, na medida em que sem o seu cumprimento não haveria como se alcançar o objetivo principal, desde que não seria possível a comprovação da hipótese previamente formulada. Das informações que deveriam ser obtidas constavam os levantamentos sobre o número de poços perfurados relativos ao reservatório do Aquífero em referência. Também constavam a vazão e o volume da produção de cada poço, junto com os respectivos consumos. Inclusive, ainda, os dados sobre o destino da produção.

#### **Poços perfurados e em operação**

De acordo com os levantamentos desses dados portadores de altos conteúdos técnicos foram obtidas todas as informações necessárias. Pela consulta feita, constatou-se que havia, na ocasião, 282 poços perfurados. Porém somente 177 estavam em atividade. Ou seja, com produção diária contínua. Essa quantidade de poços perfurados tinha distribuição ao longo de toda a superfície da Bacia Potiguar. Mas a grande maioria se concentrava pelos arredores da cidade de Mossoró, local por onde a demanda de consumo era a maior de toda a circunscrição da bacia. E onde a produção total de água retirada do aquífero através dos poços em operação, representava um volume total da ordem de 2.520 m<sup>3</sup> por hora. Um informativo considerado



relevante foi o de que em apenas 24 unidades, ou seja, em apenas 13,6% do conjunto, se produzia 34,5% do total geral explorado. Além do que, a produção de cada um desses 24 era sempre superior aos 50 m<sup>3</sup> horários. Eles representavam, também, o grupo dos que atingiam a maior profundidade do substrato sedimentar, com variação situada entre os 500 e até mais de 1.000 metros. Essa importância referida significa que são precisamente aqueles os poços responsáveis pela exploração em grande escala do aquífero Arenito Açú, desde que toda água por eles utilizada destinava-se ao abastecimento público, à indústria e à irrigação de grandes empresas. Abrangendo, nesse grupo, as áreas urbanas, as agroindustriais e as agropecuárias.

### Destinos das águas

Essa etapa dos trabalhos foi realizada numa tentativa de se estabelecer uma comparação entre a situação funcional dos poços no momento da investigação, e aquele outro momento constante dos dados consignados nos relatórios técnicos já referenciados. Objetivando, com isso, verificar se o lençol estaria sofrendo rebaixamento de nível proporcionado pela alta exploração em curso.

De acordo com os dados levantados, o destino das águas retiradas do aquífero para o uso da população residente na área da Bacia Potiguar é medido, inicialmente, pela quantificação dos poços e a classe de uso que cada grupo atende. Assim, dos 177 poços que estavam em atividade, 74 (41,8%) eram utilizados para o abastecimento público; 39 (22,0%) para o uso animal e a irrigação; 46 (25,9) tinham a sua produção destinada ao uso doméstico; 05 (2,8%) atendiam as necessidades industriais; e, 13 (7,3%) produziam para outras classes de uso. Por indisponibilidade de dados completos não foi possível a realização dos levantamentos sobre os valores em metros cúbicos utilizados por cada uma dessas referidas classes.

Sobre o destino das águas retiradas do aquífero para o atendimento do consumo nessas diversas classes de uso foram selecionadas como exemplos, três grandes organizações consumidoras, uma para cada caso. Essas informações, colhidas verbalmente, tiveram como entrevistados os representantes gestores dessas três principais organizações gestoras dos poços.

- Empresa MAISA – Importante indústria que utiliza a água para dois destinos pertencentes à mesma organização: a irrigação e o funcionamento da indústria. Do primeiro caso são beneficiadas as culturas de plantas que ocupam grandes extensões de terra e que têm como linha de mercado principal de comércio, a exportação. Das diversas culturas objetos das plantações destaca-se o melão. Quanto ao segundo caso, a água extraída dos próprios poços destinava-se ao funcionamento da indústria beneficiadora dos próprios produtos por ela cultivados em todos os níveis de utilização. A vazão dos poços que estavam em funcionamento situava-se entre 50 e 120 m<sup>3</sup> por hora.
- Indústria Itapetinga – Destacada fábrica de cimento que se localiza próximo à cidade de Mossoró. Por informação verbal do seu representante, a empresa operava com apenas um poço, cuja profundidade alcançava os 994 metros e já contava com 15 anos de uso. A água retirada dele, após o uso, era sempre reaproveitada pela fábrica, como uma forma de reduzir o consumo e economizar o volume da vazão explorada, sobre quem não foram obtidas maiores informações.
- CAERN – Empresa estatal responsável pelo abastecimento público d'água de todo o Estado do Rio Grande do Norte. A informação verbal, que não soube precisar a quantidade de poços em operação no momento, nem o volume da vazão por eles disponibilizada para o uso diário e permanente. Deu conta apenas de que vários já haviam sido desativados. Seja por contaminação pela água do sobreposto calcário (Aquífero Jandaíra), seja porque a câmara de bombeamento já havia sido alcançada pelo nível estático. Ou ainda, por outros motivos de ordem técnica, que não foram precisados.

Muito importante também era o fato de que, dos poços com produção situada na faixa superior aos 50 m<sup>3</sup>/horários, num total de vinte e quatro (13,6%), eles sozinhos produziam 34,5% da vazão utilizada. A distribuição da vazão, por faixas e volumes da produção foi informada sob a classificação expressa na tabela abaixo.

Tabela 1 – Distribuição dos Poços por Volume da Produção

Produção em m <sup>3</sup> p/h	Nº de Poços	%	Vazão (m <sup>3</sup> p/h)	%
Até 10 m <sup>3</sup>	130	15,0	334	13,3
De 10 a 50 m <sup>3</sup>	23	2,6	466	18,5
De 50 a 80 m <sup>3</sup>	19	2,2	1.200	47,6
De 80 a 120 m <sup>3</sup>	05	0,6	520	20,6
Totais	177	100	2.520	100

Fontes: IPT. Relatório 15.795, Vol. I (s/d); ATEPE, 1986.

### Estado de funcionamento dos poços

De acordo com os dados resultantes dos levantamentos, foram contabilizados 1.278 poços perfurados ao longo de toda a Bacia Potiguar. Dos quais, 282 pertenciam ao Aquífero Arenito Açú. Os demais eram dos aquíferos: Calcário Jandaíra, com 864; Grupo Barreiras, com 48; e, Aluviões/Dunas, com 84. Sendo que o maior volume de vazão era do Arenito Açú, com 2.520 m<sup>3</sup> horários, o que representava 48,9% do total. Já

foi informado que, daqueles seus 282 poços, apenas 177 se encontravam em operação. Resultando, com isso, que 105 já estavam desativados, ou confirmados como improdutivo. Alguns há mais de dez anos. O principal motivo desse *status* de funcionamento devia-se ao nível da câmara de bombeamento que já alcançara o seu máximo de profundidade. Essa informação foi considerada da maior relevância porque ficou constatado que o aquífero já não estava sendo reabastecido nem mesmo na quantidade que lhe estava sendo retirada.

Ficou constatado, assim, que a maioria daqueles poços já sofrera rebaixamentos acentuados o suficiente para terem a sua produção definitivamente paralisada. Isto havia acontecido tanto no nível estático quanto no dinâmico. O que resultaria num rebaixamento geral do nível piezométrico do aquífero. Estas informações serviram para confirmar, junto às demais acima estudadas, que não haveria mais nenhuma dúvida sobre o rebaixamento de nível do aquífero em referência, por conta do uso massivo da sua água. Ao lado desse rebaixamento havia também a redução na vazão de todos os poços que se encontravam em operação. Casos assim haviam ocorrido com aqueles em que a câmara se encontrava com profundidade inferior aos 35 metros. São tomados alguns exemplos de poços que se enquadravam nesse *status*:

a) Poço da Fábrica Itapetinga. Por informação do seu representante entrevistado, constava que esse já havia sido, na época em que foi perfurado há 15 anos, um poço jorrante do tipo artesiano. Mas há dois anos, quando foi feito o estudo sobre o seu rebaixamento, o nível dinâmico já se encontrava a 73 metros de profundidade. Isso significa dizer que o rebaixamento de nível do lençol estava atingindo um ponto muito próximo da paralisação em definitivo;

b) Poços da Empresa MAISA. Foi informado que dos seus 13 poços já perfurados, com uma profundidade média de 600 metros, apenas 5 deles estavam em operação, por que não havia perdido vazão nem rebaixamento de nível. Mas isso era devido ao fato de que três deles estavam com dois anos de uso e dois com quatro anos. Os mais antigos, com idade média de doze anos, estavam em inatividade porque o nível estático já alcançara a câmara do bombeamento. Pela informação, não havia previsão de mais alternativas de obtenção de água, no caso de o aquífero atingir o seu ponto de esvaziamento. A política ainda era a de perfurar novos poços em substituição aos inoperantes ou desativados;

c) Poços da Escola Superior de Agricultura de Mossoró - ESAM. O relato foi o de que, dos seus dois poços em operação, um deles já foi jorrante ou artesiano. Mas no momento o nível estático dele, após 22 anos de uso, se encontrava mais ou menos a 50 metros, e o dinâmico a 80. Além disso, a vazão era de apenas 2,3 m<sup>3</sup> por hora. O poço, da fazenda experimental, há doze anos atrás, o seu nível estático era de 46 metros, e o dinâmico, de 49. Na ocasião o nível estático estava já a 88 metros. Não foi informado sobre o dinâmico. Mas ficou perfeitamente constatado o rebaixamento de nível do aquífero;

d) Poços da Empresa estatal responsável pelo abastecimento d'água do Estado do Rio Grande do Norte - CAERN. A informação verbal foi a de que todos os seus poços já sofreram rebaixamentos acentuados, tanto no nível estático quanto no dinâmico. Seguindo a esse rebaixamento havia também a redução na vazão de todos os que se encontravam em operação. Razão pela qual, vários já haviam sido desativados. Casos assim ocorreram com aqueles poços em que a câmara se encontrava a poucos metros de profundidade.

Ao lado dessas informações dadas pelos entrevistados, alguns dados quantitativos foram retirados do relatório da ATEPE (1986) que foi elaborado para a própria CAERN sobre os poços a ela pertencentes. Dados referentes apenas aos níveis dinâmicos de doze dos seus 20 poços perfurados. Os oito restantes já haviam sido desativados por ocasião da pesquisa porque os níveis dinâmicos atingiram os das câmaras de bombeamento. Assim, para os doze encontrados em operação, o monitoramento acusou, para um período em torno de quatro anos, um rebaixamento médio de nível em torno de 18,61 metros. Sendo que: cinco com redução de até 10,00 metros; quatro entre 10,22 e 22,30; um com 30,60; outro com 36,10; e, o último com 57,81. Baseado nisso, a previsão de rebaixamento para o ano de 2010 foi de uma profundidade sempre superior aos 200 metros. Porque esses valores estariam muito abaixo da câmara, todos estariam com a produção encerrada.

### **Idades das águas**

Os dados aqui consignados resultaram exclusivamente de uma única fonte: o relatório técnico do IPT (s/d). Apesar de serem pouco significativos em quantidade de poços, pois apenas cinco havia sido amostrados. eles foram considerados relevantes, na medida em que completam as demais informações, com vistas às conclusões finais acerca da possível incapacidade produtiva dos poços por terem alcançado o nível máximo permitido para a exploração, ou esvaziamento total do aquífero no local da perfuração.

Conforme pode ser observado na Tabela 2, a idade das águas dos poços referenciados, obtida pelo método C<sup>14</sup>, conforme o relatório citado, varia entre um pouco mais de treze e um pouco menos de dezoito mil anos. Isso significa que a água que estava sendo retirada dos poços naquela ocasião (1981), jazia naquele local há um pouco mais de 13.000 anos. Ou pelo menos que ela foi infiltrada desde esse longo tempo. Note-se que o "tempo de trânsito" da água, desde a sua zona de recarga até o local da coleta (106 km), dos dois poços amostrados, foi calculado entre 3.335 e 4.919 anos, a uma velocidade média de 25,7 metros por ano.

A distância de 106 quilômetros é mais ou menos a que se verifica entre a cidade de Apodi e a foz do rio desse mesmo nome, em linha reta. O trecho onde se concentra o maior número de poços situa-se entre a foz, na cidade de Areia Branca, e a cidade de Mossoró, num trajeto de 50 km, aproximadamente.

Tabela 2 – Idade e Trânsito das Águas

Identificação do Poço	Idade das Águas (em mil anos)	Distância (km) da Zona de Recarga	Tempo de Trânsito (anos)	Data da Perfuração
824-021	17,0 a 17,7	106	3.335 a 4.919	1978
895-003	13,6 a 13,7	106	3.335 a 4.919	1962
897-132	16,7 a 16,9	-	-	1976
899-169	15,2 a 15,5	-	-	1980
973-014	16,8	110	-	1964

Fonte: IPT. Relatório 15.795, Vol. I (s/d)

Esses dados sobre a idade das águas e o tempo gasto no percurso até onde ela estava sendo retirada, embora não muito representativos, são bastante elucidativos ao se correlacionar com a história paleoclimática dessa faixa tropical brasileira, particularmente da nordestina submetida ao atual clima semi-árido. Estimam os atuais estudos paleoclimáticos e geomorfológicos, que a última glaciação conhecida, a de WURN, teve seu início lá pelos idos de 65 a 70 mil anos, e foi encerrada por volta dos 12 aos 25.000 anos atrás. É dado também que, por ocasião das geleiras nos polos, os seus efeitos nos trópicos manifestavam-se por meio de climas tropicais severos do tipo árido ou semi-árido. Algo comparativo ao que ocorre atualmente na área pesquisada. Com a diferença de que hoje, em plena fase interglaciar, permanece a severidade climática em toda a sua plenitude. Teria havido nesse meio tempo condições climáticas e vegetacionais favoráveis ao completo abastecimento do referido lençol?

Tomando-se isso como verdadeiro, e aplicando-o ao caso da área estudada, se possibilita levantar a hipótese de que a água que se encontra armazenada no aquífero Arenito Açú é oriunda de chuvas caídas ainda naquela provável fase chuvosa, o que indica ser um reservatório fóssil. Como já foi visto nos itens anteriores, os fatores ambientais atuantes na área aflorante do aquífero atestam por um paleoambiente próprio de clima tropical quente e úmido não estacional. Com o fim daquela glaciação e a permanência do clima semi-árido, toda a vegetação florestal desenvolvida na área ressentira-se dos efeitos da estacionalidade climática, tornando-se decídua, raquítica e portadora de espécies seletivas, beirando até os limites da extinção de grande parte delas.

Isso significa que, na época da infiltração das águas que hoje estão sendo utilizadas, havia todo um processamento ambiental plenamente favorável a esse mecanismo. Principalmente em termos de cobertura vegetal e de maior duração das chuvas anuais. No estado atual, em que tudo isso foi revertido, a dinâmica do ambiente, incluindo o componente antropogênico, não tem como manter aquele mesmo estágio de equilíbrio. E se, ainda assim, a capacidade de infiltração se mantivesse em atividade, o seu insuficiente volume levaria quase 5.000 anos para chegar ao destino onde está sendo explorada. Estes fatos justificam o amplo e rápido processo de rebaixamento de nível do aquífero. E junto com ele, todas as evidências estavam assinalando para um impossível reabastecimento. Ao menos nas circunstâncias ambientais contemporâneas. Em vista disso, concluiu-se que se tratava de um armazenamento de água de fato fossilizada.

## ANÁLISE

A discussão, em conjunto, desses resultados até aqui consignados permite a constatação de um quadro que fora inicialmente objeto de suspeita: o esvaziamento do Aquífero Arenito Açú e sua relação com o desmatamento/desaguamento da sua zona de recarga. De fato, àqueles fatores iniciais, a exemplo do curto período chuvoso na área, da pequena dimensão da área do afloramento e das restrições de infiltração, além da exploração em grande escala das suas águas; somaram-se estes que apenas confirmaram o que até então se configurava como pressuposto: o rebaixamento do nível piezométrico do aquífero movido pela forte interferência humana através dos desmatamentos sistematicamente continuados e de um uso descontrolado.

Considerando a idade das águas entre o mínimo de 13,6 e o máximo de 17,7 mil anos, significa que houve paralisação da infiltração ao longo daquele período geológico. Coincidentemente, no momento em que o clima mudou para semi-árido. E com ele, a vegetação, que antes era florestal foi retraída. Então, sem vegetação favorável e sem água de chuva suficiente, o sistema entrou em colapso no sentido da realimentação do aquífero. Quanto à participação do fator antropogênico, que passou a interferir apenas a partir do século XVI, a sua contribuição no referente à infiltração das águas pode ser considerada pouco significativa. Porém no sentido do esvaziamento do lençol subterrâneo ou na redução do seu volume, e com as consequências disso resultantes, essa interferência foi altamente relevante, no sentido negativo ao equilíbrio do sistema. Do ponto de vista natural ela se evidencia pela influência do clima semi-árido a que a área está submetida. Clima este que foi instalado logo em seguida ao período quente e úmido que

intemperizou as rochas e favoreceu o desenvolvimento pedogenético e vegetacional. Estes mesmos que ainda hoje se fazem testemunhar. Essa inversão climática não foi responsável só pelo truncamento daquele desenvolvimento, mas também pela retração natural de todos os componentes ligados à vegetação. Inclusive nos fatores sistemáticos, biotípicos e fisionômico-estruturais. E por extensão, todo o mecanismo do sistema hidrológico e hidrogeológico da área. Por isso ele é considerado frágil e desarticulado, na medida em que a vegetação não mais reverterá ao seu estágio original sem que antes haja o retorno a um clima favorável a esse novo estágio fitoambiental.

Em nenhum dos relatórios pesquisados foi abordada essa possibilidade de perda de infiltração das águas pluviais necessárias à recomposição do volume explorado, principalmente devida aos desmatamentos. Assim, por exemplo, o trabalho de Rebouças *et alii* (1967), que considerou a taxa média de infiltração em torno de 0,9% do total pluviométrico precipitado na área, não inclui o fator vegetação no cálculo desse coeficiente. O mesmo acontece no relatório do IPT (s/d), que calculou uma taxa de infiltração da ordem de 4,2% das chuvas caídas. Nele, foram considerados apenas os fatores: permeabilização dos solos e declividade dos terrenos. Essa diferenciação de valores também ocorreu nos cálculos da vazão de escoamento superficial. Enquanto Rebouças *et alii* (1967) estima em 5,0 milhões de m<sup>3</sup>/ano; o IPT considera-os em torno de 19,0 milhões de m<sup>3</sup>/ano.

A vazão de escoamento natural estimada por Rebouças *et alii* (1967), como sendo de 5,0 milhões m<sup>3</sup>/ano, se explorada apenas esse valor no curso de cada ano, ou o equivalente próximo de 578 m<sup>3</sup>/hora, as reservas permanentes (volume total do reservatório) não seriam afetadas. Estes autores, ao considerarem que os sistemas de captação só permitiriam uma exploração em torno de 1/3 (um terço) das reservas, este montante, no caso do Açú, durariam 400 anos para que fossem esgotados os seus 120,0 bilhões de m<sup>3</sup>. Desde que o volume da exploração alcançasse apenas o do reabastecimento. Nessa previsão ainda foi considerado que o incremento populacional seria dobrado a cada vinte anos. A recomendação dada por aquele trabalho foi a de que, por se tratar de um aquífero sob pressão, e estar situado em zona litorânea, seria racional explorá-lo sem se preocupar com a realimentação. É evidente que, pelas limitações que já foram colocadas, esse ponto de vista não deve ser de modo nenhum levado em consideração.

Em comparação, os cálculos do IPT (s/d), que calculou a taxa de infiltração em 4,2% das chuvas caídas numa área de apenas 1.055 km<sup>2</sup> considerada favorável, o trabalho concluiu por um período de uso do aquífero, até o esvaziamento total dos seus 181,0 bilhões de metros cúbicos de reserva, da ordem de 13.115 anos. Desde que mantidas as taxas de recargas, descargas e exploração. Os valores alcançados para essas taxas, a que denominou de balanço hídrico, foi de 20,6 bilhões de m<sup>3</sup>/ano para recarga; 18,9 bilhões para descarga ou escoamento natural; e 15,4 bilhões para o volume explorado. Subtraídos estes, do primeiro, foi obtido um déficit hídrico de 13,7 bilhões de m<sup>3</sup>/ano. Esse déficit anual proporcionaria um rebaixamento do nível piezométrico de 4,4 metros por ano.

Por sua vez, o relatório da ATEPE (1986), que não chega a precisar os dados nesse mesmo nível de detalhe, no entanto estima que, o rebaixamento máximo de 675 metros seria atingido ao final de 127 anos. Isso pode ser entendido como sendo o esvaziamento do aquífero, se mantidos os níveis de exploração de então. No entanto, ao considerar um incremento populacional de 100% a cada 20 anos, e à base de um consumo per capita de 250 litros/dia, o trabalho obteve uma previsão de demanda para o ano 2.010 em torno de 4.580 m<sup>3</sup>/h. Ou, 40,12 milhões de m<sup>3</sup> /ano. Sendo este valor o triplo da descarga calculada na ocasião, admite o trabalho que isso implicaria num rebaixamento de 403 metros até aquela data. O que inviabilizaria os bombeamentos, já que os níveis dinâmicos iriam para 378 metros de profundidade, o que se colocaria bem abaixo das câmaras de bombeamento dos poços. Chama a atenção, todavia, que isso somente poderia acontecer se os novos poços que deveriam ser perfurados para atender a demanda futura, num total de 18 (dezoito), deveriam ser perfurados na mesma área dos já existentes. Afirmando, com isso, que aquela inviabilização não se deve à incapacidade produtiva do aquífero, mas na má distribuição dos poços futuros. Convém lembrar em tempo, que os dados consignados no citado relatório não se referem à Bacia Potiguar como um todo. Sua abrangência limita-se à região de Mossoró e suas vizinhanças, por onde se concentram os poços da CAERN.

Ainda dentro dessa diversificada contraposição de dados, seja por questões estruturais ou metodológicas, cabe, pelo menos, mais uma comparação. Ela se refere à estimativa do volume da infiltração em m<sup>3</sup> por ano, das águas de chuvas na área aflorante do aquíferos Arenito Açú, contabilizado nos trabalhos de Rebouças *et alii* (1967) e do IPT (s/d). Do primeiro foi considerado que a área de exposição às chuvas, sem restrições de maior ou de menor capacidade de infiltração, o volume alcançado ficaria em torno dos 26,1 milhões de m<sup>3</sup> por ano.

Diante de um quadro informativo dessa natureza e magnitude, fica muito difícil, senão arriscado do ponto de vista da confiabilidade, formular-se qualquer opinião consistente que sirva de suporte aos pressupostos buscados por este estudo. Só a título de ilustração, chega a fugir a compreensão o fato de que o aquífero Arenito Açú, segundo o IPT, levaria 13.115 anos para ser esvaziado, em se mantendo os níveis de entrada e saída de água na época, com um déficit hídrico de 13,7 bilhões de m<sup>3</sup> por ano. Sabe-se que, com esse

déficit, o nível piezométrico seria reduzido em 4,4 metros a cada ano. Ora, em se considerando uma espessura de 150 metros em média para o aquífero, conforme cálculos do mesmo trabalho; considerando também que os níveis: dinâmico e estático dos poços sejam reduzidos na mesma proporção de 4,4 m/ano; o tempo de esvaziamento seria apenas de um pouco mais de 34 anos. Valor esse muito próximo do obtido pela ATEPE (1986), em se tomando como correto o dado de Rebouças et alii (1967) de que o aquífero só pode ser explorado em apenas 1/3 (um terço) do seu volume. Aliás, em se admitindo essa hipótese também para o caso anterior, aqueles 34 anos encontrados ficariam reduzidos a um pouco mais de 11 anos apenas. Neste caso, ao contrário, o tempo de vida da exploração já seria curto demais. Como se pode ver, de fato não há condições de se buscar elementos que sirvam de apoio em um ou outro dos estudos citados

Retornando ao ponto em que se fazia referência entre o desmatamento da zona de recarga, a exploração e a situação do aquífero, não é demais repetir que a relação é direta e nela se apóia praticamente todo o centro das discussões. Infelizmente não se dispõe aqui, como não se dispôs naqueles trabalhos referenciados, de medidas seguras sobre o volume exato da infiltração em metros cúbicos da água de chuva para efeito de realimentação do aquífero. E, menos ainda, do percentual exclusivo de cada parcela que pelas suas características físicas sejam individualizadas em relação às demais.

Não sendo isso possível, foi forçoso admitir-se, à luz das circunstâncias e dos poucos dados disponíveis, que o sistema estava marchando para um estágio de desequilíbrio com conseqüências pouco animadoras para as populações que se servem da água fornecida pelo aquífero Arenito Açú.

## **CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

As conclusões que foram retiradas abrangem uma grande variedade temática, mesmo no âmbito apenas da Fitogeografia, que foi a disciplina norteadora da pesquisa. Esta linha de abordagem foi definida como sendo um "Estudo de Fitogeografia Aplicada" (Assis, 1989). Neste estudo em particular, verificou-se a incompatibilidade do funcionamento em equilíbrio entre o volume da exploração do aquífero através de poços perfurados, e o estado atual da vegetação que regula a infiltração das águas pluviais abastecedoras do referido aquífero. Nesse sentido, e de acordo com os resultados obtidos e analisados nos itens anteriores, tudo o que foi possível retirar como material conclusivo, juntamente com o que foi possível sugerir à guisa de contribuição, se subordinam a esse princípio básico dessa nova abordagem científica. Nessa linha de raciocínio, as conclusões foram as seguintes:

Constatou-se, através da interpretação de imagens e dos xeques de campo realizados por ocasião dos levantamentos, que a área aflorante do Arenito Açú havia sido desmatada na sua totalidade, com conseqüências alarmantes. Alguns exemplos são: a interrupção da infiltração das águas; a extinção da biodiversidade nativa; a erosão acelerada do solo; e, a desertificação.

- Comprovou-se o rebaixamento do aquífero em todos os níveis: piezométrico, estático e dinâmico dos poços em funcionamento. Além disso, as previsões, ainda que um pouco desencontradas, assinalavam para um esvaziamento provável para os anos entre 2010 e 2020.
- O pleno desmatamento da área de infiltração contribuiu, em definitivo, para o desaparecimento de toda a biota componente da vegetação original que compunha o sistema fitoambiental desenvolvido sob clima tropical quente e úmido sem estação biologicamente seca anual.
- Os dados sobre a idade das águas assinalaram para a confirmação de que, nas circunstâncias ambientais contemporâneas, não haveria nenhuma possibilidade do aquífero receber água das chuvas para o seu reabastecimento.

Vistas estas principais e resumidas ponderações feitas no âmbito das conclusões, percebeu-se que o cerne da questão centralizava-se basicamente em três pontos fundamentais. Um de ordem exclusivamente natural, e dois decorrentes da ação humana. Da ordem natural tinha-se o clima semiárido como o responsável pelo não reabastecimento do lençol, pois não havia chuvas em quantidades suficientes. Enquanto os de origem antrópica revelavam-se pelo desmatamento generalizado por um lado, e pelo descontrole no uso da água e no desconhecimento das conseqüências, por outro lado. Assim, aquilo que se consagrara como um recurso natural renovável, já não mais apontava para essa possibilidade.

Perante o exposto acerca dos resultados consignados, achou-se necessário a proposição de algumas recomendações. As quais se limitaram àquelas achadas da melhor conveniência, como segue.

- É indispensável que ao lado da exploração do aquífero e do incremento na perfuração de mais poços em atendimento à demanda sempre crescente, se mantenha um rigoroso controle, à base de um conhecimento mais seguro do potencial aquático subterrâneo. Esse conhecimento diz respeito ao volume mais exato possível da reserva permanente, do total consumido atual e ao projetado para o futuro, ano a ano, até o esvaziamento. Bem como ao monitoramento permanente da situação dos níveis estático e dinâmico dos poços e, por extensão, dos níveis piezométricos alcançados por cada bateria de poços em atividade.
- Vencidas essas premissas iniciais e exercido o controle pleno da situação, deveria partir-se para a idealização de projetos alternativos de produção de água em complementação e até em substituição da

que estava sendo retirada do aquífero.

- A complementação poderia ser feita através da exploração de um maior volume do aquífero Calcário Jandaíra, naquilo que a qualidade da sua água pudesse permitir com destino ao atendimento público. Em se tomando essa iniciativa, porém, todo o trabalho de conhecimento e monitoramento passaria a ser exigido também para as suas reservas. De princípio estava se admitindo que aquele aquífero (Jandaíra) não se enquadraria no mesmo grau de ameaça que o do Arenito Açú, porque a zona de recarga dele é ampla, é plana e ainda dispunha de cobertura vegetal original em proporções consideradas satisfatórias.

Quanto à substituição definitiva do potencial consumido por ocasião do esvaziamento do lençol a alternativa que melhor se apresentava naquele momento era o aproveitamento da água de superfície. Naturalmente através da construção de represas, especialmente à montante da bacia, principalmente nos rios que a atravessam. Tendo o Piranhas-Açú e o Apodi, como os mais propícios.

Projeto nesse sentido deveria ser o quanto antes providenciado, com vistas à utilização da atual represa daquele primeiro rio, à montante da cidade que lhe cedeu o nome: Açú. Posteriormente a esta pesquisa, as águas desta represa, batizada de “Eng<sup>o</sup> Armando Ribeiro Gonçalves”, passou a abastecer as concentrações urbanas circunscritas no perímetro da bacia, principalmente a maior de todas: a cidade de Mossoró, em substituição às águas do Aquífero Arenito Açú. Todavia, apesar disso, o projeto de expansão deverá continuar, por conta dos incrementos incessantes da demanda. Para o projeto de novas unidades de igual porte da represa acima referida, o rio Apodi se destaca como o mais adequado nas circunstâncias atuais de distância dos maiores centros urbanos distribuídos na área da bacia, assim como das suas vizinhas situadas ao sul, no embasamento cristalino. Este rio pode abrigar várias represas de grande porte que serviriam, inclusive, para perenizar todo o seu vale, com reconhecidos benefícios outros que não apenas o de substituir as águas subterrâneas confinadas no Arenito Açú.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SÁBER, Azis Nacib. 1983. Razões da retomada parcial de semi-aridez holocênica, por ocasião do *optimum climático*. In: ROSADO, V. *Quinto livro das secas*. Natal: Fundação Guimaráes Duque, p. 87-100. (Coleção Mossoroense).

AB'SÁBER, Azis Nacib. 1982. Problema da desertificação e da savanização no Brasil. Escritos e Documentos. São José do Rio Preto, (108): 1-27.

AB'SÁBER, Azis Nacib. 1969. Participação das superfícies aplainadas nas paisagens do nordeste brasileiro. *Geomorfologia*, São Paulo, v. 19, p. 1-38.

AB'SÁBER, Azis Nacib. 1979. Estratégia ótima para a preservação de patrimônios genéticos. *Paleoclimas*, São Paulo, v. 4, p. 1-7.

AB'SÁBER, Azis Nacib. 1957. Conhecimentos sobre as flutuações climáticas do Quaternário no Brasil. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, São Paulo, v. 6, p. 41-48.

AB'SÁBER, Azis Nacib. 1992. A teoria dos refúgios: origem e significado. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2, 1992, São Paulo. *Anais*. São Paulo: Unipress, v. 1, p. 29-34.

ANDRADE-LIMA, Dárdano de. 1989. *Plantas das caatingas*. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciência. 243p.

ANDRADE, Gilberto Osório de. 1968. Gênese do relevo nordestino: estado atual dos conhecimentos. *Estudos Universitários*, Recife, v. 8, p. 35-47.

ANDRADE, Gilberto Osório de. 1959. A superfície de aplainamento pliocênica do Nordeste do Brasil (II – o setor setentrional). *Notícia Geomorfológica*. Campinas, v. 4, p. 17-25.

ANDRADE, Gilberto Osório de. 1965. Introdução à morfoclimatologia do nordeste do Brasil. *Arquivos*, Recife, v. 3/4, p. 17-28.

ASSIS, José Santino de. 1993. Meio Biológico: Vegetação. In: UFAL; FUNDEPES)/PETROBRÁS. *Estudo de impacto ambiental, zoneamento ambiental e Relatório de Impacto do Meio Ambiente da Área de Proteção Ambiental de Piaçabuçu: Zoneamento Ambiental*. Maceió/Rio de Janeiro: s.n, p. 71-91..

ASSIS, José Santino de. 1993. Meio Biótico: Vegetação, flora e fauna. In: TECNOSOLO/EPTISTA. *Estudo de viabilidade sócio-técnico-econômica para aproveitamento hidroagrícola das áreas semi-áridas dos Estados de Alagoas e Sergipe*. Maceió/Fortaleza; s.n., (Relatório Técnico).

ASSIS, José Santino de. 1985. Uma planta de habitat ombrófilo numa área seca do Nordeste. *Boletim de Geografia Teórica*, Rio Claro, v. 15, p. 347-54.

- ASSIS, José Santino de. 1988. *Fitogeografia, uso do espaço e proteção ambiental: o caso de uma relíquia paleo-ambeinatl ameaçada de extinção*. Recife: DCG/UFPE..70 p. (Dissertação de Mestrado).
- ASSIS, José Santino de. 2009. Pingos d'água em raras árvores. *In: Enciclopédia Biosfera*. Goiânia, v. 5.
- ASSIS, José Santino de. 2006. Desertificação: entre a ciência e a política. *Sapiência*, Teresina, v. 7, p. 6-7.
- ASSIS, José Santino de. 1998. *Um projeto de Unidades de Conservação para o Estado de Alagoas*. Rio Claro: IGCE/UNESP. Tese de Doutorado em Geografia. IGCE/UNESP, 241 p.
- ASSIS, José Santino de. 2008. Desertificação natural e antropogênica no Seridó Ocidental Norte-Rio-Grandense. *In: Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto – Geotecnologias e Meio Ambiente, IV GEONORDESTE, 2008, Aracaju-SE. Anais*. EMBRAPA/CPATC,
- ASSIS, José Santino de. 1985. Vegetação. *In: BRASIL/SEPLAN/PROJETO RADAMBRASIL. Levantamento geológico, hidrogeológico, de solos e vegetação da Folha SB. 24 ZA-II Pau dos Ferros*. Salvador/Recife: RADAMBRASIL/SUDENE, p. 351-406.
- ASSIS, José Santino de 1986. Problemas ambientais decorrentes da antropodevastação das paleoflorestas do sudeste do Piauí. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE O MEIO AMBIENTE, I. Comunicações 1*. Recife: FUNDAJ, vol. 1, p.81-88.
- ASSIS, José Santino de 1989. Zoneamento Fitoambiental da Bacia Cretácica Potiguar. *Caderno Norte-Rio-Grandense de Temas Geográficos*. Natal, v. 4, p. 05-16.
- ASSIS, José Santino de 1990. *Zoneamento fitoambiental da Bacia Potiguar em relação com o uso dos recursos hídricos subterrâneos*. Natal/Maceió: CNPq/UFRN-UFAL. 94 p. (Relatório Técnico).
- ASSIS, José Santino de 1991. O desmatamento da Bacia Potiguar e seus efeitos no esvaziamento do aquífero "Arenito Açú". *Revista de Geociências*. Maceió, v. 4, p. 13-18.
- ASSIS, José Santino de 2000. *Biogeografia e conservação da biodiversidade*. Maceió/São Paulo: Edições Catavento. 200 p.
- ATEPE. 1986. *Captação de Mossoró: perspectivas e atendimento da demanda futura e previsão de níveis dinâmicos*. Natal: CAERN. 647 p.
- AUBRÈVILLE, A. 1949. Les fondements de l'écologie forestière tropicale, 1. Étude des relations de causalité entre les formations forestière et les milieux tropicaux. *In: AUBRÈVILLE, A. Climats, forêts et desertification de l'Afrique tropicale*. Paris, Societé d'Edititions Geographiques, Maritimes et Coloniales, p. 9-79.
- BAGNOULS, F.; GAUSSEN, H. 1963. Os climas biológicos e sua classificação. *Boletim Geográfico*, Rio de Janeiro, vol. 176, p. 545-566.
- BEURLEN, Karl. 1967. *Geologia da região de Mossoró*. Rio de Janeiro: Pongetti, 173 p. (Col. Mossoroense 18, série C).
- BIGARELLA, João José. 1975. The Barreiras Group in northeastern Brazil. *Separata dos Anais da Acad. Bras. de Ciências (Suplemento)*. Curitiba, v. 47, p. 365-393.
- BIGARELLA, João José. 1971. Variações climáticas no Quaternário Superior do Brasil e sua datação radiométrica pelo método carbono 14. *Paleoclimas*, São Paulo, v. 1, p. 1-22.
- BIGARELLA, João José; ANDRADE-LIMA, Dárdano de; RIEHS, Paulo Jorge. 1975. Considerações a respeito das mudanças paleoambientais na distribuição de algumas espécies vegetais e animais no Brasil. *Separata dos Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Curitiba-Porto Alegre, v. 47, p. 411-464.
- BLOOM, A. L. 1970. *Superfície da Terra*. Ed. Edgard Blucher. São Paulo, 184 p.
- BONNET, E. 1905. Contribution à flore pliocène de la province de Bahia (Brésil). *Bul. Du Museun d'Histoire Naturelle*, Paris, v. 11, p. 510-512.
- BROWN-JR, Kelth S.; AB'SÁBER, Azis Nacib. 1979. Ice-age forest refuges and evolution in the neotropics: correlation of paleoclimatological, geomorphological and pedological data with modern biological endemism. *Paleoclimas*, São Paulo, v. 5, p. 1-32.
- CABAUSSEL, G. 1967. Méthode de délimitation de compartiments par une analyse biogéographique des paysages végétaux. *In: CABAUSSEL, G. Photo-interpretation et syntese écologique – essai d'application e la Feuille de Grenoble: 1;100.000*. Grenoble: [s. n. t]. p. 129-170.
- CAILLEUX, André, TRICART, Jean. 1959. Zonas fitogeográficas e morfoclimáticas do Quaternário no Brasil.

*Notícia Geomorfológica*, Campinas, v. 4, p. 12-16.

CASTRO, Cláudio de. 1979. Morfogênese e sedimentação: evolução do relevo do Nordeste e seus depósitos correlativos, *Notícia Geomorfológica*, Campinas, v. 37/38, p. 3-27.

CRANDALL, R. 1923. *Geografia, geologia, suprimento d'água, transportes e açudagem nos Estados orientais do norte do Brasil, Ceará, Rio Grande do Norte, Parahyba*. 2 ed. Rio de Janeiro: Imprensa Inglesa. 132 p.

DEMANGEOT, Jean. 1983. Ensaio sobre o relevo do nordeste brasileiro. In: ROSADO, V. *Sétimo livro das secas*. Natal: Fundação Guimarães Duque. p. 53-63 (Coleção Mossoroense).

DOLIANITI, E. 1948. A Paleobotânica no Brasil. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia*. Rio de Janeiro, v. 123: p. 1-87.

DUARTE, Lélis. 1974. Considerações sobre as flóruas meso e cenozóicas do Brasil. *Anais da Sociedade Botânica Bras. – 25º Congresso Nacional de Botânica*. Mossoró-RN, p. 277-84.

EMBRAPA. 1976. *Levantamento exploratório – reconhecimento de solos da margem esquerda do rio São Francisco Estado da Bahia*. Recife, 404 p. (Bol. Técnico, 38).

DUQUE, José Guimarães. 1980. *Solo e água no polígono das secas*. 5 ed. Mossoró: Fundação Guimarães Duque. 273 p. (Coleção Mossoroense, CXLII).

ERHART, Henri. 1966. A teoria bio-resistásica e os problemas biogeográficos e paleobiológicos. *Notícia Geomorfológica*, v. 11, p. 51-58.

FIGUEIREDO, J.T.N. de. *et alii*. 1988. *Água subterrânea no Nordeste*. Mossoró: ESAM. 116 p. (Coleção Mossoroense, CDIII).

GALVÃO, Marília Velozo. 1967. Regiões bioclimáticas do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro, v. 1, p. 3-36.

GAVA, Américo, *et al.* 1983. Geologia: mapeamento regional. In: BRASIL/MME/PROJETO RADAMBRASIL. *Folhas SC 24/25 Aracaju/Recife*. Rio de Janeiro: RADAMBRASIL, p. 27-252 (Série: LRN. Vol. 30).

GOMES, José Roberto Carvalho. *et alii*. 1981. Geologia. In: BRASIL/MME/Projeto RADAMBRASIL. *Folha SB 24/25 Jaguaribe/Natal*. Rio de Janeiro: DIPUB/RADAMBRASIL, p. 27-176 (Série LRN, Vol. 23).

HAFFER, J. 1989. Aspectos gerais da teoria de refúgios. *Espaço, Ambiente e Planejamento*, Rio Claro, v. 2, p. 3-27.

IPT. s/d. *Estudo hidrogeológico regional detalhado do Estado do Rio Grande do Norte*. São Paulo. Relatório nº 15.795 (Vol. 1 e 2).

KEGEL, W. 1954. Lamelibrânquios da Formação Poti (Carbonífero Inferior) do Piauí. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia (Notas Preliminares e Estudos)*. Rio de Janeiro (88): 1-14.

KING, L. C. 1956. A geomorfologia do Brasil oriental. *Revista Brasileira de Geografia*. Rio de Janeiro, v. 18, p. 147-265.

KRASSER, F. 1936. Sobre a flora fóssil de Ouriçangas, Estado da Bahia. *Rol. Serv. Min.*; notas preliminares e estudos. Rio de Janeiro v. 5: p. 1-8.

KZAJKA, W. 1958. Estudos geomorfológicos no nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro, v. 2. p. 3-48.

LIMA, Dárdano de Andrade. 1966. Contribuição ao estudo do paralelismo da flora amazônico-nordestina. *Boi. Téc. Inst. Pesq. Agr. PE*. Recife, v. 19. p. 1-31,.

LIMA, Dárdano de Andrade. 1960. Estudos fitogeográficos de Pernambuco. *Arq. Inst. Pesq. Agron. de Pernambuco*, Recife.. v 4-5. p. 305-334.

LIMA, Dárdano de Andrade. 1966. Nota sobre a dispersão conhecida de *Podocarpus* no Brasil. *Boletim Técnico do Inst. Pesq. Agron. de Pernambuco*, Recife, v. 8, p. 21-27.

LIMA, Dárdano de Andrade. 1989. *Plantas das caatingas*. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciência. 243p.

LIMA, Dárdano de Andrade. 1966. Nota sobre a dispersão conhecida de *Podocarpus* no Brasil. *Boletim Técnico do Inst. Pesq. Agron. de Pernambuco*, Recife, v. 8, p. 21-27. MABESOONE, Janus Marcus,