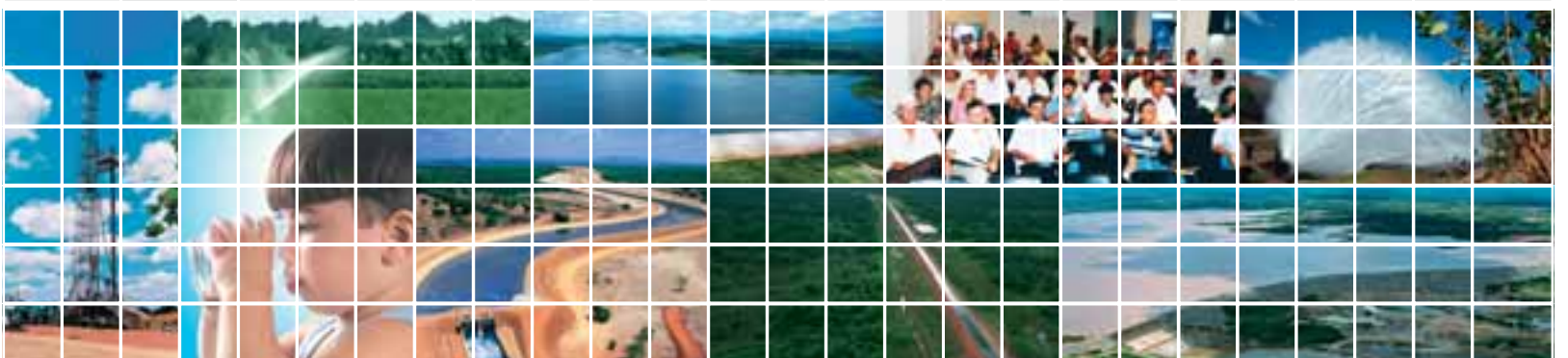


2

BASE FÍSICA





2-BASE FÍSICA

2.1-ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DO ESTADO DO CEARÁ

O CEARÁ E A REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA (RMF)

Estou perfeitamente ciente dos desafios que aguardam este Governo e que estão expressos no diagnóstico deste Plano, pois o Ceará tem cerca de 90% do seu território no semi-árido, que é densamente povoado e com elevada taxa de natalidade para os dias atuais.

Nossa sociedade é pobre e desigual, salientando-se que os 10% mais ricos possuem 52% da renda total e os 50% mais pobres apenas 12,5%.

A ocupação demográfica e econômica do território é extremamente desbalanceada. A Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), que ocupa 3,46% do espaço estadual, abriga, em 2003, em torno de 42% da população cearense, e concentra cerca de 62% do PIB e 90% da arrecadação de tributos. Esse quadro é ainda mais grave dentro da própria RMF, onde o Município de Fortaleza, ocupando apenas 6,30% do espaço da RMF, abriga, atualmente, cerca de 71% de sua população, concentra cerca de 62% de seu PIB e 86% da sua arrecadação de tributos, absorvendo aproximadamente 85% de seus empregos.

Lúcio Alcântara. Governador do Estado do Ceará **(CEARÁ CIDADANIA: Crescimento com Inclusão Social. Plano de Governo 2003-2006. Administração Lúcio Alcântara. Fortaleza, 2003)**

Neste item apresentam-se as principais características físicas do Estado do Ceará, com destaque para os aspectos hidrográficos, hidroclimáticos e hidrogeológicos.

Diferentemente do que acontece em outras regiões, no semi-árido (onde está inserido quase todo o território cearense) períodos secos não significam apenas diminuição ou ausência de precipitações por determinado tempo, constituem, também, a incerteza destas ocorrências na próxima estação das chuvas. Quando ocorrem, surge sempre a dúvida da regularidade e do nível de precipitação, e se serão suficientes para o abastecimento das populações, dos rebanhos, e para garantirem as safras agrícolas e a

recarga dos mananciais subterrâneos e superficiais.

O Mapa 2.1 mostra a posição relativa do Ceará no contexto regional e nacional. O Estado é constituído por 184 municípios, abrangendo uma área de 148.826 km² (Resolução nº 5, de 10 de outubro de 2002, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), correspondente a 1,75% da área do Brasil e a 9,58% da área nordestina. O Mapa 2.2 apresenta a divisão político-administrativa, em microrregiões geográficas e municípios.

Quanto às características geológicas do substrato rochoso do Estado, pode-se observar que 75% do território é de natureza cristalina. Os solos retêm

2-BASE FÍSICA

quantidades mínimas de águas de chuvas, as quais logo se escoam e se evaporam. Por isso, há escoamento nos rios e riachos somente nos períodos chuvosos. Fora da estação das chuvas os leitos dos rios permanecem secos, onde, às vezes, encontram-se em seus cursos pequenos poços ou lagoas decorrentes de soleiras ou depressões naturais, os quais, por sua pouca profundidade, se evaporam rapidamente.

As formações aluviais formadoras das planícies que margeiam rios e riachos retêm, em seu delgado manto, lençóis que se constituem reservas de água, as quais, também no decorrer do período seco, rapidamente vão-se escoando subterraneamente ou evaporando-se, não sendo suficientes para alimentarem um mínimo fluxo de água nos rios.

De acordo com a FUNCEME (1994), a distribuição geográfica das principais classes de solos do território cearense é a que segue: Neossolos Litólicos (Solos Litólicos - 25,02%), Argissolos (Podzólicos - 23,83%), Luvisolos (Bruno Não Cálcicos - 11,89%), Latossolos (8,28%), Neossolos Quartzarênicos (Areias Quartzosas - 6,95%), Planossolos (Solonetz-Solodizados - 5,89%), Afloramentos de Rocha (1,68%) e Neossolos Flúvicos (Solos Aluviais - 1,36%).

Os aspectos geológicos, geomorfológicos e pedológicos podem ser visualizados, respectivamente, nos Mapas 2.3, 2.4 e 2.5.

No Ceará as unidades fitoecológicas mais representativas espacialmente são as caatingas, que reunidas a outra unidade igualmente xerófila - o carrasco - abrangem cerca de 80% do Estado

(IPEA, 1995). Destaca-se ainda como vegetação característica o complexo vegetacional da Zona Litorânea, que ocupa a totalidade dos terrenos costeiros e as matas úmidas características dos pontos mais elevados, ou seja, as serras e planaltos. O Mapa 2.6 mostra a distribuição espacial, pelo território, dos diversos tipos de vegetação.

A população do Estado, que segundo o Censo Demográfico 2000 (IBGE, 2002) totalizava 7.430.661 habitantes, é nucleada principalmente nas sedes municipais e nos distritos, destacando-se a RMF, constituída por treze municípios, a qual concentra cerca de 40% dessa população. Essa distribui-se segundo faixas de densidades demográficas que variam de 6 hab/km² (Aiuaba) a 6.855 hab/km² (Fortaleza). A nível estadual esse valor é de 50 hab/km².

A expectativa de vida para os cearenses é de 66,4 anos. É uma posição favorável em termos de Nordeste, pois a média da região é menor (65,8 anos), mas está aquém da média nacional, que é de 68,6 anos. Quanto ao gênero, pode-se dizer que os homens estão expostos a maiores riscos de vida do que as mulheres, pois os dados do Censo 2000 (IBGE, 2002) indicam que a mulher cearense viveu 6,6 anos a mais do que o homem.

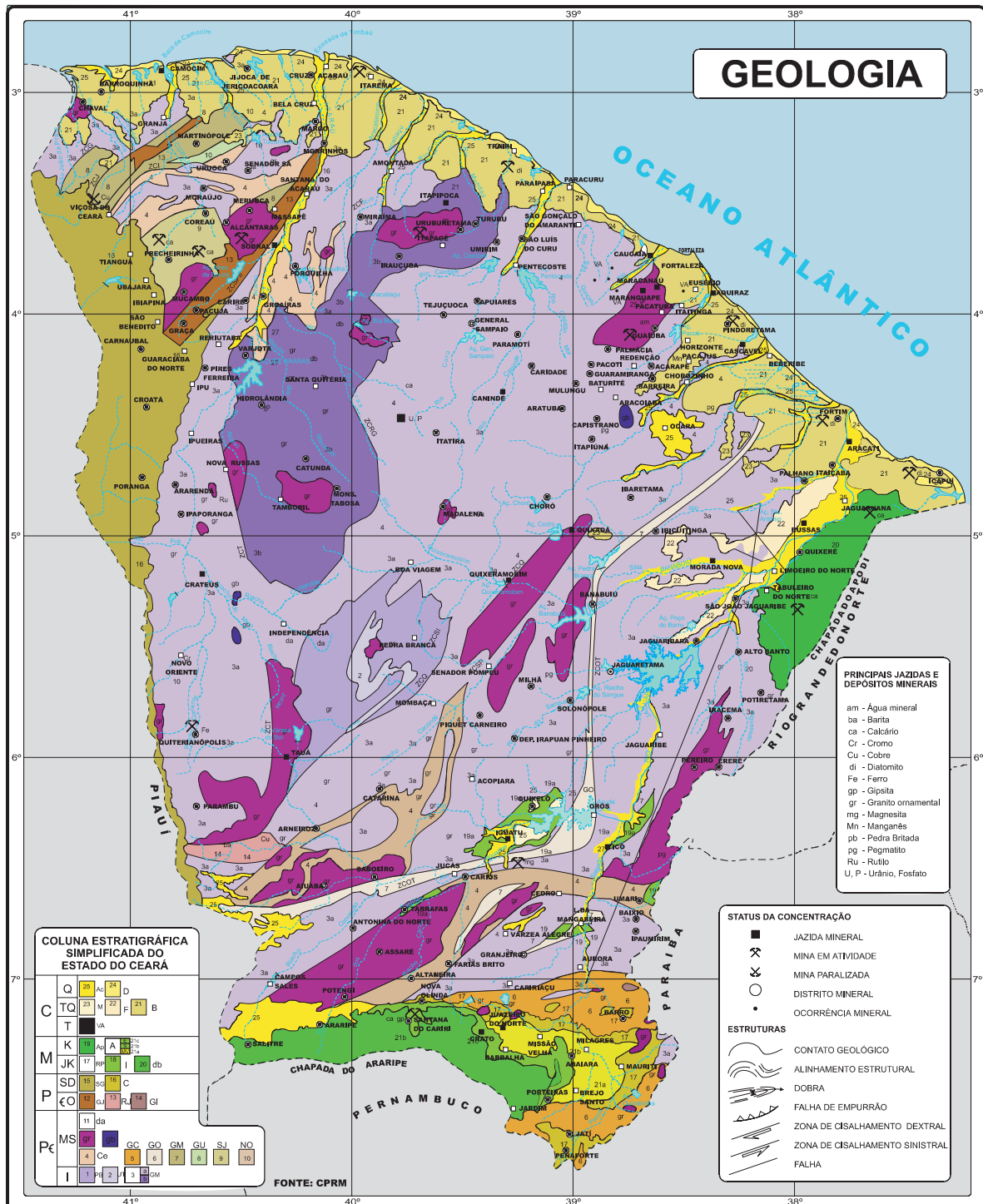
Com relação a qualidade de vida da população, entre os estados da federação brasileira, o Ceará foi o que obteve maior ganho no Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), passando do 23º (ano 1996) para o 19º lugar (ano 2000). Com um índice de 0,699 (o IDH do Brasil foi de 0,764), o Estado demonstra avanços



Mapa 2.1 - Mapa de Localização do Estado do Ceará



Mapa 2.3 - Geologia do Estado do Ceará



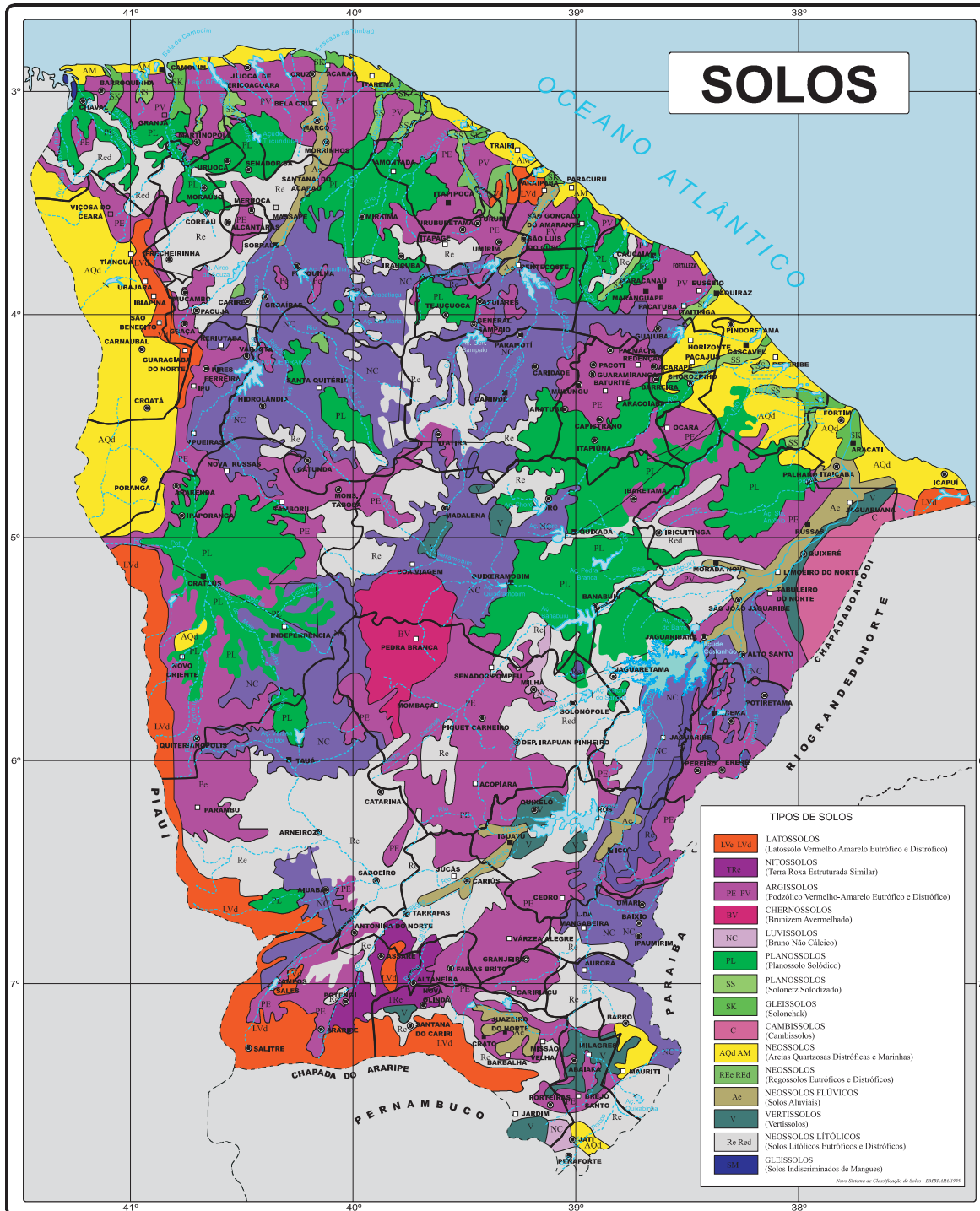


LEGENDA

UNIDADES ESTRUTURAS E DEPOSITOS SEDIMENTARES	DADOS GEOLÓGICOS	SUB-COMPARTIMENTAÇÃO REGIONAL DO RELEVO	DADOS ALTIMÉTRICOS E CLASSES DE INCLINAÇÃO	CLASSIFICAÇÃO DAS FORMAS	FEIÇÕES GEOMORFOLÓGICAS E MODELADO	GEOMORFOLÓGICA E HIDROLÓGICA	SIMBOLÓGICA	ANTROPICA
Sedimentos de praia, aflúvios e (paleo)canais	Da Holoceno	Planície litorânea	0-40m 0-5%	Formas de acumulação	Dunas, estivas, travas e paleo-dunas Planícies flúvio-marinhas Planícies e terrapças flúvias	"Trent" de via este (igul) Respinga Retorno em arco de praia Falhas infra-cristalinas Caminho de rirampas pré-estruturais	Calçada Rodovia Aeroporto	
Sedimentos do Grupo Baternas	Tb Pleistoceno	Gracia pré-estruturada dissecada em interflúvios tabulares	20-30m 0-5%	Formas dissecadas com friso enlatado da drenagem	Tabuleiros pré-estruturados			
Bacia Sedimentar Potiguar com litologias do Grupo Agostô	Ka Cretáceo Médio	Chapada do Apudá	100-220m 0-5%	Forma estrutural truncada por superfície erosiva	Respros de cunha estruturada			
Bacia Sedimentar do Açuape e litologias do Grupo Araripe	Km Cretáceo Médio-Veloz	Chapada do Araripe	200-300m 2-4%	Forma tabular estrutural	Superfície tabular concubente com a estrutura e relevo da erosão			
Bacia Sed. do Maranhão Piauí (limite do Paraíba) e litologias da Formação Serra Grande	Sil Devoniano	Planalto da Itaipaba	750-600m 3-10%	Forma dissecada com relevo imediato estrutural	Superfície complexa limitada por escarpas erosivas			
Complexo Cristalino	Pr Pré-Cambriano Indefinido	Micóncios Residuais	400-600m 10-20% a'	Formas tabulares dissecadas	Micóncios residuais dissecados em feições de micóncios erosivos			
		Depressões Sertanejas	80-400m 3-15%	Formas dissecadas com logar-flecha erosiva para e los logar-flechas dissecadas	Depressões perfuradas e interflúvios submatriciais e processos de pedimentação			

2-BASE FÍSICA

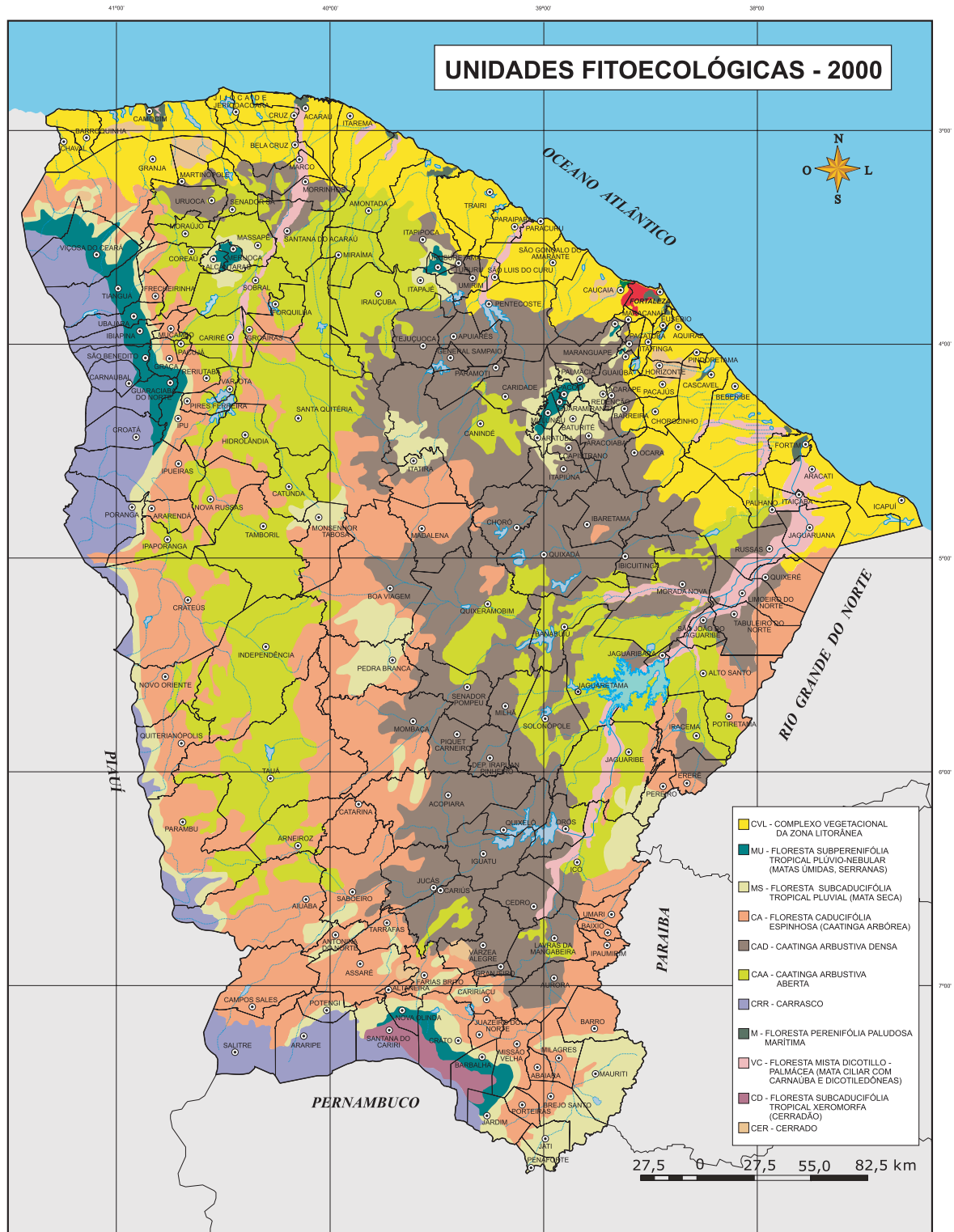
Mapa 2.5 - Solos do Estado do Ceará



FONTE: IPLANCE - ATLAS DO CEARÁ, 1997
 Baseado em Levantamento Exploratório - Reconhecimento de Solos do Estado do Ceará, 1973
 Ministério da Agricultura. DNPEA-SUDENE-DRN



Mapa 2.6 - Unidades Fitoecológicas do Estado do Ceará



FONTE: FUNCEME/UFC, 2000

2-BASE FÍSICA

conseguidos na saúde e educação, com reflexos positivos na qualidade de vida do povo cearense.

A evolução do perfil econômico do Ceará demonstra que, em 2002, o Produto Interno Bruto (PIB) estadual a preço de mercado cresceu 1,91% em relação ao ano anterior, significando um montante de R\$ 24,8 bilhões, que resultou num PIB

per capita de R\$ 3.246 (42,90% da média brasileira).

Vale destacar que a expansão do PIB cearense foi comandada pelo bom desempenho da agropecuária, que registrou um aumento de 25,69%, resultado de uma quadra invernos regular que provocou um elevado incremento das lavouras e um aumento de sua produtividade.

DE SECA E OUTROS FANTASMAS (DESDE, COMO E ATÉ QUANDO): DESDE

O sertão cearense registra uma das mais altas densidades populacionais do país. O número ultrapassa o nível dos 30% (sic!). Uma população difusa e distribuída numa área inóspita, e semidesértica, transforma o sertanejo num personagem vulnerável, dependente do governo, sem alternativa de renda em face da carência dos recursos naturais de certas zonas do território cearense.

As rodovias, por sua vez, atraíram para suas margens inúmeras famílias induzidas pelas ofertas e promessas do clientelismo político: a TV, a energia, a parabólica, a ambulância da prefeitura, o ônibus e até o carro-pipa. Como o projeto da estrada segue a linha da cumeada do terreno, estas pessoas moram na espinha da base rochosa cristalina, portanto, sem água e sem solo, numa zona totalmente insustentável.

Vivendo nestas condições, tais famílias terão pouquíssimas chances de alcançar uma renda mínima. Nos períodos de seca, elas somente sobreviverão se o governo criar oportunidade de trabalho ou ação de assistência socioeconômica direta, como cestas básicas, emprego emergencial, etc. E assim, em todo período crítico o problema se repete, uma vez que um trabalho nessas áreas não consegue transformar a natureza e melhorar a qualidade de vida do sertanejo.

Ao longo de mais de um século, o poder público ainda não conseguiu estabelecer um projeto de emprego e renda para famílias atingidas pela seca, que tivesse uma avaliação positiva ou qualquer resultado capaz de reduzir na próxima seca o drama dessas populações que moram em áreas críticas do território: comunidades em planaltos pedregosos, áreas salinizadas de várzea ou massapê rachado, depressões lacustres em zonas de solo raso e periferia de cidades pequenas e pobres.

Toda esta dispersão de recursos públicos origina-se na sazonalidade e descontinuidade das ações de governo, decorrentes sobretudo da incerteza dos eventos de seca, que torna improdutivo o emprego nas frentes de emergência dos anos críticos, marcados pela improvisação e paternalismo crônico. São postos de empregos que viciam e deseducam o homem do sertão, e promovem a descrença no trabalho como processo de progresso do homem, cristalizando na cabeça do sertanejo a cultura do conformismo e da inércia.



O descaso no enfrentamento da crise e o caráter dispersivo dos programas desenhados pelos governos são tão antigos e ultrapassados que a expressão do engenheiro Arão Reis, em 1913, parece descrever e criticar os atuais projetos implementados pela SUDENE: “Infelizmente, é difícil vencermos no Brasil o vício tradicional de preferir protelações indefinidas a soluções de conjunto, malbaratando assim, por dilatados anos, dinheiro e esforços, sem orientação segura, em trabalhos dispersivos e improfícuos. E mais do que qualquer outro, tem sido um grande problema das secas, a vítima dessa fatalidade nacional.”

Hypérides Pereira de Macedo (O Poço e o Pomar na Terra da Luz. Fortaleza: 2002. p. 115-117.)

O então governador Tasso Jereissati escreveu, em 1995, que: “O projeto de um Ceará novo, equilibrado, estável, capaz de alcançar um desenvolvimento sustentado, precisa antes de tudo estabelecer bases consistentes de convivência com o fenômeno das secas” (SRH/PROGERIRH, 1995).

Conceitualmente, desenvolvimento sustentável é o processo de melhoria e ampliação do patrimônio econômico, ambiental e social, realizado de forma contínua e harmônica, com distribuição equânime no tempo e no espaço (Vieira, 2002).

É com base nestes princípios e propósitos que se desenvolve a atual Política de Recursos Hídricos do Estado do Ceará.

2.2- A HIDROGRAFIA DO ESTADO DO CEARÁ

2.2.1-Generalidades

A adoção da bacia hidrográfica como unidade de gestão figura como um dos princípios fundamentais do gerenciamento dos recursos hídricos. No planejamento das ações regionais, utilizando-se os comitês de bacia, procurou-se atender a esse princípio e, ainda, a um outro ponto referente a racionalidade do processo de administração:

as unidades regionais de gerenciamento. Estas, também denominadas regiões hidrográficas, deveriam ter áreas de mesma ordem de grandeza. Assim, foram delineadas onze regiões hidrográficas¹: Alto Jaguaribe, Salgado, Médio Jaguaribe, Banabuiú, Baixo Jaguaribe, Metropolitana, Curu, Acaraú, Coreaú, Poti (Parnaíba) e Litorânea (Aracatiagu). O Mapa 2.7 apresenta a divisão hidrográfica do Estado, segundo as 11 unidades de planejamento.

O regime hidrológico dos cursos d’água no Ceará é condicionado, e principalmente afetado - dentre outros fatores - pela má regularidade das chuvas e pelas condições geológicas das áreas onde se situam as diversas bacias hidrográficas.

Apesar de todas as condições desfavoráveis, não apresentando um escoamento uniforme durante o ano, os deflúvios médios dos rios do Estado, somados, alcançam a ordem de 12 bilhões de metros cúbicos anualmente, correspondente a uma dotação específica de 2,57 l/s/km². Para que se ressalte a importância desse número, ele representa cerca de 13% de todo deflúvio da Região Hidrográfica Costeira do Nordeste Oriental (685.303 km²) que é de 93 bilhões de metros cúbicos por ano, representando 4,29 l/s/km² (ANA, 2002).

1-Conceitualmente, bacia hidrográfica difere de região hidrográfica. Porém, a comunidade técnica e a administração pública no Ceará usam estas expressões indistintamente para denominar as onze regiões hidrográficas do Estado, que na verdade são constituídas por grupos de bacias, uma bacia isolada, uma sub-bacia ou mesmo parte de bacia.

BACIA HIDROGRÁFICA: CONCEITOS

Maria Luiza Machado Granziera apresentou, em seu livro *Direito de Águas: Disciplina Jurídica das Águas Doces* (2001), alguns conceitos sobre bacia hidrográfica: “Área de drenagem de um curso d’água ou lago” (DNAEE, 1976). Ou “área com um único exutório comum para o escoamento de suas águas” (DNAEE, 1976). Nos termos do inciso IV do art. 2º da Instrução Normativa MMA 4/2000, é “área de drenagem de um curso d’água ou lago.” “A noção de bacia fluvial significa o conjunto constituído por um rio, seus afluentes e mesmo as águas subterrâneas, formando o que se chama de sistema hidrográfico” (COLLIARD, 1968).

Segundo Granziera (2001), “Manoel Inácio Carvalho de Mendonça tratou do tema de forma mais extensa, ensinando que ‘dá-se o nome de bacia ao conjunto das terras cujas águas todas se lançam em um rio de ambas as margens’. Além disso, menciona que a bacia hidrográfica consiste em ‘uma porção do território cujas águas têm por derivativo ou escoadouro um rio’. E alerta o autor que a bacia não é somente o vale que um rio atravessa, e sim também o de seus afluentes”.

A importância em definir “bacia hidrográfica” refere-se ao fato de ser ela considerada, na legislação nacional (Lei n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997), assim como em outras, como “unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos” (Granziera, 2001).

A GOTA D’ÁGUA

“O volume médio de chuva anual no Ceará é de aproximadamente 113 bilhões de metros cúbicos. A evaporação, a infiltração e outras perdas consomem quase 90% deste volume, pois apenas cerca de 12 bilhões de metros cúbicos d’água escorrem anualmente na superfície do solo, originando o escoamento dos rios, riachos e enchendo os açudes. Mesmo assim, ainda é um volume muito grande. Acontece, porém, que em certos anos de inverno pesado ou acima da média é possível chover um volume de 150 ou até mais de 200 bilhões de metros cúbicos. Nestes anos de bom inverno, o volume escoado na superfície do solo, deduzidas todas as perdas, pode chegar a 25 bilhões de metros cúbicos d’água ou ser superior a 35 bilhões, pois quanto mais umidade maior o índice de escoamento, ultrapassando em muito a média de 10% prevista”.

Hypérides Pereira de Macêdo (**A Chuva e o Chão na Terra do Sol**, 1996).



2.2.2-A Bacia Hidrográfica do Jaguaribe

O Jaguaribe, principal rio do Estado, percorre um trajeto aproximado de 633 km, desde as suas nascentes na Serra da Joanhina - no Município de Tauá - até a sua foz no Oceano Atlântico. Sua bacia drena uma área correspondente a 48% do Estado do Ceará - beneficiando 81 municípios - perfazendo um total de 72.043 km², dos quais 255 km² pertencem ao Estado de Pernambuco (PLANERH, 1992). Observa-se que a área total desta bacia, de acordo com o georreferenciamento feito a partir de imagens de satélite é de 72.645 km² (SRH/COGERH/Engesoft, 2000). Esta diferença deve-se basicamente a distorções de escala de trabalho e erros fortuitos de delimitação nos divisores hidrográficos. Serão adotados, neste estudo de consolidação, os dados mais recentes, ou seja, os do Plano de Gerenciamento das Águas da Bacia do Jaguaribe (SRH/COGERH/Engesoft, 2000).

A mesma, por ser muito grande e heterogênea, pode ser dividida em 5 regiões hidrográficas:

- **Região Hidrográfica do Alto Jaguaribe:** localiza-se a montante do açude Orós e drena uma área de 24.636 km². O rio Jaguaribe, nesta região, possui uma extensão aproximada de 325 km, e têm declividades que variam de 0,03% a 2,50%, sendo a declividade média de 0,06%;
- **Região Hidrográfica do Salgado:** desenvolve-se no sentido sul-norte, até encontrar o rio Jaguaribe, logo a jusante da barragem do açude Orós, drenando uma área de 12.865 km². O rio Salgado, com extensão de 308 km², é o

principal afluente da margem direita do rio Jaguaribe, sendo formado pela junção do rio da Bateiras com o riacho dos Porcos, cujas nascentes localizam-se no sopé da Chapada do Araripe. Nas vertentes da Chapada, o rio possui fortes declividades, que vão se tornando mais suaves até a formação da zona aluvionar. As declividades do talvegue variam de 0,10% a 8,00%, sendo a declividade média de 0,18%;

- **Região Hidrográfica do Banabuiú:** o rio Banabuiú, com extensão de 314 km e área de drenagem de 19.316 km², é o principal tributário do rio Jaguaribe. Desenvolve-se no sentido oeste-leste, tendo sua foz localizada próximo a sede municipal de Limoeiro do Norte. São seus afluentes, pela margem esquerda, os rios Patú, Quixeramobim e Sitiá, e pela margem direita destaca-se apenas o riacho Livramento. Seu alto curso é encachoeirado, onde são freqüentes as corredeiras. As declividades do talvegue variam de 0,05% a 2,10%, mantendo-se em torno de 0,09% a média;
- **Região Hidrográfica do Médio Jaguaribe:** com um curso de aproximadamente 171 km de extensão, compreendido entre a barragem do açude Orós e a ponte de Peixe Gordo, na BR-116, drena uma área de 10.376 km², sendo o rio Jaguaribe, neste trecho, perenizado até sua foz pelo açude Castanhão, localiza-

2-BASE FÍSICA

do nesta região e que tem capacidade de armazenar um volume máximo de até 6,7 bilhões de metros cúbicos (levando-se em consideração o volume destinado ao amortecimento de ondas de cheia). As Declividades variam de 0,02% a 0,83%, sendo a média 0,06%;

- **Região Hidrográfica do Baixo Jaguaribe:** a partir da ponte na BR-116, em Peixe Gordo, até a sua foz, o rio percorre cerca de 137 km, com declividade média de 0,03% e desnível de 40 m, drenando uma área de 5.452 km². O Baixo Jaguaribe caracteriza-se, principalmente, pelo alargamento do vale numa extensa planície aluvial, cobrindo áreas que vão da BR-116 à encosta da Chapa do Apodi.

2.2.3-A Região Hidrográfica das Bacias Metropolitanas

Posicionada na região Nordeste do Estado do Ceará, compõe-se por um conjunto de 14 bacias independentes, das quais apenas as bacias dos rios Pirangi (4.374 km²), Choró (4.751 km²), Pacoti (1.258 km²), São Gonçalo (1.332 km²) e os sistemas Ceará/Maranguape (780 km²) e Cocó/Coaçu (500 km²) são hidrologicamente mais representativas, estando as demais bacias - Gereraú (120 km²), Cahuípe (274 km²), Juá (122 km²), Catu (156 km²), Caponga Funda (59 km²), Caponga Roseira (69 km²), Malcozinhado (382 km²), Uruaú (262 km²) e Faixas Litorâneas de Escoamento Difuso (646 km²) - restritas a zona costeira.

Abrange uma área de 15.085 km², com larga influência da faixa litorânea e das zonas altas das Serras de Guaramiranga e Baturité, englobando total ou parcialmente o território de 41 municípios, com destaque para a Região Metropolitana de Fortaleza, que abriga cerca de 40% da população estadual (SRH/COGERH/VBA, 2000).

2.2.4 - A Bacia Hidrográfica do Acaraú

O rio Acaraú nasce na Serra das Matas - na região centro-oeste do Estado, em cotas superiores a 800 m - e se desenvolve praticamente no sentido sul-norte por 315 km até sua foz, drenando uma área de 14.423 km². No seu trecho inicial apresenta uma forte declividade, característica da região montanhosa, porém no seu primeiro terço a mesma reduz bastante, traduzindo a predominância do relevo suave que caracteriza a bacia. Os principais afluentes são os rios: Macacos, Groaíras, Jacurutu, Sabonete e Jaibaras (SRH/Consórcio MW-Engesoft, 2000).

2.2.5 - A Região Hidrográfica do Coreaú

Esta região hidrográfica tem 10.657 km², englobando tanto a bacia drenada especificamente pelo rio Coreaú e seus afluentes, com 4.446 km², como também o conjunto de bacias independentes adjacentes que variam de pouco mais de 125 km² (Córrego da Poeira) até próximo de 1.850 km² (Timonha). O rio Coreaú nasce da confluência dos riachos Jatobá e Caiçara, oriundos do sopé da Serra da Ibiapaba, e desenvolve-se (praticamente no sentido sul-norte) por 167,5 km até o Oceano Atlântico. Este rio possui baixas



Mapa 2.7 - Hidrografia do Estado do Ceará



2-BASE FÍSICA

declividades, especialmente na sua metade final. Seu principal afluente é o rio Itacolomi, merecendo citação, também, o riacho Juazeiro (SRH/Consórcio MW-Engesoft, 2000).

2.2.6 - A Região Hidrográfica do Poti (Parnaíba)

Ocupa uma área de 16.901 km² e engloba as bacias dos rios Poti e Macambira (14.377 km²) e o conjunto de 8 sub-bacias independentes pertencentes à baciados rios Longá/Pirangi (2.524 km²). A bacia do Poti é a única das bacias principais não integralmente contida no Ceará: suas águas também interessam ao Estado do Piauí. Representa cerca de 5% da área de drenagem do rio Parnaíba.

2.2.7 - A Bacia Hidrográfica do Curu

Esta bacia possui uma área de drenagem de 8.528 km². O rio Curu nasce na região montanhosa formada pelas Serras do Céu, da Imburana e do Lucas, localizadas no centro-norte do Estado. Ao longo de 195 km, até sua foz, ele corre preferencialmente no sentido sudoeste-nordeste. No conjunto, esta bacia possui relevo predominantemente de moderado a forte, com grande parcela de seu divisor sendo formada por zonas montanhosas, com destaque para a Serra de Baturité, ao leste, e a Serra de Uruburetama, ao oeste. Sua configuração espacial não favorece a formação de cheias, tendo um índice de compacidade relativamente alto (1,59) e fator de forma baixo (0,23). Seu principal afluente é o rio Canindé, que se encontra na margem direita, e drena praticamente todo o quadrante sudoeste da bacia. Pela margem esquerda destaca-se o rio Caxitoré (SRH, 1992).

2.2.8-A Região Hidrográfica das Bacias Litorâneas (Aracatiaçu)

Esta região hidrográfica, com área de drenagem de 8.619 km², engloba as Bacias do Aracatiaçu (3.415 km²), Mundaú (2.227 km²), Aracati-Mirim (1.565 km²), Trairi (556 km²) e Zumbi (193 km²), além de uma Faixa Litorânea de Escoamento Difuso (FLED) de 663 km².

2.3-VARIABILIDADE CLIMÁTICA DA REGIÃO NORDESTE: ÊNFASE AO ESTADO DO CEARÁ


2.3.1 -Introdução

Em regiões com características semi-áridas, como em 93% do Estado do Ceará, um melhor conhecimento da variabilidade pluviométrica intra-sazonal é imprescindível para a implementação de atividades humanas, onde a variável água passa a ser um fator limitante. Dessas atividades, a agricultura de sequeiro tem-se destacado, tornando-se de alto risco.

Entre as principais causas das frequentes perdas de safra no Ceará, destacam-se: deficiente aparato tecnológico, reduzida assistência técnica, falta de implementação de metodologias de manejo e conservação do solo, e, principalmente, as constantes irregularidades climáticas com causas externas à região, que alternam anos secos e chuvosos ao longo do território. (Hastenrath e Heller, 1977; Moura e Shukla, 1981; Nobre, 1993; Souza, 1997).

No contexto atual do conhecimento científico sobre a variabilidade da precipitação no setor norte do Nordeste Brasileiro (NEB), no qual está inserida a região semi-árida e o Estado do Ceará, é consenso na comunidade científica mundial que as variações térmicas nos Oceanos





Pacífico e Atlântico Tropicais (região entre 20°S e 20°N de latitude) constituem-se as principais causas da mesma. As variações mensais da Temperatura da Superfície do Mar (TSM), principalmente antes e durante o período de fevereiro a maio, na bacia tropical destes oceanos, têm um papel físico fundamental no controle do posicionamento e da frequência, sobre ou nas proximidades do setor norte do NEB, do principal sistema atmosférico responsável pelas chuvas mais abundantes e regulares nessa região no período do ano anteriormente citado, ou seja, a Zona de Convergência Intertropical - ZCIT (Uvo, 1989).

Hoje, mesmo com todo o avanço científico alcançado pelos modelos numéricos, os prognósticos das condições futuras da atmosfera ainda estão em caráter experimental. Os resultados dessa modelagem ainda não conseguem detectar os períodos, dentro da escala mensal ou intra-sazonal, de ocorrência de chuva ou estiagem. Além disso, as observações interanuais têm mostrado que, aparentemente, a ocorrência de períodos de estiagem e de chuvas dentro da estação chuvosa no setor norte do NEB, entre o período de janeiro a junho, apresenta características distintas em anos caracterizados como Secos, Normais ou Chuvosos.

2.3.2- Avaliação do Impacto Climático na Agricultura do Ceará

A Figura 2.1 ilustra bem como a falta de água pode contribuir decisivamente para a diminuição da safra no Estado do Ceará. Nessa figura, observa-se a probabilidade diária, no período de 1º de janeiro a 20 de maio, de nos próximos dez dias a umidade média no solo, para o Ceará,

apresentar um valor 5 mm, para uma composição de anos classificados como Secos (anos de ocorrência de El Niño e Dipolo Positivo na Bacia do Atlântico Tropical), Normais e Chuvosos - geralmente observados quando ocorrem La Niña e Dipolo Negativo de TSM na Bacia do Oceano Atlântico Tropical (Alves et al., 1997). Mencione-se que as definições de El Niño, La Niña e Dipolo Positivo e Negativo de TSM, e como esses padrões térmicos nas Bacias dos Oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais relacionam-se com a distribuição de chuva no setor norte do NEB, estão apresentadas no subitem 2.3.4.

Nota-se, que de 1º de janeiro a aproximadamente 15 de abril, em todas as composições de anos, em média, a probabilidade é nula, entretanto, para os anos secos (quando ocorreu El Niño com Dipolo Positivo de TSM na Bacia do Oceano Atlântico Tropical), a partir desta data, as probabilidades aumentam abruptamente, indicando que há perda das condições hídricas no solo que poderiam ser utilizadas para suprir as necessidades das culturas agrícolas, geralmente em um período de maturação para possível colheita.

Essa falta de umidade no solo deve contribuir para que haja déficit na produção e na produtividade de grãos (milho e feijão). A Figura 2.2, apesar de apresentar uma produção média para o Estado, mostra que isso é factível, notando-se que nos anos de El Niño associado à presença do Dipolo Positivo de TSM no Atlântico Tropical, tanto a produção como a produtividade média de feijão e de milho, no Ceará, apresentam uma queda da ordem de 40% a 60%.

2-BASE FÍSICA

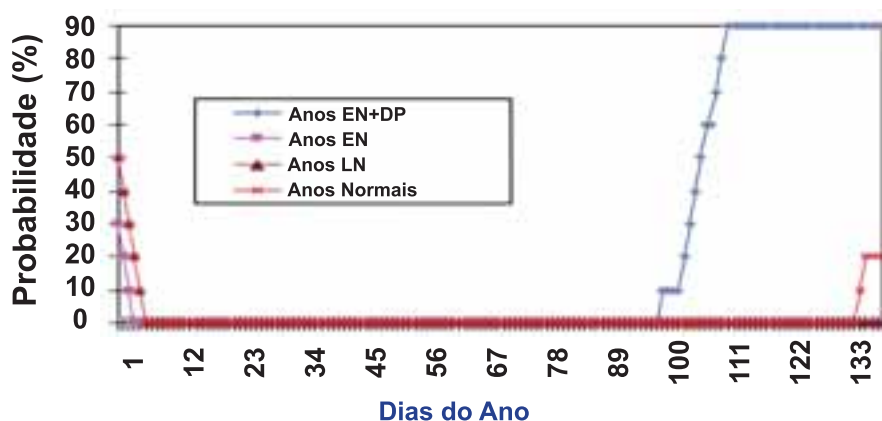


Figura 2.1 - Probabilidade média no Estado do Ceará de nos próximos dez dias, a partir de cada dia, desde 1º de janeiro a 21 de maio, da umidade no solo ser $\leq 5\text{mm}$. Os símbolos na legenda representam o seguinte: EN + DP (composição de anos com El Niño associado com Dipolo Positivo no Atlântico Tropical), EN (composição de anos com El Niño sem a presença de Dipolo Positivo de TSM no Atlântico Tropical) e LN (composição de anos de La Niña).
Fonte: Alves et al., 1997.

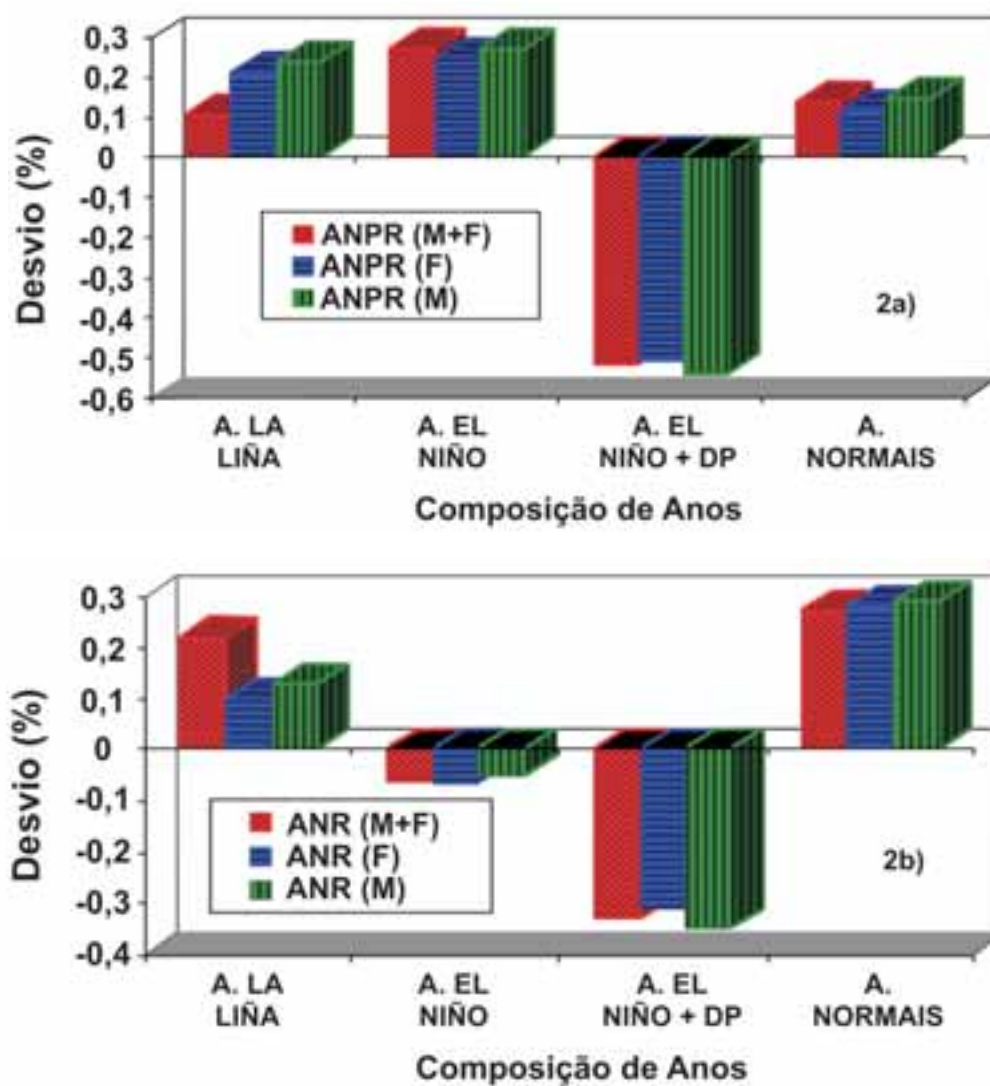



Figura 2.2 - Desvios percentuais de rendimento (R) e Produção (PR) para a composição de anos de La Niña, de El Niño, de El Niño com Dipolo Positivo de TSM no Atlântico Tropical e anos Normais. 2a) produção e 2b) rendimento. Os valores médios de rendimento e produção de ambas as culturas são: feijão+milho (F+M) = 517,79 kg/ha e 163.539 t, feijão (F) = 381,54 kg/ha e 109.951 t e milho (M) = 630,94 kg/ha e 217.128 t.
Fonte: Alves et al., 1997.



Quem mais se recente dessa falta de condições hídricas no solo, para que o cultivo agrícola se desenvolva e culmine com níveis de produção e de produtividade desejados, são as comunidades que têm na agricultura de subsistência sua principal fonte de alimentação. Além disso, os governos Estadual e Federal no aspecto financeiro, geralmente, têm de socorrer tais contingentes populacionais, nos anos de perda excessiva de safra, gastando elevadas cifras financeiras. Pelas razões expostas, o conhecimento climatológico dessas características pluviométricas e hídricas no solo ao longo da Região Nordeste, caso particular do Estado do Ceará, em anos de contrastes (Secos, Normais ou Chuvosos), torna-se de grande importância, para que se possa, associado ao monitoramento em tempo real dessas características, a cada ano, elaborar um calendário agrícola onde os riscos de perda da safra agrícola possam ser minimizados.

2.3.3- Características Climatológicas da Precipitação no Ceará e nos Principais Sistemas Atmosféricos Atuantes no Estado

O Estado do Ceará está localizado no setor norte do Nordeste, aproximadamente entre as coordenadas de 2,5°S e 10°S e 34°W e 42°W, e tem como característica pluviométrica dois períodos distintos ao longo do ano. Um mais chuvoso, não levando em consideração as variabilidades interanuais, que se estende principalmente de fevereiro a maio, e um período seco compreendendo os meses de junho a outubro. Outro período (intermediário), chamado de pré-estação chuvosa, começa em média em novembro, estendendo-se até janeiro.

A Figura 2.3 apresenta a distribuição espacial das precipitações nas estações do ano (verão, inverno, outono e primavera), e as suas contribuições em termos de desvios, para o total anual de chuvas. Pode-se observar que os mais elevados níveis de chuvas concentram-se nas estações de verão e outono austrais, enquanto os mais baixos são observados durante as estações de inverno e primavera. Em todo o Estado, as maiores contribuições, em relação ao total anual, também concentram-se nestas duas estações, principalmente no outono.

A evolução da ocorrência de chuvas ao longo do Estado dá-se de forma gradativa, devido à ação de diferentes sistemas atmosféricos atuantes nas diversas áreas do mesmo. Na pré-estação (período de novembro a janeiro), as chuvas preferencialmente banham a região centro-sul do Estado, principalmente o Cariri, e a região da Serra da Ibiapaba.

Estas chuvas são provocadas pela instabilidade atmosférica gerada pela presença de frentes frias localizadas no setor centro-sul do Nordeste, que favorece a formação da atividade convectiva. Entretanto, em outras áreas do Estado podem ocorrer chuvas abundantes devido à atuação de Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), que induzem a formação de nuvens causando chuvas fortes até nas áreas mais áridas do Estado (Sertão Central e dos Inhamuns).

Um exemplo típico da forte atuação destes sistemas foi o mês de janeiro/98 (Figura 2.4), com chuvas abundantes em todo o Estado sendo geradas pela presença de VCAN, que foram bastantes freqüentes ao longo deste mês, e tam-

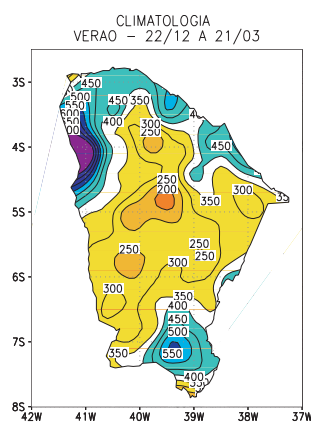
2-BASE FÍSICA

bém desde dezembro/97 sobre o NEB (Figura 2.5).

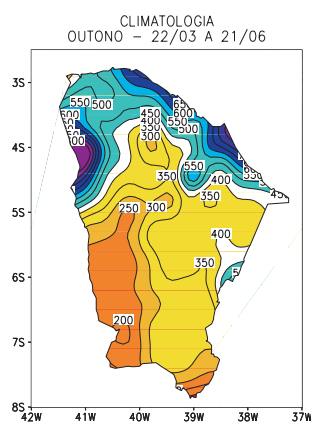
A partir de fevereiro, considerando-se a influência dos aspectos de grande escala da atmosfera e dos oceanos que modulam a intensidade das chuvas no setor do NEB, a distribuição da precipitação ao longo do Estado faz-se de forma mais homogênea. É a partir deste mês e principalmente nos meses de março e abril, quando a ZCIT (principal sistema causador de chuvas sobre o setor norte do NEB) passa a atuar de forma mais freqüente sobre/nas proximidades do

setor norte do NEB que se inicia a estação das chuvas no Estado do Ceará.

Relacionado às diferenças nas intensidades de precipitação nas diversas áreas do Estado, alguns aspectos fisiográficos e de posicionamento destas microrregiões são os principais fatores responsáveis. No litoral e regiões adjacentes, a precipitação é incrementada pela presença da circulação de brisa (tanto terrestre como marítima) e pela grande quantidade de umidade disponível na atmosfera advectada do oceano.

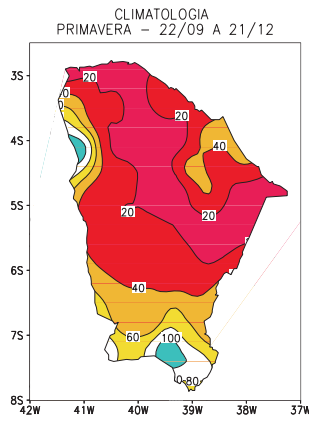


2.3a)

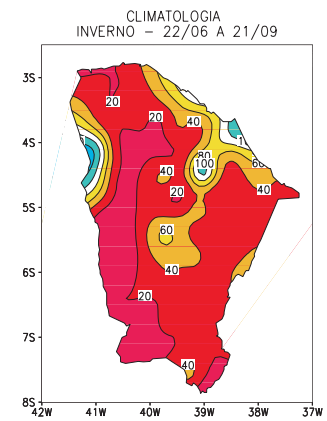


2.3b)

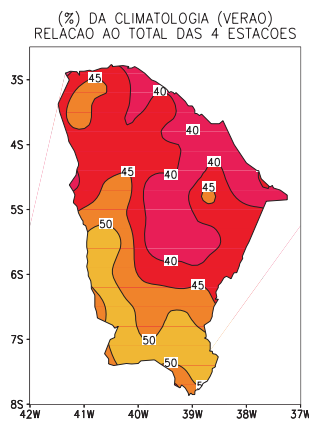




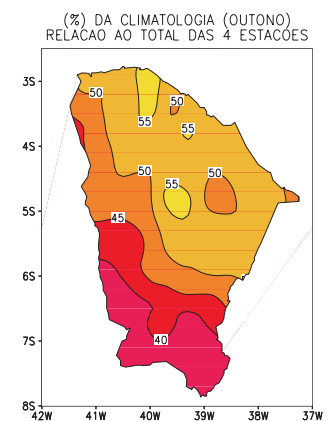
2.3c)



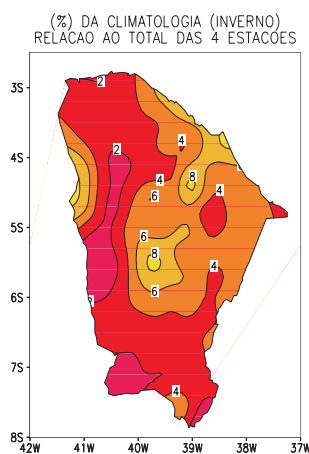
2.3d)



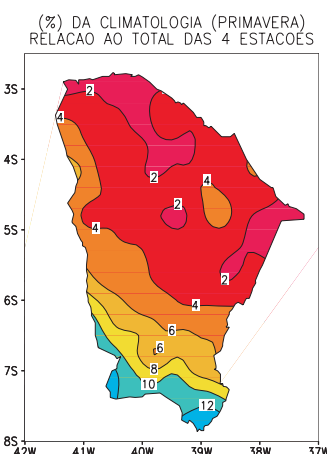
2.3e)



2.3f)



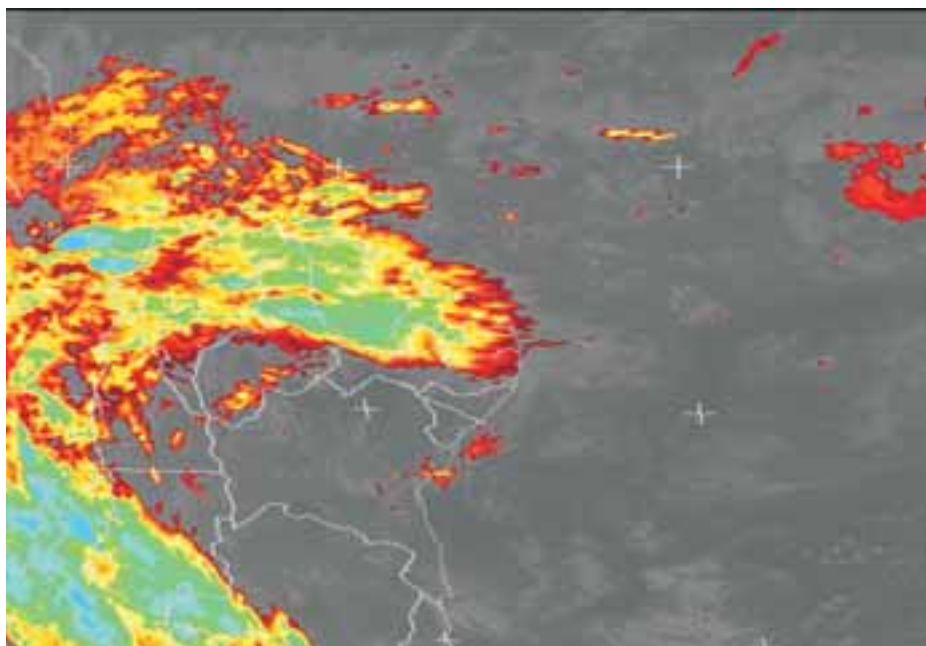
2.3g)



2.3h)

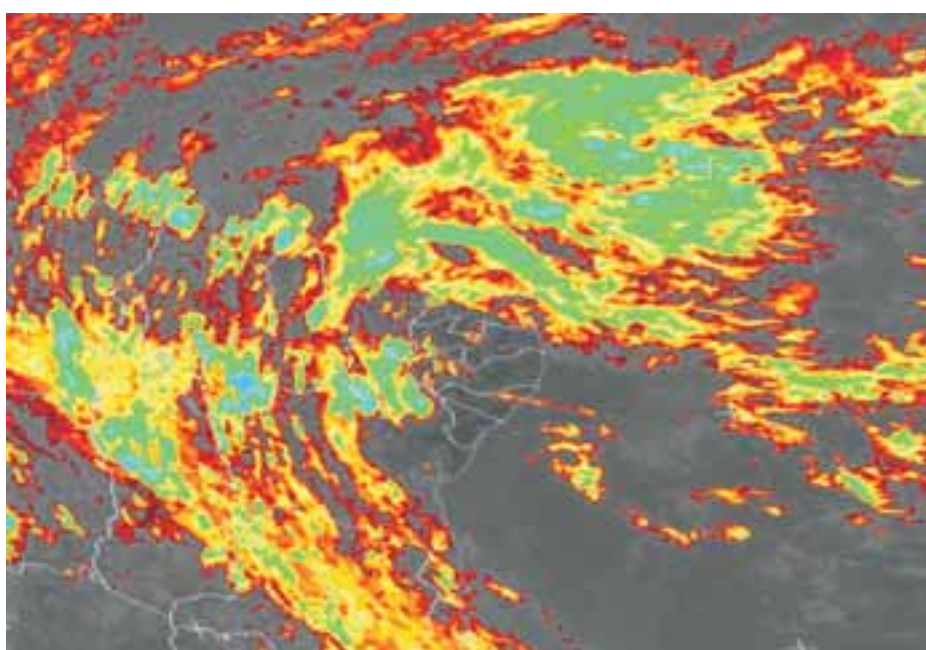
Figura 2.3 - Distribuição espacial (mm) e contribuição (%) em relação ao total anual das estações do ano para o Estado do Ceará. 2.3a) precipitação de verão; 2.3b) precipitação de outono; 2.3c) precipitação de inverno; 2.3d) precipitação de primavera; 2.3e) (%) contribuição de verão; 2.3f) (%) contribuição de outono; 2.3g) (%) contribuição de inverno e 2.3h) (%) contribuição de primavera. Fonte: Alves et al., 1997.

2-BASE FÍSICA



Meteosat 5 Infra Setor 29/01/1998 - 23:00 / FUNCEME

2.4a)



Meteosat 5 Infra Setor 29/01/1998 - 23:00 / FUNCEME

2.4b)

Figura 2.4 - Imagens do Satélite Meteosat VI, canal infravermelho, com realce de cores, sobre a Região Nordeste do Brasil. 2.4a) para o dia 10/01/98, às 15 h, mostrando uma frente fria sobre a Região Sudeste associada a um VCAN sobre a Região Nordeste, causando intensa nebulosidade na parte norte da Região e céu claro no setor central e sul da mesma. 2.4b) Mesma situação da figura 2.4a, para o dia 29/01/98 às 23 h, porém a frente posicionada um pouco mais ao norte e a formação de áreas de instabilidade em grande parte da Região Nordeste e Oceano Atlântico adjacente.



Meteosat6 - IR com realce de cores 14/12/97 21:00
PNM e Linhas de Corrente em 200 hPa

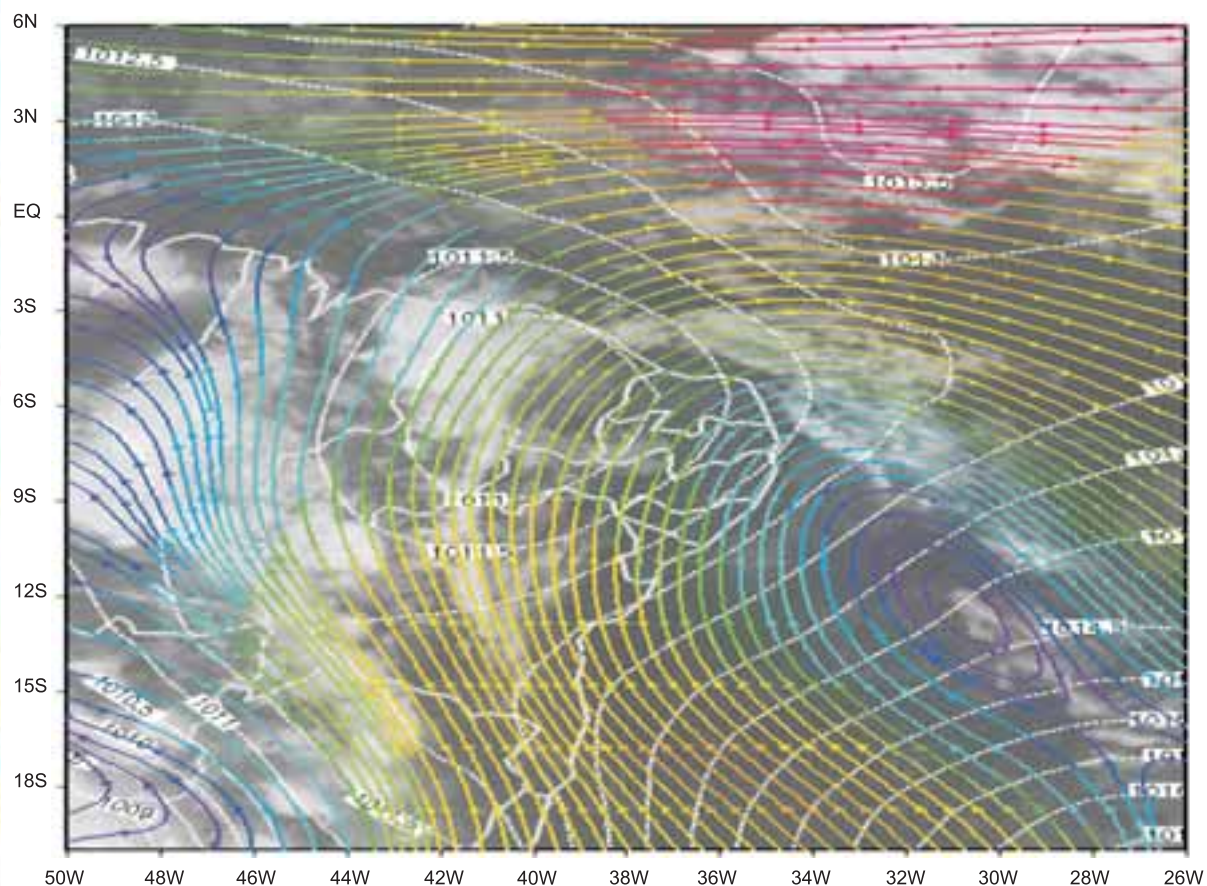


Figura 2.5 - Imagem do satélite Meteosat VI no canal infravermelho, dia 14/12/97 às 21 h local, mostrando a atuação de um Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) sobre as proximidades da Região Nordeste (seu centro sobre o Oceano Atlântico Tropical). Plotados sobre a imagem em cores são mostradas as linhas de corrente (fluxo de vento predominante) em 200 hPa e a linha tracejada em branco indica o campo de Pressão à Superfície do Mar (PNM).

A topografia é outro aspecto físico que contribui significativamente para um aumento da quantidade de chuva em determinada região. Observa-se na Figura 2.3, mostrada anteriormente, em particular nas estações mais chuvosas (verão e outono), que as áreas mais elevadas do Estado do Ceará (Serra da Ibiapaba, Chapada do Araripe e Maciço de Baturité) são áreas que apresentam índices de chuvas mais elevados ao longo do território, tendo seus totais bem superiores aos das áreas do Sertão, onde a topografia é mais plana.

A FUNCEME utiliza, em seus prognósticos, a classificação apresentada na Tabela 2.1.

2.3.4 -Aspectos de Grande Escala da Atmosfera e dos Oceanos, Moduladores da Precipitação Sazonal e Intra-Sazonal no Setor Norte do Nordeste

2.3.4.1-A Variabilidade Pluviométrica no Semi-Árido Nordestino

Dentro do cinturão tropical do globo terrestre, localiza-se a região conhecida como setor norte do Nordeste. Essa região compreende grande parte do Nordeste Brasileiro (insere-se na mesma o centro-leste do Estado do Piauí, todo o Estado do Ceará, o centro-oeste dos Estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, extremo-noroeste dos Estados de Alagoas e Sergipe e norte do Estado da Bahia).

2-BASE FÍSICA

TABELA 2.1 - Classificação da Quadra Chuvosa por Regiões Pluviometricamente Homogêneas Segundo a Quantidade de Chuva Acumulada no Período de Fevereiro a Maio

REGIÃO	PLUVIOMETRIA (mm)				
	MUITO SECO (MS)	SECO (S)	NORMAL (N)	CHUVOSO (a)	MUITO CHUVOSO (MC)
Litoral Norte	0 a 500,6	500,7 a 729,3	729,4 a 1.073,5	1.073,6 a 1.222,5	> 1.222,6
Litoral Trairi-Pecém	0 a 520,4	520,5 a 641,5	641,6 a 861,5	861,6 a 1.157,6	> 1.157,7
Litoral de Fortaleza	0 a 625,3	625,4 a 798,2	798,3 a 1.121,5	1.121,6 a 1.355,5	> 1.355,6
Maciço de Baturité	0 a 588,4	588,5 a 690,0	690,1 a 911,7	911,8 a 1.241,9	> 1.242,0
Região da Ibiapaba	0 a 543,0	543,1 a 729,4	729,5 a 1.044,1	1.044,2 a 1.310,0	> 1.310,1
Região Jaguaribana	0 a 400,1	400,2 a 555,4	555,5 a 692,3	692,4 a 952,1	> 952,2
Cariri (1)	0 a 439,5	439,6 a 567,7	567,8 a 729,1	729,2 a 862,5	> 862,6
Sertão Central e Inhamuns	0 a 361,9	362,0 a 449,7	449,8 a 605,8	605,9 a 763,2	> 763,3

FONTE: FUNCEME. Primeiro Prognóstico para o Período da Estação das Chuvas de 2004. [Http://www.funceme.br/demet/prog2002/segundo/prog2002_2f.htm](http://www.funceme.br/demet/prog2002/segundo/prog2002_2f.htm). Acesso em 18 fev. 2004. Nota: (1) Quadrimestre jan/fev/mar/abr.

O setor norte do Nordeste apresenta característica climática anômala em relação às demais áreas tropicais do Planeta. Destaca-se a sua grande irregularidade interanual de precipitação (alternando anos com chuvas abundantes e secas), e um período chuvoso predominante concentrado em praticamente quatro meses do ano (período de fevereiro a maio), principalmente no setor setentrional dessa região.

Na Figura 2.6 é mostrado o percentual da precipitação para o período de fevereiro a maio (em relação ao total anual). Observam-se valores em torno de 40% a 60% na parte sul da região, enquanto no setor centro-norte os percentuais variam entre 60% e 85%.

Nas duas últimas décadas houve um avanço significativo no entendimento desta variabilidade climática do setor norte do NEB. Grande número de pesquisas científicas, utilizando-se de análises observacionais auxiliadas com técnicas estatísticas, investigaram os mecanismos físicos responsáveis por esta variabilidade pluviométrica.

Os resultados dessas pesquisas evidenciaram que tais anomalias pluviométricas possuem escala espacial muito maior do que a escala local, e estão fortemente relacionadas com padrões atmosféricos e oceânicos de grande escala que se processam (conjuntamente ou não) sobre os Oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais.

A Figura 2.7 mostra, sob forma de esquema, o Estado da arte do conhecimento científico, relacionado aos mecanismos físicos que influenciam a estação chuvosa do setor norte do NEB.

Os dois modos de variabilidade oceano-atmosfera de grande escala que controlam a variabilidade interanual da precipitação sobre a região, isto é, definem a qualidade da estação chuvosa (se a mesma é normal, abaixo ou acima do normal), são os fenômenos: El Niño/Oscilação Sul (ENOS) observado sobre o Pacífico Tropical, e o Padrão de Dipolo observado sobre o Atlântico Tropical.

No entanto, no monitoramento operacional, observam-se grandes varia-



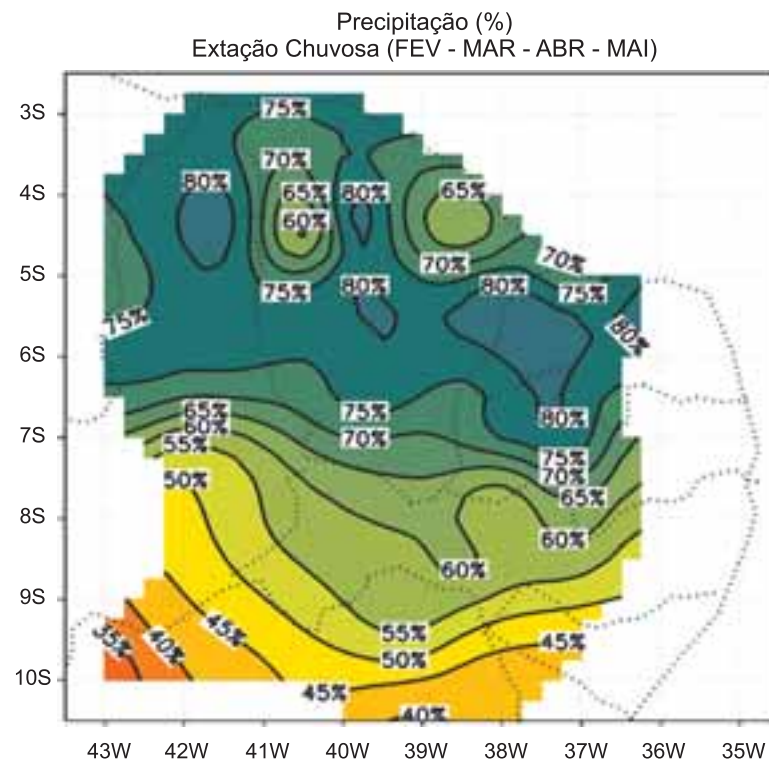


Figura 2.6 - Distribuição espacial do percentual da precipitação para o quadrimestre mais chuvoso (FMAM), em relação ao total anual, sobre o setor norte do Nordeste.

FONTE: Souza et al. (1998).

ções temporal e espacial da pluviometria dentro da própria estação chuvosa do setor norte do NEB. Essas variações são influenciadas pelas Oscilações Intra-Sazonais de 30-60 dias, e também pela manifestação de sistemas meteorológicos de escala sinótica (com dimensões espaciais superiores a 3.000 km), como os VCAN e as incursões pronunciadas de Frentes Frias que atingem o sul da região, advindas das latitudes médias e altas do Hemisfério Sul, que induzem mudanças de tempo e ocorrências de chuvas ao longo de todo o setor norte do NEB (Kousky, 1979).

Além disso, como já mencionado na seção sobre a variabilidade pluviométrica para o Estado do Ceará, os efeitos locais (topografia, mecanismos de brisa e aquecimento diurno) sobre a região podem gerar sistemas meteorológicos de meso e micro-

escalas de dezenas a centenas de quilômetros de extensão (Vitorino et al., 1987) tais como: Linhas de Instabilidade (LI), Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) e aglomerados de Cumulonimbus (Cb), que são os principais sistemas atmosféricos responsáveis pela ocorrência de chuvas isoladas.

As seções a seguir explicam como os fenômenos ENOS (no Pacífico Tropical) e Padrão de Dipolo (no Atlântico Tropical), e a Oscilação 30-60 dias influenciam a variabilidade pluviométrica do setor norte do NEB.

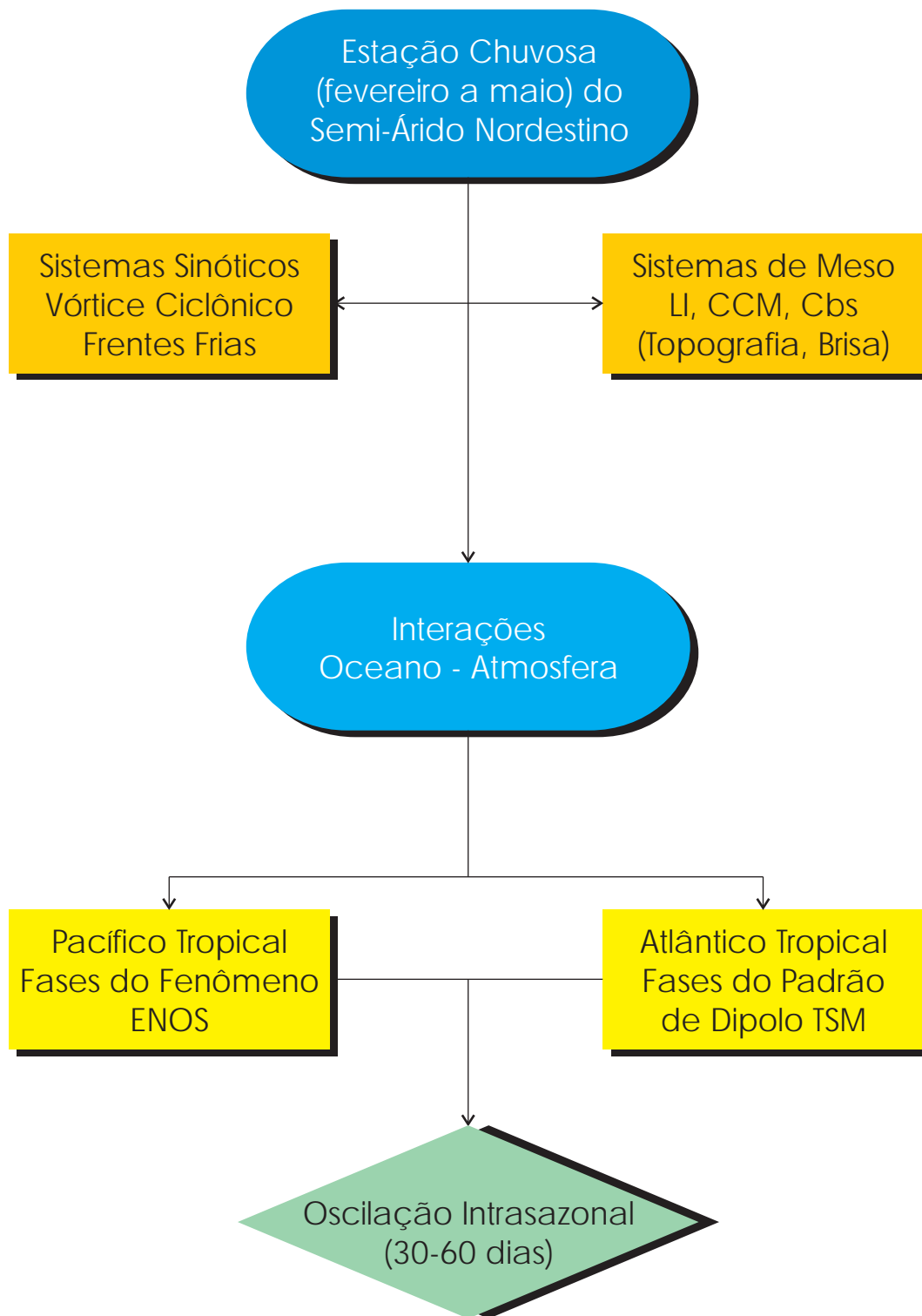


Figura 2.7 - Esquemática dos mecanismos físicos de grande escala sobre o Pacífico e Atlântico Tropicais de atuações na escala interanual e sistemas sinóticos, de meso e escala local que influenciam a variabilidade espacial e temporal da precipitação do setor norte do NEB, durante a sua estação chuvosa (fevereiro a maio).



2.3.4.2 - O Fenômeno Enos

Uma das principais causas de anomalias climáticas ao longo do globo, inclusive sobre os trópicos, é o fenômeno conhecido como El Niño/Oscilação Sul - ENOS (Ropelewisk & Halpert, 1986, 1987; Cane, 1992; Philander, 1990 e outros). A designação El Niño (uma referência ao Menino Jesus) era originariamente empregada pelos pescadores das costas do Peru e do Equador para designar o período, em geral, iniciando próximo ao Natal, com duração de alguns meses, caracterizado por Temperaturas da Superfície do Mar (TSMs) mais altas nas águas costeiras daqueles dois países e de menor abundância de peixes, motivo para a suspensão da pesca e para que então pudessem se dedicar à manutenção dos barcos e conserto das redes (Xavier, 1997).

A Oscilação Sul funciona como um balanço de massa atmosférica de grande

escala, envolvendo trocas de ar entre os hemisférios leste e oeste, centradas nas latitudes tropicais e subtropicais, sendo que os centros de ação localizam-se sobre a Indonésia e no Oceano Pacífico Tropical Sul. Esses centros de ação estão ligados por uma célula de circulação de grande escala no sentido zonal, isto é, leste-oeste (denominada "Célula de Walker" por Bjerknes, em 1969), com ramo ascendente no Pacífico oeste e ramo subsidente no Pacífico leste (veja ilustração na Figura 2.8). Esta esquematização é a condição normal observada nas características oceânicas e atmosférica na Bacia do Oceano Pacífico Tropical.

A maioria dos estudos que abordaram os impactos do ciclo do ENOS sobre o clima do setor norte do NEB (e também em diversas regiões do globo) tem sido muito mais direcionada para a relação à sua fase quente (episódios El Niño).

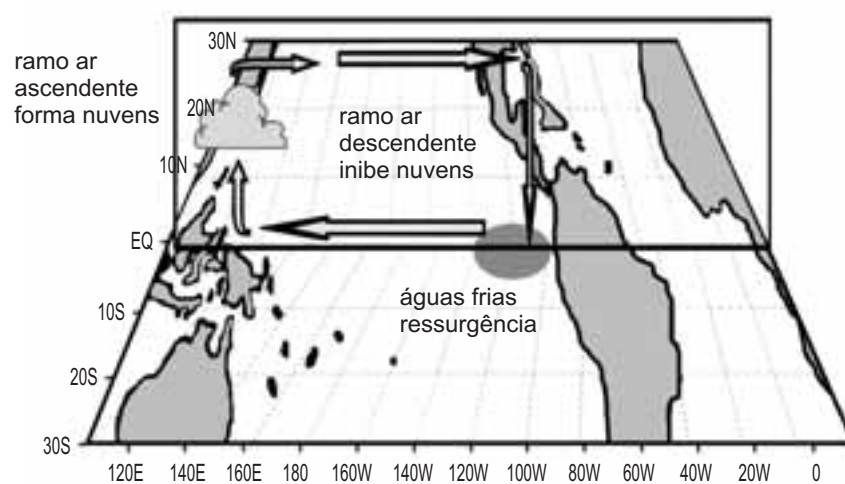


Figura 2.8 - Esquematização da Célula de Walker sobre o Pacífico Tropical. Sob condições normais observa-se o ramo ascendente (favorável à formação de nuvens convectivas profundas) sobre o Pacífico oeste e Austrália/Indonésia. Por outro lado, sobre a região do Pacífico leste, próximo ao Peru e Equador, onde verifica-se a presença de águas frias (devido à Ressurgência - afloramento na superfície das águas oceânicas advindas do fundo do Oceano Pacífico) manifesta-se o ramo subsidente (que inibe a formação de nuvens).

2-BASE FÍSICA

As interações oceano-atmosfera observadas durante a manifestação dos episódios El Niño sobre o Pacífico Tropical desencadeiam mudanças na circulação geral da atmosfera, ou seja, na Célula de Walker e também na Célula de Hadley (circulação atmosférica de grande escala no sentido meridional, isto é, norte-sul, com ramo ascendente sobre os trópicos e ramo subsidente sobre as latitudes subtropicais).

Kousky et al.(1984) e Kayano et al.(1988) sugeriram que as decorrentes secas que assolam o setor norte do NEB, associadas ao fenômeno El Niño, podem ser um reflexo das mudanças na circulação atmosférica de grande escala sobre os trópicos, particularmente na Célula de Walker que passa a apresentar o ramo subsidente sobre o Atlântico Equatorial Norte. Na Figura 2.9 mos-

tra-se a esquematização da circulação atmosférica de grande escala modificada em associação às condições de El Niño, onde notam-se na região (Pacífico centro-leste) águas mais quentes do que o normal e ramo de ar ascendente (com formação de nuvens convectivas profundas). Esse ramo de ar ascendente (subindo sobre o Pacífico centro-leste) deve descer em algum lugar (obedecendo à lei de continuidade de massa), o que ocorre sobre a região norte da Austrália e Indonésia (no Pacífico ocidental) e, ainda, sobre o Atlântico Equatorial Norte, atingindo o setor oriental da Amazônia e setor norte do NEB (que engloba principalmente o Estado do Ceará). Esse ramo de ar descendente inibe a formação de nuvens e, conseqüentemente, tem-se a manifestação de chuvas abaixo do normal nessas regiões.

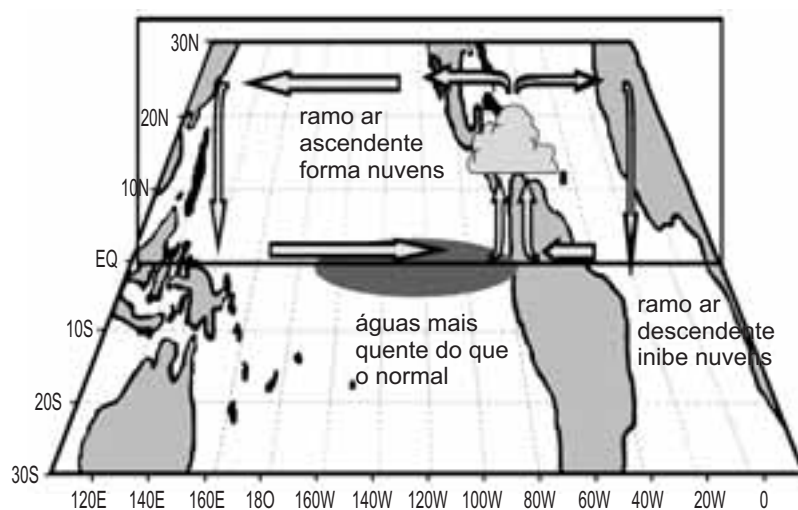


Figura 2.9 - Esquematização da circulação atmosférica de grande escala no sentido zonal (Célula de Walker modificada) em associação às condições de El Niño no Oceano Pacífico. Sobre o setor centro-leste observa-se o ramo ascendente (favorável à formação de nuvens) e, por outro lado, sobre o Pacífico oeste/Austrália e Indonésia e, ainda, sobre o Atlântico Equatorial Norte, incluindo o leste da Amazônia e setor norte do NEB, manifesta-se o ramo descendente (que inibe a formação de nuvens).

A Figura 2.10 corrobora com as explicações físicas dessa complexa interação entre as condições térmicas na Bacia do Oceano Pacífico e a Atmosfera Tropical. Notam-se na Figura 2.10a anomalias de chuva percentual, em relação à média do período de fevereiro a maio, para uma composição de anos com características térmicas normais ou de La Niña (Alves et al., 1997), conforme configuração mostrada na Figura 2.8 para a Bacia do Oceano Pacífico Tropical, quando as chuvas sobre o setor norte do NEB apresentam um predomínio acima da média. Entretanto, na Figura 2.10b, que mostra as anomalias de chuvas do referido período, para uma composição de anos de El Niño (Alves et al., 1997), na Bacia do Oceano Pacífico, a configuração das anomalias de precipitação em todo o setor norte do NEB são negativas, indicando características de seca ao longo da mesma.

Nestes anos, os mecanismos físicos mostrados na Figura 2.9, associados às condições termodinâmicas no Atlântico Tropical (que serão discutidas no item seguinte), impedem um deslocamento mais constante da ZCIT para as proximidades/sobre o setor norte do NEB, que favoreceria a ocorrência de chuvas mais intensas e frequentes neste período de fevereiro a maio.

Em geral, os anos com ocorrências de chuvas deficientes no setor norte do NEB estão associados a eventos ENOS, especialmente quando estes foram bem configurados, (1957/1958, 1982/1983), entretanto nem sempre todo fenômeno ENOS observado foi responsável por secas ou chuvas deficientes na região. Isto é, existem outras variáveis que também podem controlar o índice de chuvas no setor norte do NEB, como, por exemplo, as que ocorrem na Bacia do Oceano Atlântico Tropical.

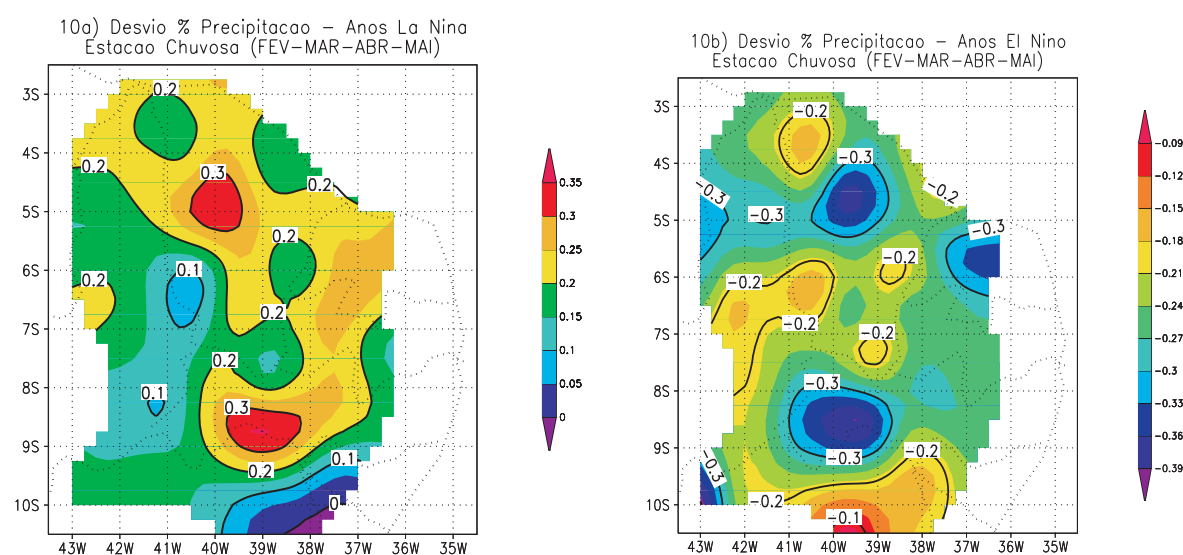


Figura 2.10 - Distribuição espacial dos desvios de precipitação (x 100) ao longo do setor norte do NEB. 2.10a) para uma composição de alguns anos de La Niña (1917, 1943, 1945, 1950, 1954, 1955, 1960, 1962, 1963, 1964, 1965, 1967, 1968, 1971, 1974, 1975, 1976, 1978, 1984, 1985, 1986 e 1989) e 2.10b) para uma composição de anos de El Niño (1914, 1918, 1923, 1925, 1930, 1932, 1939, 1951, 1952, 1956, 1958, 1966, 1970, 1972, 1977, 1981, 1982, 1983 e 1987).

FONTE: Meyers et al., 1997.

2-BASE FÍSICA

2.3.4.3 - O Padrão de Dipolo

Apesar de os numerosos estudos sobre os padrões anômalos da circulação atmosférica e precipitação sobre algumas regiões da América do Sul terem associado esses padrões às TSMs anômalas no Pacífico Equatorial (associadas aos eventos ENOS), alguns trabalhos consideraram, no entanto, que o efeito desse fenômeno não explica totalmente os padrões climáticos anômalos observados sobre o setor norte do NEB. Várias análises de correlações indicaram que o ENOS explica somente em torno de 10% da variabilidade da precipitação sobre o NEB (Hastenrath e Heller, 1977; Kousky et al., 1984).

Nos meses do outono austral (março, abril e maio), período coincidente com a estação chuvosa do setor norte do NEB, o modo de variabilidade oceano-atmosfera de grande escala dominante sobre a Bacia do Atlântico Tropical é o conhecido Padrão de Dipolo do Atlântico (Hastenrath e Heller, 1977; Moura e Shukla, 1981; Servain e Legler, 1986; Nobre, 1993; Nobre e Shukla, 1996; Wagner, 1996; Uvo et al., 1997).

O Padrão de Dipolo caracteriza-se pela manifestação simultânea de anomalias de TSM configurando-se espacialmente com sinais opostos sobre as Bacias Norte e Sul do Atlântico Tropical. Esse padrão térmico inverso gera, conseqüentemente, o aparecimento de um gradiente térmico meridional e inter-hemisférico sobre o Atlântico Equatorial (Wagner, 1996), o qual exerce influências no deslocamento norte-sul da ZCIT (Hastenrath & Greichschar, 1993; Nobre, 1993; Nobre e Shukla, 1996), que constitui-se no principal sistema meteorológico indutor de chuvas na

região do semi-árido no período da estação chuvosa (HASTENRATH, 1990).

Com base nisso, a SRH (através da FUNCEME) resolveu implementar o projeto PIRATA (Pilot Research Moored Array in the Tropical Atlantic), a partir dos meados de 1997, como parte integrante de um programa de pesquisa oceanográfica internacional financiado pelo Brasil, França e Estados Unidos. A rede PIRATA consiste numa série de 12 bóias (Figura 2.11), semelhante à existente no Oceano Pacífico (instaladas para estudar o fenômeno ENOS), situadas no Oceano Atlântico Tropical, entre os Paralelos 15°N e 20°S. Têm por finalidade efetuar medições oceânicas (temperatura, salinidade e pressão) da superfície até 500 m de profundidade, e atmosféricas (direção e velocidade do vento, temperatura e umidade do ar, precipitação e radiação solar). Uma das bóias mede, também, as correntes. Os dados e posições são enviados em tempo real, com transmissão via satélite, para cientistas do mundo todo, com o objetivo de realizar estudos das interações oceano-atmosfera, que têm relação com a variabilidade climática de regiões como o Sahel africano e o Nordeste brasileiro.

Na Figura 2.12 mostra-se como as fases do Padrão de Dipolo controlam o posicionamento da banda de nebulosidade e precipitação associada à ZCIT. O eixo principal da ZCIT tende a posicionar-se, preferencialmente, sobre a região para onde está direcionado o gradiente térmico. Por exemplo, na fase positiva do Dipolo (anomalias positivas de TSM na Bacia Norte e negativas na Bacia Sul) o gradiente térmico aponta para o Hemisfério Norte.



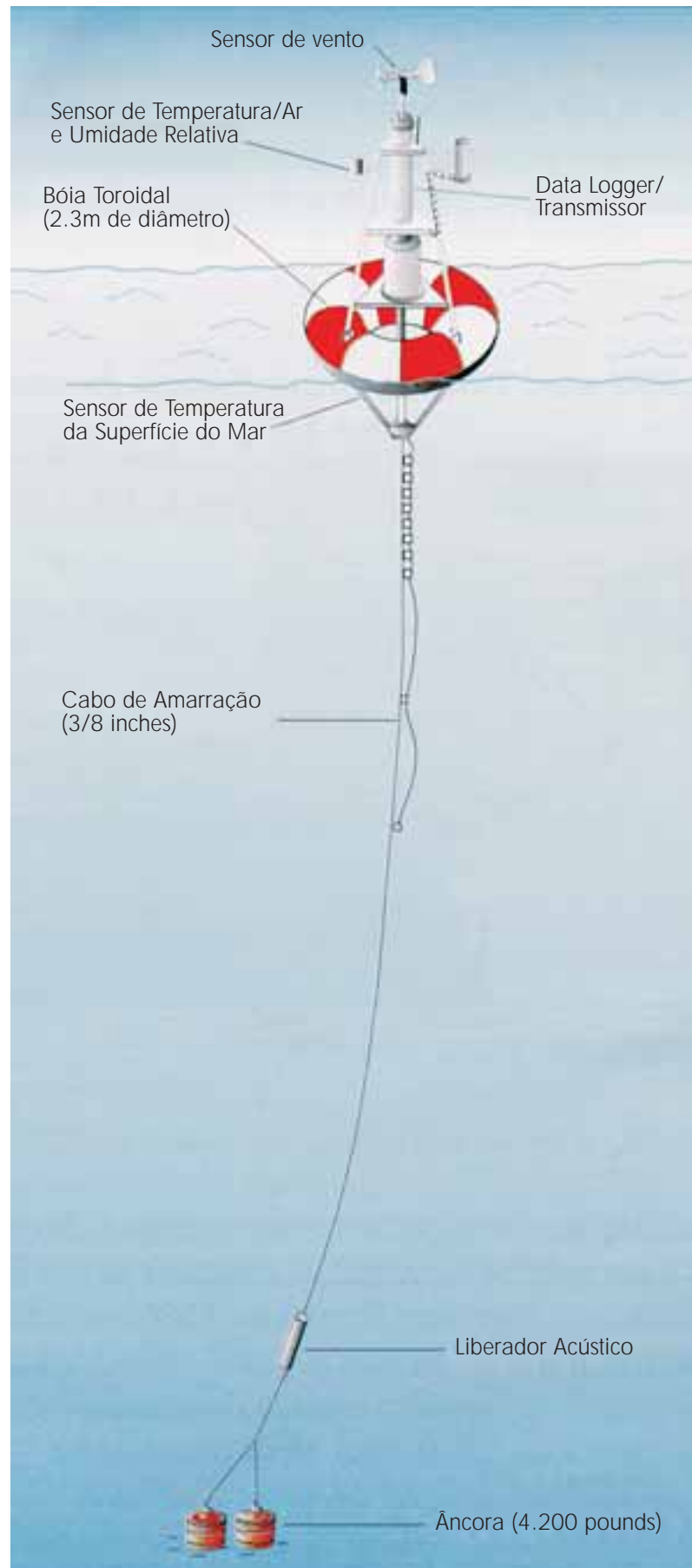
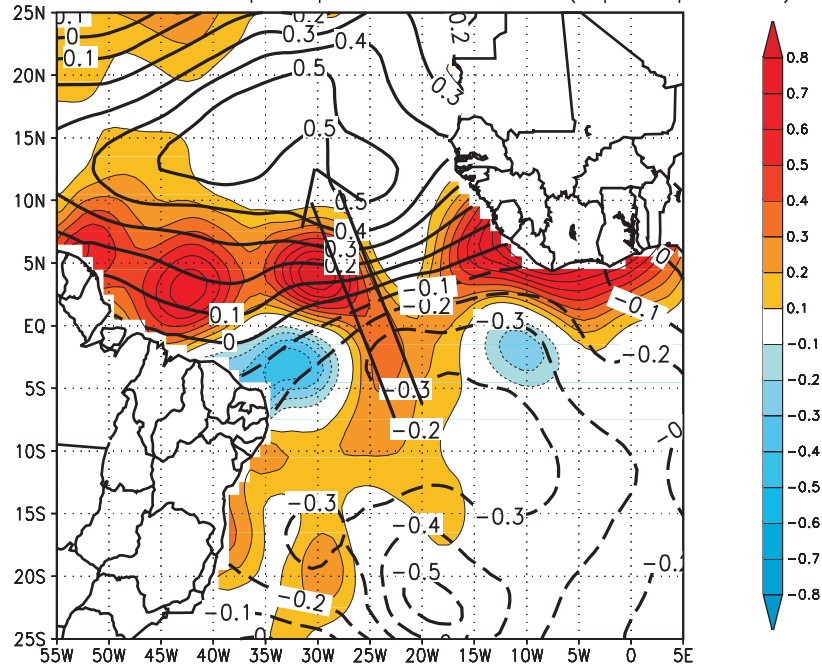


Figura - 2.11 - Bóia do Projeto Pirata

(a) anomalia TSM e precipitacao – FMAM (dipolo positivo)



(b) anomalia TSM e precipitacao – FMAM (dipolo negativo)

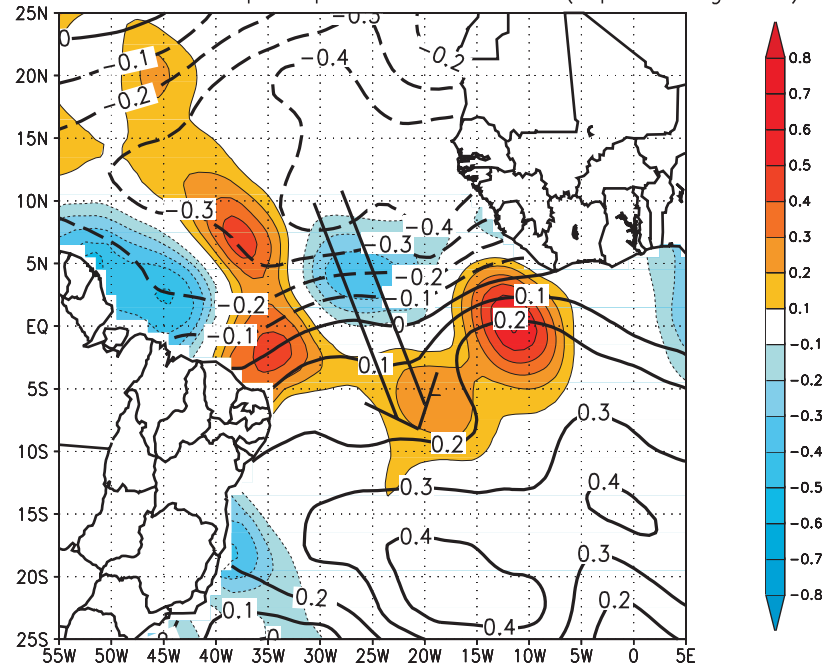


Figura 2.12 - Anomalias de TSM em oC (isolinhas) e de precipitação (áreas hachuradas) para o quadrimestre fevereiro a maio nos anos em que se observaram: (a) fase positiva; (b) fase negativa do Padrão de Dipolo sobre o Atlântico Tropical. As isolinhas contínuas representam valores positivos e as tracejadas, valores negativos. As áreas hachuradas indicam anomalias positivas (cores vermelhas) e negativas (cores azuis) de precipitação. As setas indicam o sentido do gradiente térmico para onde a ZCIT tende a posicionar-se.

FONTE: Adaptado de Souza et al., 1998.



A Figura 2.13 mostra as características espaciais da distribuição pluviométrica no setor norte do NEB em anos de ocorrência de Dipolos Positivo e Negativo. Nota-se a ocorrência de um predomínio de desvios

negativos (positivos) ao longo da região nos anos de ocorrência da fase positiva (negativa) do Dipolo de TSM no Atlântico Tropical, consistente com o esquema mostrado nas Figuras 2.12a e 2.12b.

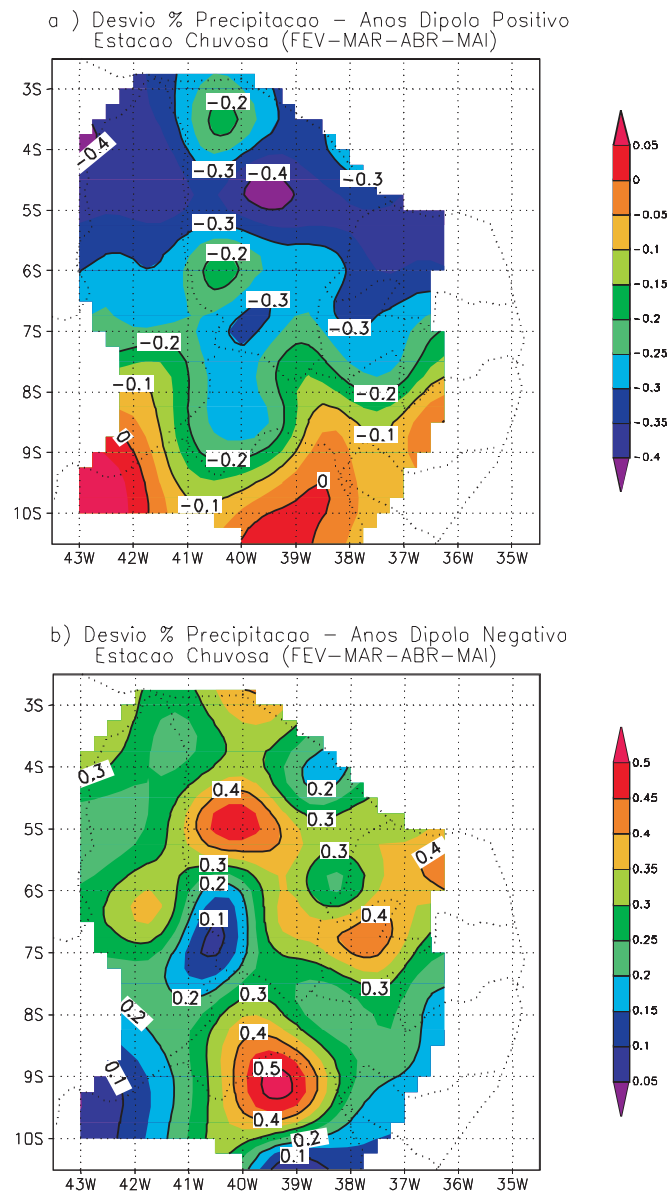


Figura 2.13 Distribuição espacial dos desvios de precipitação ($\times 100$) ao longo do setor norte do NEB. 12a) para uma composição de anos com ocorrência de Dipolo Positivo (1951, 1953, 1945, 1956, 1958, 1955, 1966, 1970, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982 e 1983) e 12b) para uma composição de anos com ocorrência de Dipolo Negativo (1949, 1964, 1965, 1971, 1972, 1973, 1974, 1977, 1985, 1986 e 1989). Os anos de Dipolos Positivo e Negativo e como estes foram definidos podem ser encontrados em SOUZA (1997).

2-BASE FÍSICA

2.3.4.4 - A Oscilação Intra-Sazonal

A Oscilação Intra-Sazonal de 30-60 dias, ou Oscilação de MADDEN e JULIAN (Madden e Julian, 1971; 1972), consiste basicamente na propagação para leste de uma onda atmosférica no sentido zonal ao longo do globo terrestre e em torno do equador. Em geral, observa-se uma perturbação nos campos de pressão e convergência de ventos nos baixos níveis, originando a formação de nuvens convectivas, cuja origem se dá sobre o Pacífico Oeste. Essas oscilações constituem-se principal fenômeno de escala intra-sazonal capaz de ocasionar variações na convecção de grande escala no cinturão tropical ao redor do globo (Kousky e Kayano, 1994). Estas oscilações são mais evidentes nos campos de anomalias de Radiação de Onda Longa (ROL). A ROL é uma medida de radiação, em ondas longas, emitida por determinada superfície em função da sua temperatura. Áreas com temperaturas mais quentes (frias) emitem em magnitude mais (menos) ROL. No caso das áreas tropicais, anomalias negativas (positivas) de ROL indicam áreas com convecção acima (abaixo) da climatologia, associados a precipitação acima (abaixo) da média.

A Figura 2.14 mostra esquematicamente as regiões padrões detectadas por Weickmann et al. (1985), em que a convecção anômala oscila, durante a manifestação da Oscilação 30-60 dias. Nota-se sobre a América do Sul uma região de influência que engloba todo o Semi-Árido Nordeste (região 4).

Kousky e Kayano (1994) mostraram que a Oscilação 30-60 dias influencia bastante no padrão de nebulosidade sobre a América do Sul, tanto na sua fase positiva

(quando a onda faz com que haja uma intensificação da nebulosidade convectiva), quanto na fase negativa (quando a onda está inibindo a nebulosidade). Quando a fase positiva está passando sobre a América do Sul, observa-se um aumento da convecção continental, podendo, inclusive, haver uma associação com a nebulosidade associada à ZCIT e, portanto, sua influência sobre a região do setor norte do NEB torna-se significativa.

Em consequência dessa característica, o conhecimento mais profundo da forma de atuação da Oscilação Intra-Sazonal é muito importante, pois, em alguns anos, quando a estação chuvosa (de fevereiro a maio) do setor norte do NEB tende a se estabelecer de normal a abaixo da média climatológica, a influência definidora da Oscilação 30-60 dias é mais evidente e modula as variações intra-sazonais das precipitações na região, principalmente durante o período de dezembro a maio. Um melhor entendimento e monitoramento da Oscilação 30-60 dias, associado às suas fases positiva e negativa é importantíssimo para implementação de calendários agrícolas e tomadas de decisões na área de recursos hídricos nas diferentes áreas do setor norte do NEB.

Repelli et al. (1998) fizeram uma análise diagnóstica de um caso em que a Oscilação 30-60 dias manifestou-se com sua fase positiva sobre a América do Sul, provocando mudanças significativas nas condições de tempo sobre a região do setor norte do NEB, durante o final de março/97.

A Figura 2.15 apresenta um diagrama longitude versus tempo das anomalias quinqüidiais (médias a cada cinco dias)



de ROL desde 1º/outubro/96 até 20/abril/97. Observa-se sobre a região da Indonésia e norte da Austrália (entre 75E e 100E) o início do pulso da onda associada à Oscilação Intra-Sazonal (núcleos de anomalias negativas de ROL, indicativo de nebulosidade convectiva mais ativa do que o normal), por volta do começo de fe-

vereiro/97, a qual propagou-se no sentido oeste-leste e levou aproximadamente sessenta dias para alcançar o continente africano. Pela referida figura, nota-se que a oscilação começou a influenciar a região do setor norte do NEB por volta do quinto quinquídio de março/97 (a partir do dia 21), ficando até o início de abril/97.

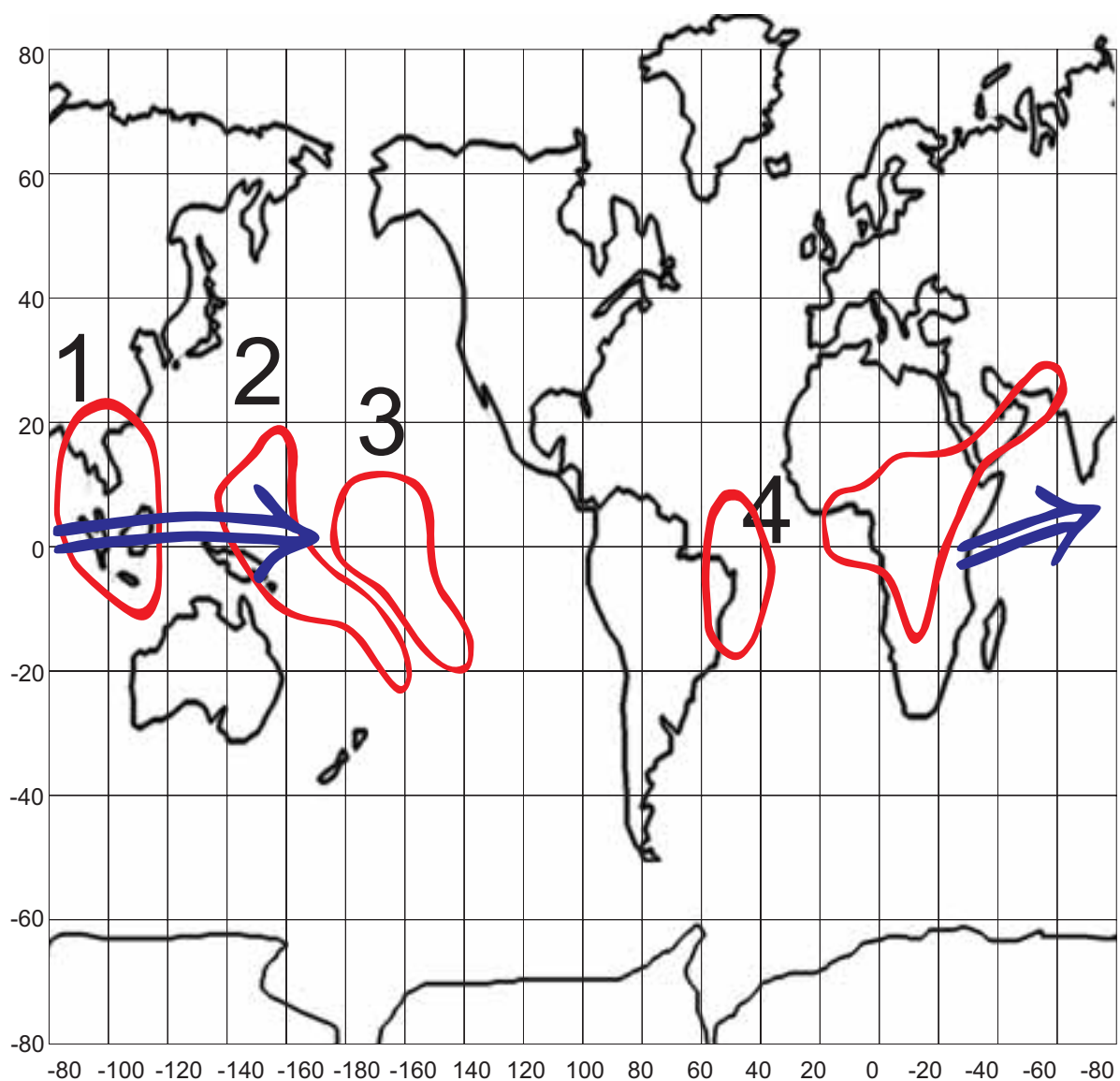


Figura 2.14 - Evolução esquemática das oscilações no campo de Radiação de Onda Longa (ROL) com escala de tempo entre 28-72 dias. O ciclo de nebulosidade propaga-se na direção especificada pela seta, ou seja, da região 1 para as regiões 2, 3 e 4, respectivamente, sendo que as regiões 1 e 3 oscilam fora de fase com as regiões 2 e 4.

FONTE: Weickmann et al., 1985, p. 948.

2-BASE FÍSICA

Na Figura 2.17, que mostra o posicionamento quinquidial (média de cinco dias) do eixo da ZCIT sobre a longitude de 35W, observado durante os meses da estação chuvosa de 1997 (de fevereiro a maio), nota-se que a ZCIT atuou no sentido de favorecer a ocorrência de chuvas na região do semi-árido, somente no final de março e início de abril de 1997 (posições localizadas ao sul do equador). Nesse ano, as condições de gran-

de escala sobre os Oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais modularam a estação chuvosa para condições de precipitação abaixo do normal. Entretanto, a manifestação da fase positiva da Oscilação 30-60 dias atuou, de maneira contrária às condições de grande escala, provocando modificações significativas nas condições de tempo e ocasionando a ocorrência de precipitação durante o final de março e início de abril/97.

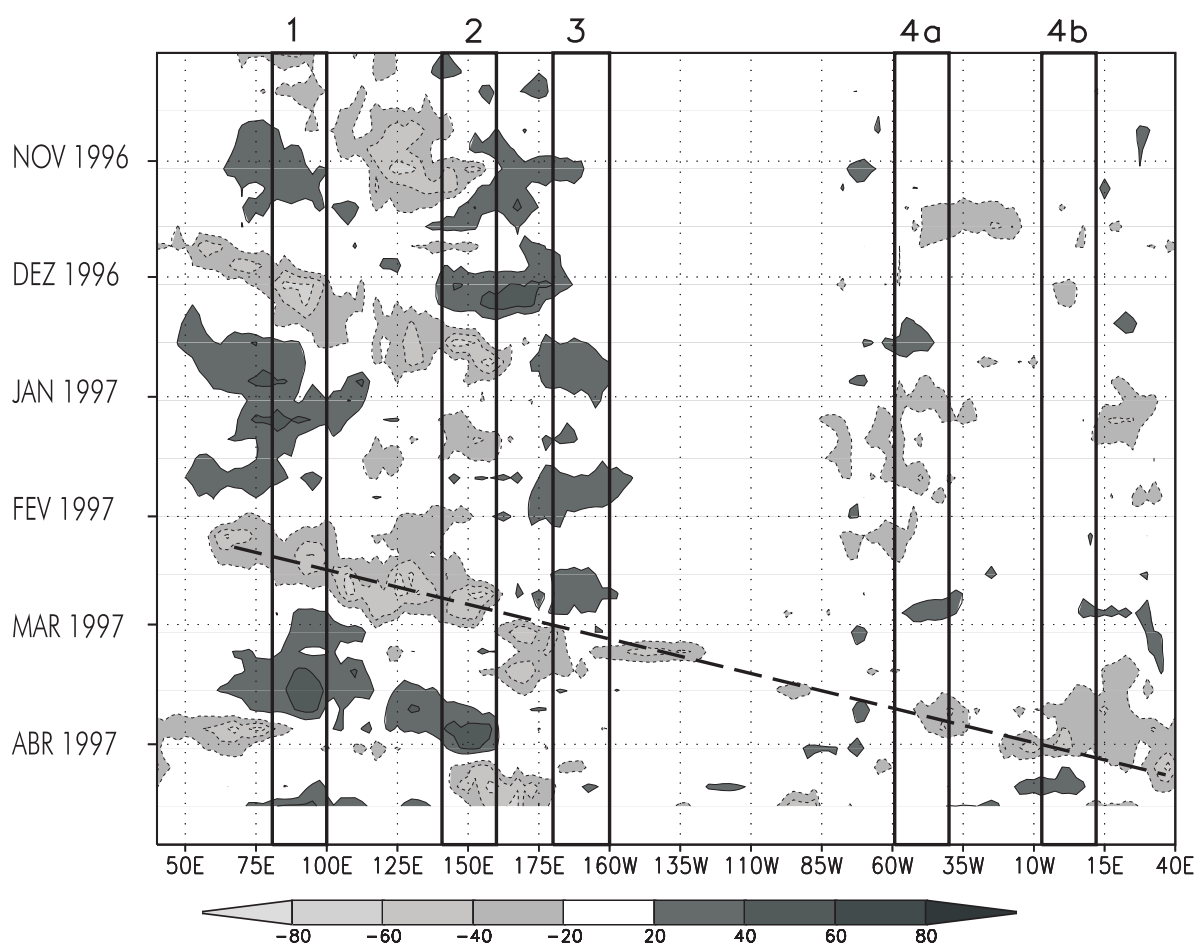


Figura 2.15 - Série temporal das anomalias quinquidiais (média de cinco dias) de ROL, mediadas entre 5N-5S ao longo do globo, de 1º de outubro 1996 até 20 de abril de 1997. O espaçamento entre as isolinhas é de 20Wm². As regiões 1, 2, 3 e 4 referem-se às mesmas mostradas na Figura 13. A linha tracejada indica a propagação da onda associada à fase positiva da Oscilação 30-60 dias que influenciou o Semi-Árido Nordeste, por volta do final de março/97.



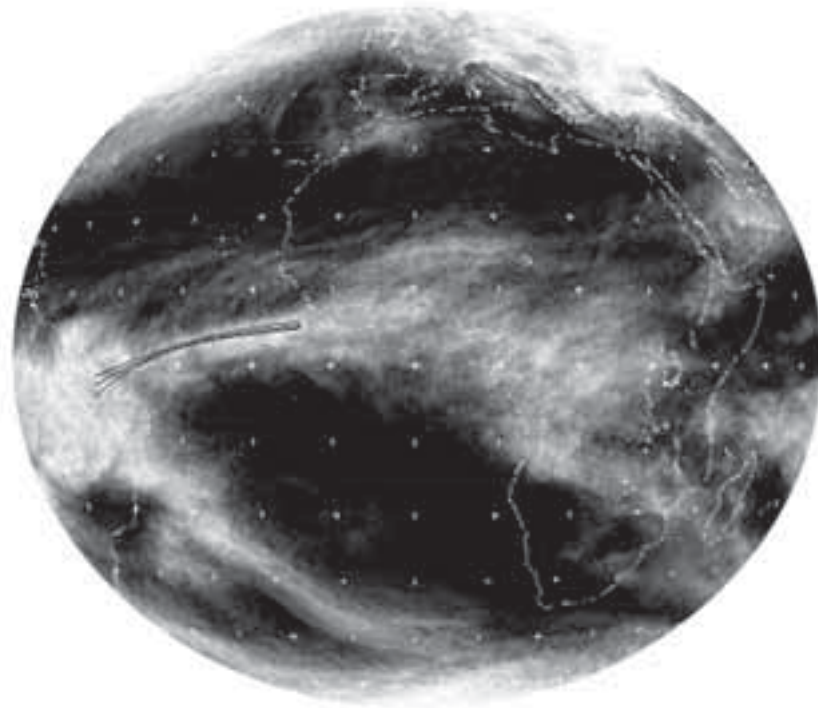


Figura 2.16 - Combinação das imagens globais do satélite Meteosat VI no canal infravermelho entre os dias 21-28/ março/97. As linhas tracejadas representam o posicionamento do eixo da ZCIT sobre a Bacia do Oceano Atlântico Tropical. Linhas pretas representam o posicionamento médio do eixo da ZCIT sobre o Atlântico Tropical.

FONTE: Monitor Climático Especial, v.2, 1997.

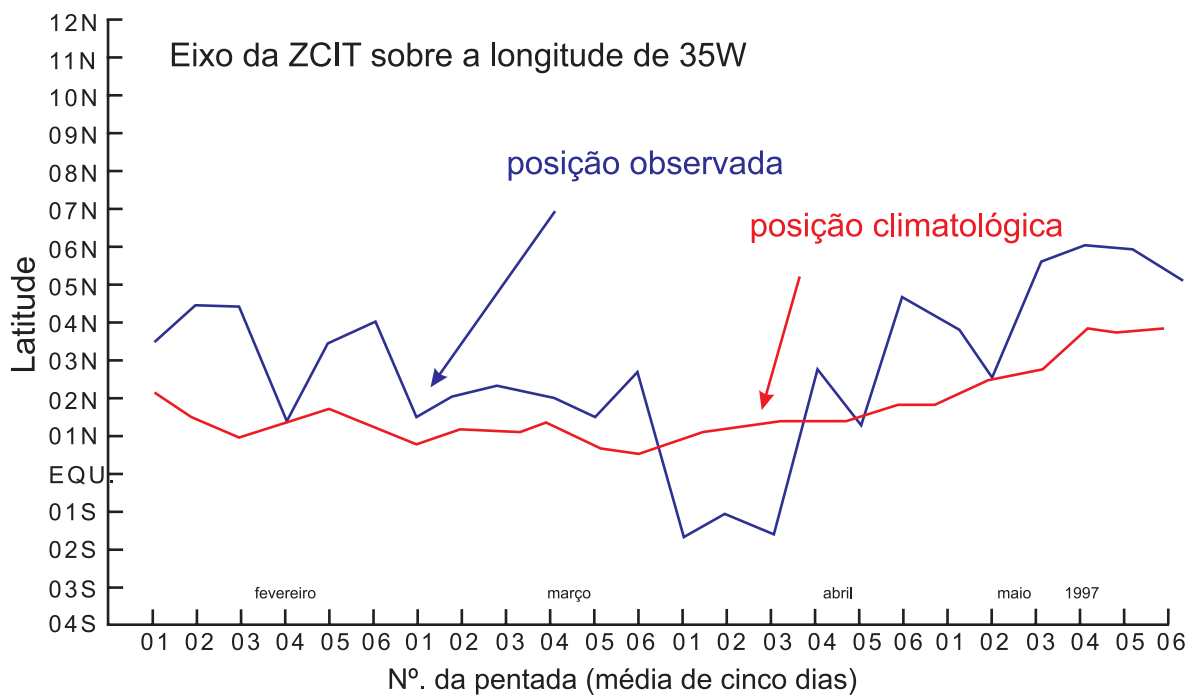


Figura 2.17 - Evolução temporal dos quinqüídios (média de cinco dias) do eixo médio da ZCIT sobre a longitude de 35W, sobre o Atlântico Tropical, observados durante a estação chuvosa de 1997 (de fevereiro a maio).

FONTE: Monitor Climático Especial, v.2, 1997.

2-BASE FÍSICA

2.3.5 -Uma Breve Revisão da Evolução Prevista de Chuva para a Região Semi-árida e sua Perspectiva Futura

No Semi-Árido Nordestino, a variabilidade climática, em particular as situações de seca, sempre é sinônimo de agruras para as populações rurais do interior da região; e tem sido objeto de preocupação da sociedade e organismos de governo ao longo dos anos. A prova cabal dessa preocupação é o projeto e construção dos primeiros reservatórios hídricos na região, que datam do final do século XIX, durante o período imperial, a exemplo da construção do açude do Cedro, em Quixadá-CE.

Entretanto, a questão do entendimento científico do porquê do Semi-Árido Nordestino ser uma área tropical do globo afetada por grande irregularidade climática já advém do início do século. Estudos pioneiros sobre essa questão foram executados por Gilbert Walker, na década de 20, citados por Ferraz (1929), mostrando que secas ou enchentes nessa região estavam conectadas com anomalias climáticas em várias áreas remotas do planeta, e não se constituíam somente em respostas atmosféricas locais. Mais tarde, com a evolução desses estudos, à essas ligações remotas foi denominado o termo de teleconexões atmosféricas. Com o passar do século e o aprimoramento e adensamento das observações meteorológicas de superfície e ar superior sobre os continentes e oceanos, os estudos foram evoluindo e o supracitado entendimento científico foi sendo elucidado.

Com o avanço da ciência meteorológica, saindo do âmbito da sua

criação, e com o aprofundamento da escola de latitudes médias norueguesa, levando-se em consideração que, nos trópicos, principalmente, as fontes e sumidouros térmicos que ocorrem nos oceanos são as grande fontes de energia para toda a atmosfera; os estudos relativos a essa questão tropical da interação oceano-atmosfera passaram a ser também relevante. Com esse entendimento surgiram os primeiros estudos dessa natureza, fazendo-se considerações à respeito do que ocorria na bacia do Oceano Pacífico (Bjerknes, 1969). Mais tarde seus resultados e suposições subsidiaram o principal modo acoplado da interação oceano-atmosfera que se conhece até hoje, o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (Philander, 1990).

Atualmente já se tem bom entendimento dos principais processos físicos, em particular, da interação oceano-atmosfera nos trópicos, que controlam a variabilidade interanual das chuvas, causando anos de escassez ou de excesso de chuva no Semi-Árido Nordestino (em particular nas áreas com o período chuvoso centrado de fevereiro a maio). Os estudos sobre essa questão aceleraram a partir da década de 80, quando esses começaram a investigar principalmente o papel do Oceano Atlântico Tropical no controle da intensidade e o posicionamento do principal sistema causador de chuva nessa região, a chamada Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que tende a atuar abaixo do equador no período de fevereiro a maio (Hastenrath e Heller, 1977; Moura e Shukla, 1981; Hastenrath, 1990, .Hastenrath e Greischar, 1991; Alves e Reppeli, 1991; Nobre, 1996; e outros).



Porém, apesar de algumas evidências científicas já mostrarem que havia possibilidade de prever a variabilidade climática dessa área semi-árida do Nordeste desde os anos 20, a falta de observações meteorológicas rotineiras, principalmente sobre os oceanos, e em particular como integrar essas observações, foi um obstáculo à implementação de uma sistemática de prognóstico. Somente nos últimos vinte anos, com a facilidade das telecomunicações entre os continentes e o advento tecnológico dos computadores de grande porte e pessoais, esses dados tornaram-se acessíveis em tempo real, possibilitando a implementação dessa sistemática de previsão.

2.3.5.1- Modelos de Previsão de Secas

A grande incógnita ao se prever a seca no Semi-Árido Nordeste sempre perturbou a mente de cientistas que labutaram e labutam nessa seara. As primeiras tentativas de previsões sazonais (para estação chuvosa) e de médio e longo prazos foram executadas utilizando-se a própria variabilidade de séries históricas de chuva na região (Markham, 1974; Girardi & Teixeira; 1978; Kane & Triviedi; 1988 e outros). Sumariza-se sobre a possibilidade de se prever a variabilidade interanual da chuva no Semi-Árido Nordeste na transcrição de uma das conclusões do relatório técnico executado em 1980 no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Contri-

UMA HISTÓRIA DE PREVISÃO DE SECAS

Inicia o ano com o El Niño em sua fase madura. A Instituição de Administração da Atmosfera faz sua previsão: as disponibilidades hídricas devem ficar bem abaixo da média histórica. O tempo passa lentamente e o regime de precipitações parece comprovar os prognósticos pessimistas. Propõe-se que a região se prepare para a pior seca dos últimos 20 anos. O Governador estabelece um Comitê para tratar com os impactos da prospectiva seca.

O tempo passa e as águas não chegam. São emitidos mapas das previsões: Espera-se em cerca de um terço da Região vazões fluviais 30% abaixo da média histórica. Técnicos estimam as perdas econômicas: a imprensa noticia que essas perdas ficarão entre \$185 milhões e \$ 1 bilhão. Dois terços dos municípios da Região declaram estado de Emergência de Seca e com base na legislação vigente buscam auxílio do Governo Federal.

Chega o tempo de planejar a liberação de águas para a estação de irrigação. O órgão gestor das reservas de água incorpora o clima da previsão e toma suas precauções. Haverá racionamento. Somente metade do suprimento normal será liberado. Iniciam-se os planos para o enfrentamento das secas. O Comitê propõe as seguintes medidas: 1) perfuração de poços profundos para utilização do potencial de águas subterrâneas; 2) grandes projetos de transposição de águas entre bacias hidrográficas; 3) modificação do tempo através da provocação de chuvas artificiais; outras atividades com transplante de culturas perenes para áreas favoráveis, medidas de subsídios etc..

2-BASE FÍSICA

Algumas medidas transformaram-se em ações. Cerca de \$ 400 mil são gastos pelo governo estadual no processo de provocação de chuvas; muitos e muitos poços profundos são construídos pelos usuários de água do sistema. Muito dinheiro é gasto.

O tempo passa e o mundo real das águas começa a se afastar do mundo prospectivo do modelo matemático. O gestor das águas admite que a previsão havia sido demasiadamente conservadora. O racionamento começa a ser relaxado. As alocações de água aumentam. Por vezes, as águas então liberadas não encontram as culturas que encontrariam caso não houvesse havido aquela previsão. Elas passam ao largo de fazendeiros decepcionados. Finalmente, a estação das águas caracteriza-se como normal. Não houvera seca. Os jornais passam a noticiar as reações rancorosas dos fazendeiros: uns por terem deixado de plantar, outros por terem investido em poços desnecessários.

O Superintendente do Órgão Gestor filosofa: "uma previsão é somente uma previsão. Não é uma garantia." Um fazendeiro define: "Seca é quando o Governo nos envia um relatório dizendo que não há água."


Essa é uma História real. Todavia ela não se deu no Nordeste Brasileiro. Nem tão pouco ela foi protagonizada pela FUNCEME ou pelo INPE; O órgão gestor não foi o DNOCS nem a COGERH. O Superintendente filósofo não foi o Dr. Francisco Viana. Essa história se deu em 1977 nos Estados Unidos da América. O órgão predictor foi a NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration); O órgão gestor foi o Bureau of Reclamation. O racionamento se deu na bacia hidrográfica do rio Yakima no estado de Washington. Ela foi relatada em revista científica pelo Professor Michael Glantz do Centro Nacional de Pesquisas Atmosféricas em Boulder, Colorado. Com esse artigo o Professor Glantz procurou mostrar que previsões de secas têm consequências e responsabilidades.

Secas acontecem e deixam de acontecer: quer sejam ou não previstas. Uma previsão realmente é uma previsão e não uma garantia. Porém essa filosofia, na maneira aplicada, retrata que o Gestor não assumiu a responsabilidade da previsão. Em suma, houve inabilidade em lidar com a previsão. Todavia há o outro lado da moeda. A seca poderia ter acontecido. E se essa seca houvesse acontecido como prevista e a população não houvesse sido informada sobre a previsão? Esse é o dilema.

Essa História não é nossa mas poderá vir a ser. Embora possamos ter tido avanços científicos nos modelos de previsão, não avançamos nada em termos de como lidar com as previsões. Uma região onde as secas são frequentes e encontram um largo contingente populacional altamente vulnerável, a preparação para as secas deve ser um ato de rotina e não uma atitude que se toma quando estão aquecidas as águas do Pacífico Sul. Toda previsão de seca tem consequências e responsabilidades. Resta avaliar as consequências e definir as responsabilidades.

José Nilson Bezerra Campos (A Água e a Vida: Textos e Contextos. Fortaleza: ABC Fortaleza, 1999. p. 133-134).





buição ao Estudo da Previsão de Secas e Modificação Artificial do Tempo e Clima do Nordeste Brasileiro), que avaliou os resultados desse tipo de estudo feito até àquele momento: “Estima-se que a solução definitiva do problema de previsão de secas no Nordeste seja fornecida pela simulação do comportamento da atmosfera global, pelo uso dos chamados Modelos Globais de Circulação Geral da Atmosfera, que podem ser usados para o teste de hipóteses físicas e o desenvolvimento de modelos de previsão da ocorrência de outros flagelos, como enchentes e geadas, em outras regiões do país.” Fica explícita a baixa confiabilidade desse tipo de prognóstico (os mesmos não chegam a explicar 25% da variabilidade interanual da chuva na região). Essa afirmação do relatório é bem clara e condensa todo o entendimento científico acumulado nessas últimas décadas, mostrando que o controle da distribuição de chuva nessa área semi-árida do Nordeste é controlada basicamente pelas condições dos Oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais, cujas variações interanuais são expressivas, principalmente na bacia deste último.

2.3.5.2-Como são Feitas as Previsões Atualmente

A maioria dos estudos realizados na literatura meteorológica que trataram o aspecto prognóstico de precipitação para o Semi-Árido Nordestino e sua verificação, em geral, o abordaram considerando a região como sendo homogênea, caracterizando a mesma através de um índice regional (Ward et al., 1991; Hastenrath e Greischar, 1993). Entretanto, vale mencionar que este tipo de caracterização mascara consideravelmente a distribuição intra-

regional da precipitação, o que pode levar à classificação errônea de um determinado local, em um dado ano, relacionado ao que foi realmente observado.

Como já afirmado anteriormente, a partir de 1985, a FUNCEME conjuntamente com o INPE vem monitorando vários parâmetros (ventos, pressão, TSM e outros) sobre/nas bacias dos Oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais, que servem como preditores para a qualidade da estação chuvosa (de fevereiro a maio) do setor norte do Nordeste. A partir de meados de 1995, até hoje, resultados de modelagem numérica que prognosticam a chuva sazonal na região passaram a fazer parte desse conjunto de preditores. Este método de previsão, chamado conceitual, tem como base uma avaliação da configuração de todos esses parâmetros, principalmente durante os meses que antecedem a estação chuvosa.

Nesta avaliação conceitual também são analisados outros itens, como: posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), e resultados disponíveis de modelos estatísticos de prognóstico de precipitação para a região semi-árida. Por analogia, à precipitação observada em anos anteriores, dependendo da configuração ou da característica de cada parâmetro, é inferida uma tendência de como o período chuvoso a ser prognosticado deverá estar classificado após o mês de maio, por exemplo, em uma das categorias de anos: Muito Seco (MS), Seco (S), Normal (N), Chuvoso (C) ou Muito Chuvoso (MC). Vale mencionar que nesta metodologia de previsão não se tem condi-

2-BASE FÍSICA

ções de prever a distribuição temporal e espacial da precipitação intra-sazonalmente, ao longo do setor norte do NEB.

Relacionado à aplicabilidade de prognósticos sazonais de precipitação pluviométrica, segundo NOAA-OGP (1999), existem duas principais opções para produzir uma previsão climática de consenso. A primeira é determinística, levando-se em consideração um peso médio de todos os prognósticos utilizados, por exemplo, uma previsão para “chuva acima da normal para o período de fevereiro a maio/98”.

Em termos práticos, esta previsão é fácil de ser entendida, mas não atende às necessidades de todas as possibilidades que podem ocorrer dentro da natureza caótica da variabilidade do sistema climático. Outra opção é uma previsão probabilística, com base em uma distribuição de probabilidade onde a confiança da informação é incorporada dentro da previsão. Entretanto, em alguns casos, dependendo da forma de divulgação da previsão, essa pode vir a ter a mesma conotação de uma previsão determinística. Se em uma previsão, por exemplo, há 60% de probabilidade de ocorrer um quadro de chuva abaixo do normal, essa, porém, ignora o fato de que em um dado ano ou lugar condições úmidas (chuvas) poderão vir a ocorrer.

Mais recentemente, alguns estudos têm alcançado previsão climatológica sazonal, considerando a variabilidade pluviométrica intra-regional do setor norte do Nordeste usando as mais diferentes técnicas estatísticas (Repelli et al., 1996; Azevedo et al., 1998; Xavier et al. 1999; Sansigolo; 1999).

2.3.5.3-Perpectivas Futuras da Previsão de Chuva

A aplicação dos resultados advindos da previsão climática tem exigido o desenvolvimento de técnicas ou métodos que aprimorem o prognóstico de variáveis nas escalas temporal e espacial. Nas últimas duas décadas ocorreu uma significativa evolução dos estudos acerca do entendimento dos processos físicos que interferem na distribuição de chuva, principalmente nas áreas tropicais do globo.

Devido às limitações da previsão climática numérica de grande escala, nos últimos anos, em alguns institutos nacionais e internacionais de meteorologia, grupos de pesquisa passaram a testar a chamada técnica de “Downscaling”. Essa técnica consiste, basicamente, no aninhamento dos resultados de uma modelagem de grande escala servindo de entrada para alimentar um modelo regional de área limitada, com resolução da ordem de dezenas de quilômetros (Dickinson et al. 1989; Giorgi e Bates, 1989; Liu et al., 1994).

Simulações aplicando essa técnica têm sido executadas em algumas regiões do globo terrestre: África (Sun e Graham, 2001), Região de Monções Asiáticas e Nordeste do Brasil (região semi-árida). Os resultados desses estudos foram promissores, revelando que a técnica de “Downscaling”, nessas áreas, foi capaz de capturar a assinatura da distribuição espacial e temporal da precipitação e o padrão de circulação atmosférica observados, cita-se o caso das Monções Asiáticas (Ji e Vernekar, 1997). Segundo Giorgi (1990), os modelos regionais cujas grades incorporam melhor resolução de topografia, não implícita na modelagem de grande escala, tendem



a representar melhor os efeitos da orografia na distribuição de chuva intra-regional da área de interesse.

Mais especificamente para a Região Nordeste do Brasil, Nobre et al. (2001) fizeram um estudo da técnica de “Downscaling” com a simulação de três membros aninhando um GCM (ECHAM 3, Max Plank Institute), a um modelo regional (Modelo Regional Espectral desenvolvido no National Center for Environmental Prediction), com três diferentes condições iniciais para o período de fevereiro a maio de 1999. As simulações foram feitas utilizando-se duas grades para o MRE, uma de 80 km e outra menor, de 20 km, sendo que os resultados prognosticados na grade de 80 km foram usados como dado de entrada a cada seis horas para a grade de 20 km.

Seus resultados mostraram que o modelo regional com 80 km de resolução obteve melhor performance do que o modelo de grande escala, reduzindo seus erros sazonais e quadráticos para uma área sobre o Nordeste do Brasil. Essa característica também foi observada quando comparados os resultados obtidos com 80 km em relação ao de 20 km. Com a resolução de 20 km, o MRE mostrou um incremento da chuva nas áreas de topografias mais elevadas, não consistente com a realidade, indicando possíveis problemas na parametrização da convecção utilizada. Outro resultado interessante foi uma melhor previsão da posição e da largura da ZCIT sobre o Atlântico Tropical, feita pelo MRE de 80 km em relação ao GCM. Nobre et al. (2001) mostraram também que os resultados do MRE com 80 km apresentam a possibilidade da previsão da frequência de distribuição de

dias secos e chuvosos dentro da quadra chuvosa do setor norte do Nordeste (período de fevereiro a maio).

A FUNCEME, em convênio com o International Research Institute for Climate Prediction (IRI), da Universidade de Columbia (EUA), instalou uma versão de um modelo regional - versão hidrostática do MRE do NCEP (Juang e Kanamitsu, 1994). Esse modelo está em fase de avaliações, fazendo previsões de precipitação para uma área de 60 km por 60 km, e seus resultados futuramente poderão melhorar substancialmente a previsão espacial, e possivelmente temporal, da precipitação no Estado do Ceará e na Região Nordeste, podendo também servir de base a estudos de previsão hidrológica.

2.4- A HIDROGEOLOGIA DO ESTADO DO CEARÁ

2.4.1 -Introdução

A Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH), objetivando otimizar o aproveitamento dos recursos hídricos, editou há alguns anos atrás o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PLANERH, 1992). Sem discontinuidades, o governo do Estado vem, nos últimos doze anos, desenvolvendo programas, organizando e executando projetos integrados e às vezes interligados, transferindo a água, quando necessário, para outra bacia ou região onde os reservatórios necessitam de aportes complementares.

O planejamento é um procedimento insubstituível e essencial para que se obtenha maior eficiência também no suprimento de água às comunidades. Nos dias atuais, sob um ritmo acelerado de inovações tecnológicas e de ajustamento socioeconômico, o planejamento, neces-

A ÁGUA SUBTERRÂNEA NO NORDESTE DO BRASIL: ALGUNS ASPECTOS RELEVANTES

O Brasil apresenta uma deficiência séria no conhecimento do potencial hídrico de seus aquíferos e do seu atual estágio de exploração. Os estudos regionais são escassos e encontram-se defasados. Mais recentemente, a identificação de aquíferos contaminados tem estimulado o desenvolvimento de estudos mais detalhados em áreas freqüentemente pequenas. É imperativo ampliar o conhecimento a respeito das recargas e limites de exploração sustentável dos aquíferos, além das ações necessárias com vistas à proteção dos mesmos, para subsidiar o desenvolvimento de metodologias adequadas de gestão dos recursos hídricos subterrâneos.

Em termos de ocorrência e utilização das águas subterrâneas, por exemplo, a Província Hidrogeológica Escudo Oriental do Nordeste - onde está localizada a região semi-árida - tem pequena disponibilidade hídrica, devido à formação de rochas cristalinas. É freqüente observar teor elevado de sais nas águas desta região, que restringe ou impossibilita seu uso. Na Província Hidrogeológica Costeira, os sistemas aquíferos Dunas e Barreiras são utilizados para abastecimento humano nos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte. O aquífero Açu é intensamente explorado para atender ao abastecimento público, industrial e em projetos de irrigação (fruticultura) na região de Mossoró (RN). O aquífero Beberibe é explorado na Região Metropolitana de Recife, através de 2.000 poços que atendem condomínios residenciais, hospitais e escolas. O crescimento desordenado do número de poços tem provocado significativos rebaixamentos do nível de água e problemas de intrusão salina em Boa Viagem, em Recife.

Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente / Agência Nacional de Águas. **Plano Nacional de Recursos Hídricos. Documento Base de Referência, Minuta, Revisão 01, abril/2003.**

sariamente, deverá ser dinâmico e atento às novas demandas sociais.

No Estado do Ceará, a forte variação dos regimes pluviométricos vem provocando, a cada três ou quatro anos, períodos onde deve-se conviver com drástica escassez de água.

As águas subterrâneas que correm no Estado já vêm abastecendo centenas de milhares de pessoas durante os doze meses do ano, não só para o seu consumo mas para o desenvolvimento de atividades produtivas, da agricultura irrigada, da pecuária e da indústria.

Nas outras regiões, a água do subsolo, embora em menor escala, também complementam as ofertas d'águas superficiais, proporcionadas pela rede de aqüedagem existente nas diversas bacias hidrográficas.

Os depósitos de água subterrânea não estão sujeitos ao fator hídrico mais negativo do Ceará e do Nordeste, ou seja, à evaporação, que se faz de modo contínuo e sorrateiramente, alcançando valores anuais da ordem de 2.300 mm.

As reservas de água do subsolo estão acumuladas segundo os caprichos da



natureza, nas ambiências geológicas. Assim, a otimização do seu aproveitamento requer a ordenação do conhecimento hidrogeológico e a prática de planejamento dinâmico, tanto quanto requerem as águas superficiais.

Pelo fato das águas superficiais serem visíveis, muitos imaginam que os rios, barragens e lagos devem ser a maior fonte de atendimento das necessidades do homem. Na verdade, um pouco mais de 97% da água doce disponível na Terra encontra-se no subsolo. Segundo estimativas da UNESCO, no período de 1970-1995 foram perfurados no mundo cerca de 300 milhões de poços. Essas obras fornecem água subterrânea para o abastecimento de mais de 50% da população do Planeta e para a irrigação de, aproximadamente, 90 milhões de hectares (Feitosa e Manoel Filho, 1997).

2.4.2 - Caracterização Geológica do Ceará

O Estado do Ceará tem 75% de sua superfície representada por rochas de embasamento cristalino centradas no território (ver Mapa 2.3 apresentado anteriormente). Elas são capeadas por delgada camada de solo sem dimensões e porosidade que lhes permitem absorver os 700 mm de precipitação média anual. Assim, as chuvas superiores a 40 mm e de grande intensidade geram fortes deflúvios que fluem para os mananciais superficiais (rios, lagoas, açudes e etc.) ou para o Oceano Atlântico.

Bordejando as fronteiras estaduais, ao leste têm-se os sedimentos que formam a bacia Potiguar, mais conhecida como Chapada do Apodi; ao sul estão os sedimentos que compõem a bacia sedimentar do Araripe; ao oeste têm-se os sedimentos

da bacia do Parnaíba, formadores da Serra da Ibiapaba; e ao norte estão posicionados os sedimentos costeiros da Formação Barreira. Além dessas áreas, ocorrem, na região de Iguatu, sedimentos de bacias interiores que se enquadram na Formação Rio do Peixe.

2.4.2.1 - Bacias Sedimentares

Em virtude das informações geológicas disponíveis sobre as bacias sedimentares do Ceará serem de graus diferenciados de detalhe, suas caracterizações apresentam níveis de informação também heterogêneas.

Bacia Sedimentar do Araripe

A seqüência lito-estratigráfica adotada, a partir do estudo de PONTE (1992), da base para o topo e sintetizada pelo geólogo Waldir Duarte Costa, conforme pode-se observar na Figura 2.18, é a seguinte:

a) Formação Mauriti

Seqüência monótona de arenitos claros, quartzosos e/ou feldspáticos, de granulação média a grosseira, com grãos subangulares, mal selecionados, geralmente silicificados. Gradam decrescentemente em direção ao topo, terminando em siltitos e arenitos finos.

b) Formação Brejo Santo

É constituída na base por uma alternância bem estratificada de arenitos finos, siltitos e argilitos vermelhos, contendo, localmente, intercalações de arenitos vermelhos. No topo, ocorrem argilitos e folhelhos vermelhos ou marrons escuros estratificados e esporádicos leitos de folhelhos verdes.

c) Formação Missão Velha

Compõe-se de arenitos grosseiros,



2-BASE FÍSICA

mal selecionados, de coloração esbranquiçada ou amarelada, mostrando estratificação cruzada e leitos conglomeráticos.

d) Formação Abaiara

É composta por alternâncias bem estratificadas de arenitos micáceos cinza, amarelos ou avermelhados, predominantemente finos, argilosos e semifriáveis, com siltitos, argilitos e folhelhos de cores variegadas.

e) Formação Rio da Batateira

A seqüência inicia-se por bancos de arenitos fluviais médios a grosseiros, gradando ascendentemente para arenitos médios a finos, siltitos argilosos bem estratificados e encerra-se com uma seção de folhelhos negros, orgânicos, fossilíferos.

f) Formação Santana

O Membro Crato, na seção inferior da seqüência compreende (da base para

o topo) folhelhos cinza, castanhos, calcíferos, laminados e calcários micríticos cinza-claro a creme, argilosos e finamente laminados; o Membro Ipubi repousa sobre a unidade anterior em contato normal e gradacional; é constituído predominantemente por bancos estratiformes de gipsita, e contém, de forma subordinada, intercalações de folhelhos cinza e verdes; na parte superior vem o Membro Romualdo, constituído por folhelhos e margas fossilíferas cinza - esverdeado, com intercalações de calcários e lentes de arenitos friáveis.

g) Formação Arajara

Composta por siltitos, argilitos, arenitos finos argilosos e/ou caulínicos, bem estratificados e de coloração variegada.

h) Formação Exu

É constituída por uma seqüência monotona de arenitos vermelhos friáveis, argi-

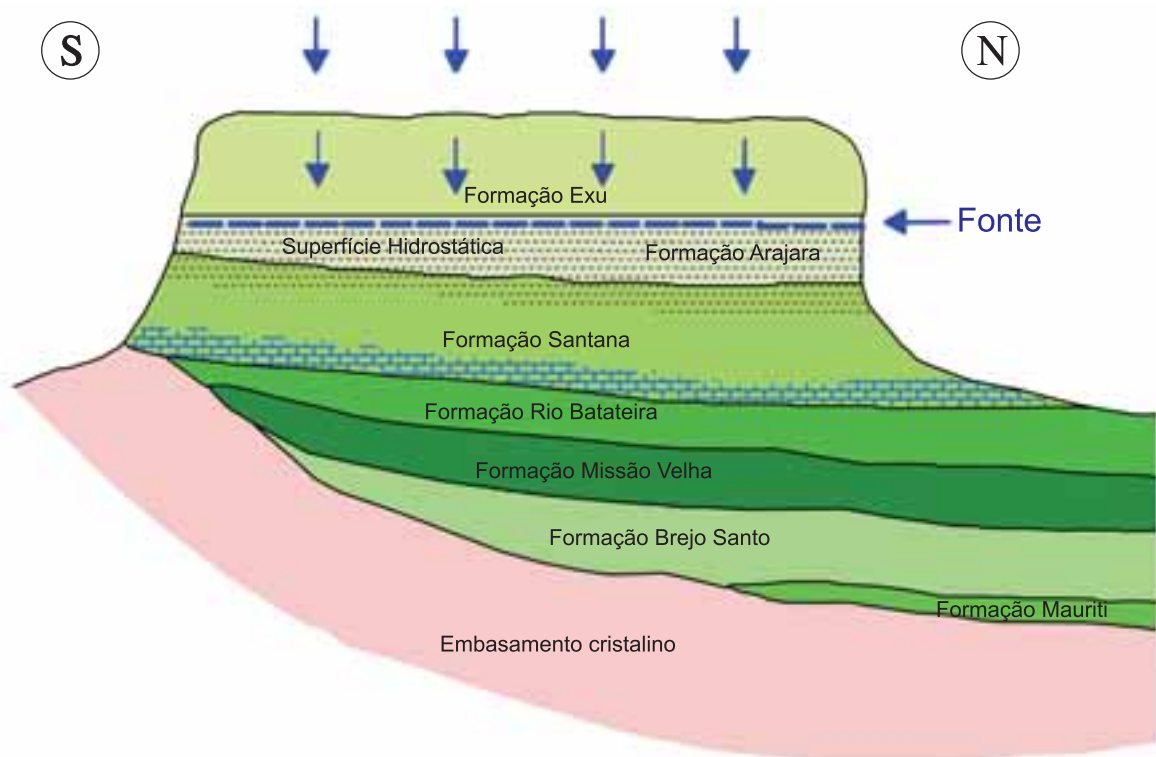


FIGURA 2.18 - Desenho esquemático da infiltração da água precipitada na Chapada do Araripe (esquema sem escala).

FONTE: DNPM, Waldir Duarte Costa (1996);

losos, em geral caulínicos, de granulometria variável, contendo, o mais das vezes, leitos intercalados de arenitos grosseiros a conglomeráticos.

Bacia Sedimentar Potiguar

A leste, nos limites com o Rio Grande do Norte, o Grupo Apodi engloba, com destaque, as formações Jandaíra e Açú.

Segundo os geólogos do 10º Distrito do DNPM, esta bacia sedimentar está assim empilhada:

a) Formação Açú

A Formação Açú, basal, é constituída por arenitos intercalados com folhelhos e siltitos, representando uma sedimentação, principalmente continental (fluvial), tornando-se transicional no topo, o que registra o afogamento da bacia, com sedimentação numa extensa planície costeira de baixa energia.

b) Formação Jandaíra

A Formação Jandaíra ocorre sobreposta à anterior. É composta por calcários cársticos, calcilutitos bioclásticos, calcarenitos e calcilutitos com bird eyes, apresentando cores creme e cinza, com intercalações de argilitos, gipsita e bandas ricamente fossilíferas (moluscos, algas verdes, briozoários e equinóides). Trata-se de sedimentação de planície de maré e marinha rasa. Os diques básicos terciários são representados por diabásios e microsienogabros.

c) Formação Barreiras

A Formação Barreiras, de idade terciária, recobre em discordância tanto o embasamento cristalino quanto as litologias do Grupo Apodi. É formada por depósitos clásticos, pouco consolidados, constituídos por argilitos variegados e are-

nitos avermelhados, com níveis caulínicos e conglomeráticos. Via de regra, apresenta aspecto maciço, podendo, entretanto, apresentar discreta estratificação. Esta formação está relacionada a sistemas de leque aluvial e fluvial.

As coberturas terció-quadernárias, denominadas por Braga et al. (1977) da Formação Faceira, são formadas por depósitos detríticos semi a inconsolidados, com níveis conglomeráticos basais, avermelhados, contendo seixos bem arredondados de quartzo (dominante) e rochas cristalinas e siltitos, argilitos e arenitos associados. No contato entre o conglomerado e o cristalino ocorre um horizonte laterítico. No topo da seqüência observa-se um horizonte predominantemente arenoso, inconsolidado, de granulação fina a média, cor avermelhada e composição areno-siltosa.

Os depósitos quadernários estão representados pelas paleodunas, dunas recentes ou móveis e depósitos aluviais.

Bacia Sedimentar Parnaíba (Ibiapaba)

Nos quadrantes NW-SW dominam os sedimentos da Chapada da Ibiapaba ou Grupo Serra Grande, de idade siluro-devoniana, composto por arenitos grosseiros e conglomeráticos, e conglomerados na base com dominância de arenitos finos no topo, exibindo estratificação cruzada e irregular, com forte vocação para armazenamento de água subterrânea.

A faixa de ocorrência dessa bacia sedimentar no Estado do Ceará estende-se por cerca de 350 km na direção norte-sul, na zona fronteira com o Estado do Piauí. A metade setentrional apresenta-se, no Ceará, com 40 km de largura, apro-



2-BASE FÍSICA

ximadamente, na direção este-oeste, e a metade meridional que ocorre também no Estado do Ceará situa-se com pequenas larguras, por volta de 8 km.

Entre as cidades de Ararendá e Novo Oriente são observadas coberturas sedimentares argilo-arenosas, de cotas bem inferiores às do topo da Serra da Ibiapaba. Por serem planas, são bastante exploradas em atividades agrícolas mecanizadas.

Nos perfis litológicos dos poços tubulares construídos nesse pacote sedimentar observam-se níveis argilosos. Nas camadas desse arenito são encontradas fraturas e, menos freqüentemente, pequenas cavernas com boa produção de água.

No trecho mais ao sul desse pacote sedimentar foram encontrados níveis de basalto que não devem ser confundidos com as rochas do embasamento. Abaixo dessas rochas vulcânicas básicas pode-se repetir a presença dos arenitos do Grupo Serra Grande.

Bacia Sedimentar do Iguatu

A geologia do Estado do Ceará apresenta, na região de Iguatu, várias manchas de sedimentos, reconhecidas como pequenas bacias interiores.

As rochas sedimentares que compõem essas bacias estão assentadas sobre o cambriano e constituem depósitos de água subterrânea de boa qualidade. Ainda não foram realizados, porém, estudos hidrogeológicos sobre elas.

Os geólogos do 10º Distrito do DNPM apresentaram, no ano 2000, no documento Distritos Mineiros do Estado do Ceará, bem ordenada síntese da geologia, da qual foram compiladas as informações geológicas sobre os sedimentos cretáceos

e os que sobre eles se depositaram nessa pequena bacia interior.

O cretáceo é representado pelo Grupo do Peixe que aflora na bacia do Iguatu, a NE de Quixelô e a W de Lima Campos, composto pelas seguintes:

a) Formação Antenor Navarro

A Formação Antenor Navarro: é composta de arenitos finos a grosseiros e conglomeráticos com estratificação cruzada, conglomerados e brechas, intercalações de siltitos, folhelhos e margas subordinadas, às vezes fossilíferos, com ocasionais lentes milimétricas de aragonita.

b) Formação Souza

A Formação Souza aflora na maior parte da bacia do Iguatu. É constituída por siltitos argilosos, ou não, de cor roxo, vermelho-escuro, marrom-escuro e esverdeado, com cimento calcífero, folhelhos, arenitos finos a muito finos, calcários e margas.

c) Formação Piranhas

A Formação Piranhas ocorre a NE de Quixelô a W de Lima Campos. É composta de arenitos finos (na base) a grosseiros e conglomeráticos (no topo); arenitos líticos e quartzosos, arcóseos, subarcóseos e grauvacas, leitos delgados de siltitos roxos, calcíferos e micáceos e de folhelhos.

d) Formação Souza

A Formação Moura, do Tércio-Quaternário, ocorre na bacia do Iguatu. É composta de conglomerado polimítico (na base) de matriz arenosa, granulação grossa, fracamente diagenizada, mal selecionada e pobremente cimentada por material síltico-arenoso de coloração que varia de vermelho a creme; areias de granulação



variável de cores avermelhadas e amareladas e siltitos vermelhos.

O Quaternário é representado pelos sedimentos aluviais que ocorrem ao longo dos rios Jaguaribe, Salgado, dos Bastiões e dos seus tributários. Esses aluviões são importantes, dada sua ampla distribuição e franca capacidade de acumulação de água, e por possibilitar atividade de extração de areia.

Bacias Sedimentares Costeiras

A visualização da geomorfologia possibilita a concepção das primeiras feições geológicas de uma área. Assim, são indicados os compartimentos de relevo que ocorrem nas regiões das faixas costeiras do Ceará.

a) Planície Litorânea

Abrange as praias, dunas e mangues. Corresponde a terrenos do holoceno, com relevo predominantemente plano e suave. Pequenas dunas móveis ocorrem e muitas dunas fixas estão presentes, graças à proteção da cobertura vegetal nativa.

b) Planície Fluvial

Compreende as várzeas das deposições fluviais ao longo do rio Acaraú e pequena parcela em trechos do rio Aracati-Mirim.

c) Tabuleiros Pré-litorâneos

Posicionam-se próximos ao litoral, com relevo de topografia plana, constituídos por sedimentos da Formação Barreiras.

Uma superfície de aplainamento foi formada por processos de pediplanação sob condições de clima semi-árido. Aqui predominam solos litológicos e planosol de relevo plano. Todas essas feições apresentam valiosa capacidade de acumulação de água de chuvas, cuja precipitação

média anual varia de 900 a 1.200 mm.

Na faixa norte das bacias costeiras, estão presentes rochas mais antigas que possibilitam outras informações sobre a geologia da área.

As diversas unidades litológicas que constituem o Grupo Jaibaras, de idade Eo-cambriano, exibem um condicionamento geotectônico único e bem definido, sempre associado a estruturas de afundamento. A área de ocorrência mais importante corresponde ao denominado graben Jaibaras, ampla fossa tectônica que se estende desde a escarpa da Ibiapaba, ao longo do lineamento Sobral-Pedro II, até próximo à cidade de Morrinhos (Costa op. cit., 1973).

As ocorrências litológicas desse grupo são bastante restritas geograficamente. Estratigraficamente fazem-se presentes apenas através das formações Massapê e Pacujá. A Formação Massapê é constituída de conglomerados brechóides polimíticos. A Formação Pacujá acha-se representada por arenito arcossiano, mecáceo.

Acima desse grupo encontra-se o Serra Grande. A área de ocorrência da Formação Ipu está no graben que ocupa a faixa central ao sul de Itarema. Litologicamente, esta unidade é constituída por arenitos grosseiros, mostrando diaclasmação, estratificação cruzada e grande variação da atitude em locais próximos às zonas de falhas.

Sedimentos Aluviais

O território cearense, em termos de rede de drenagem, pode ser repartido e visualizado em onze regiões hidrográficas.

Nos rios principais encontram-se os aluviões com seus depósitos de águas subterrâneas, os quais foram indutores,

2-BASE FÍSICA

especialmente nos séculos XVIII e XIX, da formação de vilas e cidades, em torno das quais se desenvolviam as atividades pecuárias e agrícolas de subsistência, graças às águas armazenadas nos aluviões, protegidas da elevada evaporação sertaneja, que é da ordem de 2.300 mm/ano.

Embora não se disponha dos parâmetros de extensões e espessuras dos aluviões, responsáveis pela acumulação de água, a vasta rede de drenagem do território do Estado, ao longo da qual localizam-se estes solos, é desejável que se caracterize adequadamente sua capacidade de exploração.

É conservadora a estimativa de que 2.000 km² seja a superfície total dos aluviões na região do embasamento cristalino no Ceará.

O assoreamento milenar promoveu a formação desses depósitos sedimentares aplainando os baixios, pelo transporte de argilas, silte, areia e cascalho grosseiro, este, quando o fluxo d'água ocorria com elevada energia.

Esses pacotes sedimentares apresentam dimensões variadas e os níveis de areia e cascalho não se distribuem por igual, observando-os transversal ou longitudinalmente em relação à direção do talvegue.

Conhecidos também como terrenos de croa, já foram encontrados aluviões com espessura de até 28 metros.

2.4.2.2 - Embasamento Cristalino

Em termos regionais, o embasamento do Ceará deve ser enquadrado nas denominadas Regiões de Dobramentos Brasileiros, conforme Ferreira (1972), compreendendo áreas cratônicas antigas rejuvenescidas, ao lado de áreas dobra-

das neste ciclo, estruturadas em blocos limitados por falhas transcorrentes.

A litologia é representada por uma seqüência gnáissico-migmatítica e por rochas milonitizadas e ultra-milonitizadas. As rochas do pré-cambriano apresentam foliação com direção preferencial NE-SW, e mergulhos que variam de 40° a 60° SE, tendendo a subvertical quando próximas às falhas transcorrentes. Em termos litológicos, as rochas do pré-cambriano, sem considerações cronológicas, podem ser representadas por uma seqüência gnáissico-migmatítica e por rochas milonitizadas em graus diferenciados.

Estudos petrográfico-mineralógicos permitem indicar que os processos tectônicos afetaram bastante as rochas originais. Os gnaisses e migmatíticos, de coloração cinza-claro a escuro, revelam contatos de natureza falhada com as rochas milonitizadas.

Quanto ao condicionamento estrutural, o geólogo J.R. Lima Verde Leal enfoca os aspectos estruturais e tectônicos e o armazenamento da água subterrânea no embasamento cristalino, isto é, em aquífero fissural.

“No Estado do Ceará, onde as rochas cristalinas recobrem 75% do território, as estruturas geológicas são de capital importância no condicionamento da água subterrânea.

Por serem as rochas cristalinas impermeáveis, as águas subterrâneas percolam e se concentram apenas ao longo das fraturas desenvolvidas nestas rochas.

Como esse condicionamento é relativamente restrito, no caso da água subterrânea, ele deve ser estudado com detalhes, em cada área específica.



Os grandes condicionantes estruturais da água subterrânea e, de minérios em geral, são, a princípio, as fraturas de tensão e alívio de tensão. Durante a compressão há tendência à criação de espaços em planos paralelos a esta compressão. É como se comprimisse um livro pelas laterais. Espaços abertos logo apareceriam entre as folhas.

No caso do alívio de tensão, todas as vezes que um corpo plástico tem uma tensão sobre ele aliviada, este tende a se distender para adquirir a forma original antes da compressão. Esse alívio de tensão vai gerar espaços abertos, pois uma parte deste corpo foi definitivamente achatada e não voltaria ao normal (resiliência).

Quando as falhas transcorrentes têm superfícies irregulares, no deslocamento de uma parte com relação à outra, podem ser gerados espaços vazios.

Durante as tectônicas de distensão, o diaclasamento e basculamento podem formar espaços entre as rochas, mesmo cristalinas, os quais podem armazenar água no seu interior.

Em resumo, a prospecção de água subterrânea em terrenos cristalinos, como é o caso da maior parte do território cearense, deve levar em conta as peculiaridades estruturais do local pesquisado. Em princípio, nenhum local específico pode ser descartado sem um estudo preliminar. São necessários, então, mapas geológicos, fotografias aéreas e análise estrutural de campo para se proceder a uma interpretação que possa levar à descoberta dos condicionantes estruturais para armazenamento da água subterrânea".

A existência, nas proximidades da área de pesquisa de água, de camadas espessas de solo com elevada pluviometria (Serra de Baturité), de aluviões espessos saturados, de canais e de açudes deve sinalizar ao pesquisador que essas formas de concentração de água favorecerão a recarga das fissuras de qualquer rocha dura.

2.4.3 -Terminologias e Conceitos

Considerando-se que no trato da hidrogeologia necessita-se de linguagem adequada, padronizada e, se possível, consensual, achou-se por bem adotar conceitos terminológicos essenciais de modo que o processo de comunicação possa ser feito com razoável eficiência. Os conceitos a seguir apresentados vêm sendo citados pelo geólogo Waldir Duarte Costa, desde a publicação do Projeto ÁRIDAS (1995), e são adotados neste trabalho.

- **Aqüíferos:** São volumes de água que se acumularam nos interstícios, nas cavernas e fissuras das estruturas geológicas.
- **Reservas:**
 - **Reservas Permanentes (Rp):** Volume hídrico acumulado no meio aquífero, em função da porosidade efetiva e do coeficiente de armazenamento, não variável com a flutuação sazonal da superfície potenciométrica;
 - **Reservas Reguladoras ou Renováveis (Rn):** Volume hídrico acumulado no meio aquífero, em função da porosidade efetiva ou do coeficiente de armazenamento e variável anualmente em decorrência dos aportes sazonais de água superficial, do escoamento subterrâneo e dos

2-BASE FÍSICA

exutórios naturais ou artificiais;

- **Reserva Explorável (Re):** Volume anual que poderá ser explorado do aquífero sem que haja comprometimento irreversível das reservas permanentes, e que atenda às condições de qualidade da água e de condicionamento técnicos e econômicos para a construção de poços.
- **Potencialidade:** Volume hídrico que pode ser utilizado anualmente, incluindo, eventualmente, uma parcela das reservas permanentes, passíveis de serem exploradas, com descarga constante, durante determinado período de tempo.

- Disponibilidade:

- **Disponibilidade Virtual:** Parcela máxima, possível de ser aproveitada anualmente da potencialidade, correspondendo à vazão anual que pode ser extraída do aquífero ou do sistema aquífero, sem que se produza um efeito indesejável de qualquer ordem;
- **Disponibilidade Instalada:** Volume anual passível de exploração através das obras de captação existentes, baseado na vazão máxima de exploração ou vazão ótima, com regime de bombeamento de 24 horas diárias, durante todos os dias do ano;
- **Disponibilidade Efetiva:** Volume anual atualmente explorado nas obras existentes.

2.4.4 - Aquíferos do Ceará

2.4.4.1 - Tipos de Aquíferos

Os aquíferos que ocorrem no Esta-

do do Ceará podem ser enquadrados nos tipos:

- intersticiais;
- cárstico-fissurais;
- fissurais

Dentre os intersticiais, ou porosos, destacam-se os existentes em bacias sedimentares e os relacionados aos depósitos recentes, de reduzidas espessuras e potencialidades. Neste grupo podem ser enquadrados os aluviões e as coberturas sedimentares costeiras, as quais ocorrem de maneira contínua em toda a costa nordestina.

Aquíferos de bacias sedimentares são encontrados na região sul do Estado e nas zonas fronteiriças, a leste e a oeste. Bacias sedimentares interiores ocorrem em extensões menores e, de forma descontínua, na região centro-sul do Estado, no entorno do açude Orós.

Os aquíferos intersticiais rasos estão presentes de maneira descontínua em manchas isoladas de reduzida espessura, capeando indistintamente as bacias sedimentares ou o embasamento cristalino.

Depósitos intersticiais em grandes profundidades já foram medianamente caracterizados nas bacias sedimentares do Apodi e do Araripe, mas, muitos, ainda permanecem sem estudos hidrológicos, como nos sedimentos cretáceos da região do Iguatu.

Os aquíferos cárstico-fissurais são encontrados na bacia Potiguar e, com menor frequência, na Serra Grande e em zonas com rochas carbonáticas.

Os aquíferos fissurais, representados por rochas cristalinas ou calcárias fraturadas, são os que abrangem a maior área



de ocorrência, cobrindo cerca de 75% do território cearense, apresentando-se com baixa potencialidade e com águas salinizadas em cerca de 70% dos poços tubulares construídos.

É fundamental explicitar que o nível de conhecimento hidrogeológico do Estado do Ceará é muito reduzido.

A Bacia Sedimentar do Araripe, entretanto, é uma importante exceção, graças à decisão e aos investimentos aplicados pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) durante um período de três anos. Em 1996, foi publicado o relatório final do Projeto de Avaliação Hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Araripe.

O Governo do Estado do Ceará, através do NUTEC, realizou na faixa costeira, também como exceção, pesquisa hidrogeológica cujo relatório foi publicado em 1984.

A Região Metropolitana de Fortaleza recebeu investimentos que possibilitaram a elaboração de consistente relatório de pesquisa hidrogeológica.

Contemplando as áreas de embasamento cristalino, a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) concluiu o mapeamento hidrogeológico das folhas de Novo Oriente e de Irauçuba, na escala 1:100.000. Deve-se lembrar que o território cearense abrange 66 folhas nessa escala.

Segundo o nível de conhecimento atual, as regiões podem ser apresentadas em ordem decrescente: Região do Araripe, Região do Apodi, Região Costeira, Região Central de Embasamento Cristalino, Região da Ibiapaba e Região de Sedimentos em Iguatu.

2.4.4.2- Aquíferos Intersticiais

A) Aquíferos da Bacia Sedimentar do Araripe

Segundo Waldir Duarte Costa, considerando a similitude de características hidrogeológicas, a imprecisão na descrição de grande parte dos perfis geológicos dos poços perfurados e a pouca profundidade alcançada pelos poços produtores - máxima de 250 m, com média de 78 m - pode-se apresentar a seguinte divisão hidrogeológica na bacia do Araripe:

- Sistema Aquífero Superior (formações Exu e Arajara): 320 m de espessura.
- Aquíclode Santana: 180 m de espessura.
- Sistema Aquífero Médio (formações rio da Batateira, Abaiara e Missão Velha): 500 m de espessura.
- Aquíclode Brejo Santo: 400m de espessura.
- Sistema Aquífero Inferior (formação Mauriti e parte basal da formação Brejo Santo): com 60 a 100 m de espessura.

O Sistema Aquífero Superior, apesar de possuir, em toda a área da Chapada do Araripe (cerca de 7.500 km²), volume de sedimentos da ordem de 1,8 trilhão de metros cúbicos, atua como reservatório com apenas 15% desse volume.

Sabe-se que as fontes, ou exutórios naturais, ocorrem na cota 700 m e suas vazões totalizam um volume anual de 41,2 milhões de metros cúbicos ao ano (IPEA, 1995).

As reservas permanentes do Sistema Aquífero Superior foram calculadas em 10,2 bilhões de metros cúbicos, enquanto as reservas reguladoras ou disponibilidades potenciais foram estimadas em

2-BASE FÍSICA

100 milhões de metros cúbicos ao ano. Quanto às disponibilidades virtuais, estas são estimadas em 55,5 milhões de m³/ano. Não se conhecem as disponibilidades instaladas e efetivas por não existirem praticamente poços nesse aquífero, em virtude da elevada profundidade dos níveis da água, em geral superiores a 150 m.

O Sistema Aquífero Médio possui, na sub-bacia de Feira Nova, volume total de sedimentos da ordem de 400 bilhões de metros cúbicos, com espessura média de 210 m, enquanto na sub-bacia do Cariri esse volume ultrapassa a 835 bilhões de metros cúbicos, com espessura média da ordem de 295 m. Nessa, existem quatro grabens e três horsts, numa área total de 2.830 km², proporcionando, em cada estrutura elevada ou deprimida, diferenciados volumes de sedimentos, desde 72 bilhões de metros cúbicos no horst de Barbalha, até 376 bilhões de metros cúbicos no graben de Jenipapeiro.

Os principais parâmetros hidráulicos calculados para esse sistema apresentaram os seguintes valores:

- vazão de escoamento natural (VEN): 109,7x10⁶ m³/ano;
- taxa de infiltração média: 5,3% da precipitação;
- coeficiente de transmissividade: de 3,0x10⁻⁴ a 8,0x10⁻³ m²/s (valor mais representativo, 5,0x10⁻³ m²/s);
- coeficiente de permeabilidade: 5,0x10⁻⁵ m/s (valor mais representativo);
- coeficiente de armazenamento (S): 2,0x10⁻⁴;
- gradientes hidráulicos: desde

6,25% (região de Crato) até 0,36% (na região de Milagres-Mauriti);

- reservas permanentes: 83,7x10⁹ m³;
- reservas reguladoras (disponibilidade potencial): 112,0x10⁶ m³/ano;
- disponibilidade virtual: 72,0x10⁶ m³/ano;
- disponibilidade instalada: 100,0x10⁶ m³/ano;
- disponibilidade efetiva: 43,0x10⁶ m³/ano (59,7% da disponibilidade virtual).

A qualidade das águas desse sistema aquífero é muito boa, apresentando média de resíduo seco (rs) de 232,5 mg/l, classificando-se como bicarbonatadas sódicas, com CO₃ > SO₄ > Cl e Na > Ca > Mg > K. Quanto à classificação de uso para irrigação, apresentam 57,1% na classe Cl - SI, 38,1% na classe C2 - SI e apenas 4,8% na classe C3 - SI; por região. O município de Crato possui as melhores águas, com média de resíduos secos de 166,0 mg/l. Em Abaiara, os resultados são mais elevados em resíduos secos com média de 401,0 mg/l.

O Sistema Aquífero Inferior possui, na zona de confinamento, uma área de 2.830 km², ocupando volume de 186 bilhões de metros cúbicos, com uma espessura média da ordem de 66 m. Na área de recarga, em que o sistema ocorre de forma livre, a superfície é de 600 km², com espessura média de 100 m e volume de sedimentos de 60 bilhões de metros cúbicos. Assim, o volume total de sedimentos do sistema aquífero inferior é da ordem de 246 bilhões de metros cúbicos.

Os principais parâmetros hidráulicos calculados para esse sistema apresentam os seguintes valores:





- vazão de escoamento natural (VEN): $14,5 \times 10^6$ m³/ano
- taxa de infiltração média: 1,9% da precipitação
- coeficiente de transmissividade: $3,0 \times 10^{-4}$ m²/s (valor mais representativo)
- coeficiente de permeabilidade: $4,0 \times 10^{-6}$ m/s (valor mais representativo)
- coeficiente de armazenamento (S): $1,0 \times 10^{-5}$
- porosidade efetiva: 0,02
- gradientes hidráulicos: desde 3,3% (Juazeiro do Norte-Missão Velha) até 0,43% (Milagres-Mauriti)
- reservas permanentes: $4,9 \times 10^9$ m³/ano
- reservas reguladoras (disponibilidade potencial): $17,5 \times 10^6$ m³/ano
- disponibilidade virtual: $7,5 \times 10^6$ m³/ano
- disponibilidade instalada: $20,0 \times 10^6$ m³/ano
- disponibilidade efetiva: $3,7 \times 10^6$ m³/ano (48,6% da disponibilidade virtual).

As águas do Sistema Aquífero Inferior são tão boas quanto as do Sistema Aquífero Médio, com resíduo seco médio de 201,12 mg/l, sendo máximo na região de Mauriti, com média de 208,43 mg/l, e mínimo na região de Barro, com resíduo seco médio de 162,50 mg/l; são também do tipo bicarbonatada sódica, apresentando as seguintes relações: $\text{CO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl} & \text{Na} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{K}$. Quanto à classificação para irrigação, apresentam 63,1% na classe C1-S1 e 36,9% na classe C2 - S1.

Segundo o geólogo Waldir Duarte Costa a disponibilidade virtual (quanto se dispõe realmente para ser explorado) dos diversos aquíferos da Bacia Sedimentar do Araripe é de 409 milhões de m³/ano.

A SRH despendeu grande esforço a fim de aprimorar os procedimentos metodológicos para os projetos de pesquisa hidrogeológica de monitoramento e de gestão dos recursos hídricos subterrâneos.

Com o incremento de suas atividades no setor de águas subterrâneas, nos sedimentos da Região do Cariri, a SOHIDRA construiu desessete poços nos municípios de Brejo Santo e Mauriti, com diâmetro de revestimento de oito polegadas. As principais características desses poços são:

- Profundidade média 136m
- Vazão média 60 m³/h
- Nível dinâmico 52m

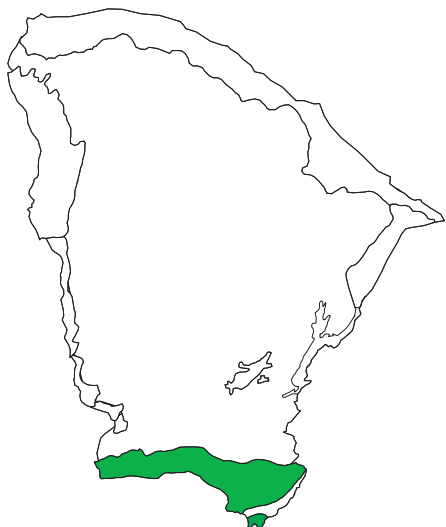
As águas deste conjunto de poços foram analisadas e os sólidos totais foram medidos. Apresentaram valores entre 66 ppm a 324 ppm, o que revela águas de excelente qualidade.

Os três poços pioneiros, construídos sobre a Chapada do Araripe, nos municípios de Santana do Cariri e do Araripe, apresentaram no conjunto a vazão de 470 m³/h. Adicionando-se a vazão do poço construído na baixada, ao sul de Santana do Cariri, este valor se eleva para 620 m³/h.

A Figura 2.19 apresenta algumas informações relevantes sobre este aquífero, extraídas do Atlas dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Ceará (CPRM, 1999), e cedidas pela CPRM à SRH (Oficina de Trabalho, 2001).

2-BASE FÍSICA

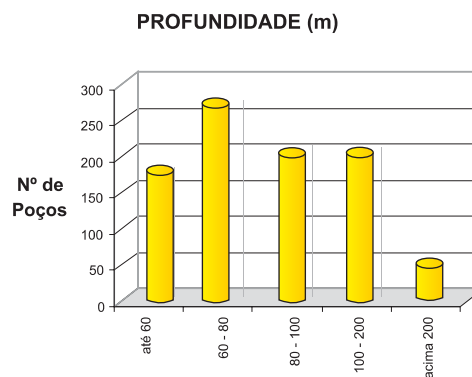
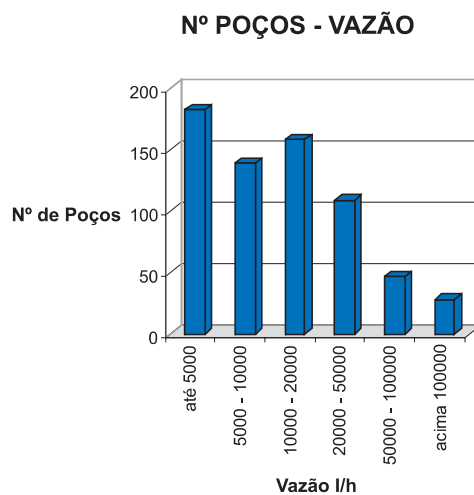
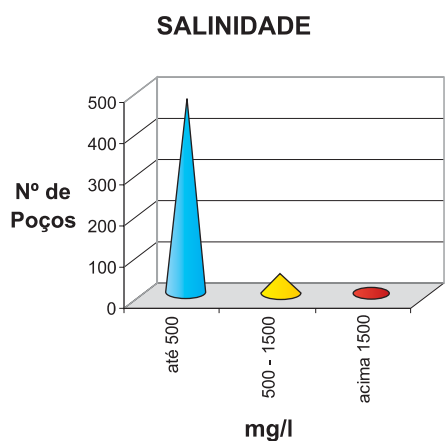
Figura 2.19 - Chapada do Araripe



Vazão média (664 poços) = 6.100 l/h

Profundidade média (890 poços) = 91 m

Salinidade (545 poços) = 88% doce
10% salobra
2% salgada



Fonte: CENSO CPRM (1998)



B) Aquíferos da Bacia Sedimentar do Apodi

Esta bacia sedimentar, formadora da Chapada do Apodi, possui, no Estado do Ceará, superfície da ordem de 3.000 km². Neste contexto geológico estão compartimentados os aquíferos relativos à formação Barreiras, que ocorre na zona norte, fazendo a transição da Chapada com os sedimentos costeiros e as formações Jandaíra e Açú.

As características hidrogeológicas gerais dos sistemas aquíferos, segundo José Pompeu dos Santos (2000), são descritas a seguir:

B.1) Aquífero Jandaíra

É formado tipicamente por depósitos cársticos. Aflora na maior parte da bacia sedimentar apresentando as seguintes características:

- Espessura: 1 a 200 m
- Transmissividade: 1,0 a 45,0 m²/h
- Coeficiente de armazenamento (S): 1,0x10⁻² a 15,0x10⁻²
- Profundidade dos poços: 60 a 150 m
- Vazão esperada dos poços nas zonas cársticas: 10 a 200 m³/h.
- Salinidade da água: 1800 ± 120 mg/l.

As águas subterrâneas do aquífero Jandaíra são, em geral, do tipo bicarbo-

natadas cálcicas, não apresentando, a grosso modo, perigo de sódio. Os estudos do IPT/SP mostraram que 75% das águas do Jandaíra se enquadram nas classes C3 S1 e C4 S2. No tocante à utilização das águas do Jandaíra para irrigação, dois problemas requerem atenção:

a) deposição de carbonato de cálcio nas tubulações e nos bicos dos aspersores, diminuindo a eficiência do sistema de irrigação;

B) o uso prolongado da água bicarbonatada em solos derivados de calcário pode provocar a precipitação do CaCO₃ no solo, alterando suas características físicas.

B.2) Aquífero Açú

Sotoposto ao calcário Jandaíra, o arenito Açú ocorre também aflorando nas bordas sul e leste da bacia Potiguar.

- Espessura: 10 a 200 m
- Transmissividade (T): 1,0 a 15,0 m²/h
- Coeficiente de armazenamento (S): 2,0x10⁻⁴
- Profundidade dos poços: 250 a 800 na área da chapada; na área de afloramento no Vale do Jaguaribe a espessura máxima esperada é da ordem de 100 a 150 m

Tabela 2.2 - Sistemas Aquíferos da Bacia Sedimentar do Araripe

PARÂMETROS QUANTITATIVOS	SISTEMAS AQUÍFEROS			
	SUPERIOR	MÉDIO	INFERIOR	TOTAL
Reserva permanente (m ³)	10,2x10 ⁹	83,7x10 ⁹	4,9x10 ⁹	98,8x10 ⁹
Reserva reguladora (m ³ /ano)	100,0x10 ⁶	112,0 x10 ⁶	17,5 x10 ⁶	229,5 x10 ⁶
Disponibilidade virtual (m ³ /ano)	55,5 x10 ⁶	333,9 x10 ⁶	19,6 x10 ⁶	409,0 x10 ⁶
Disponibilidade efetiva (m ³ /ano)	43,0 x10 ⁶ (1)	40,0 x10 ⁶	3,7 x10 ⁶	86,7 x10 ⁶

FONTE: Francisco Paula Pessoa de Andrade (SRH, 2002) Nota: (1) Foram considerados os volumes que jorram de todas as fontes

2-BASE FÍSICA

- Produção máxima esperada dos poços: 100 m³/h
- Salinidade da água: 840 ± 105 mg/l.
- Adequabilidade da água para irrigação: 65% das águas do arenito Açú enquadram-se nas classes C2 S1 e C3 S1.

Desde 1967, a água subterrânea da bacia Potiguar já vem sendo explorada, especialmente a do arenito Açú.

Vale destacar o aproveitamento dos depósitos cársticos da Formação Jandaíra, muito intensificado nos últimos três anos. Infelizmente, a captação da água destes depósitos vem sendo efetuada sem autorização do Estado e sem monitoramento.

A exploração de petróleo e de calcário são atividades extrativas minerais praticadas nesta bacia sedimentar, sendo que as lavras de petróleo e da água podem requerer compatibilizações.

Os volumes disponíveis de água subterrânea podem ser indicados tomando-se por base os valores apresentados pelo Projeto ARIDAS (IPEA, 1995). Considerando que esta bacia sedimentar, no Estado do Ceará, encerra 10% de suas reservas, têm-se 75 milhões de metros cúbicos ao ano de reservas exploráveis, volume que pode ser considerado como Disponibilidade Virtual (Dv).

A Figura 2.20 apresenta algumas informações relevantes sobre este aquífero, cedidas pela CPRM à SRH (Oficina de Trabalho, 2001).

C) Aquíferos das Bacias Sedimentares Costeiras

Para estes aquíferos também é necessária a indicação dos compartimentos geológicos que permitem indicar algumas estimativas. A área de Itarema, estudada pelo NUTEC (1998), possui 1.300 km². Foram medidos níveis piezométricos em

poços existentes, no final da estação chuvosa, com pluviometria média, os quais, com os trabalhos de investigação geofísica, tornaram possível confeccionar mapa de espessuras saturadas. No entanto, como não se dispões de testes de aquíferos, adotou-se um valor estimado para a permeabilidade eficaz.

O volume saturado total calculado foi de 180 bilhões de metros cúbicos. Aplicando-se a porosidade média de 1x10⁻², resulta o volume de 1,8 bilhão de metros cúbicos, o que representa a soma das reservas permanentes e renováveis.

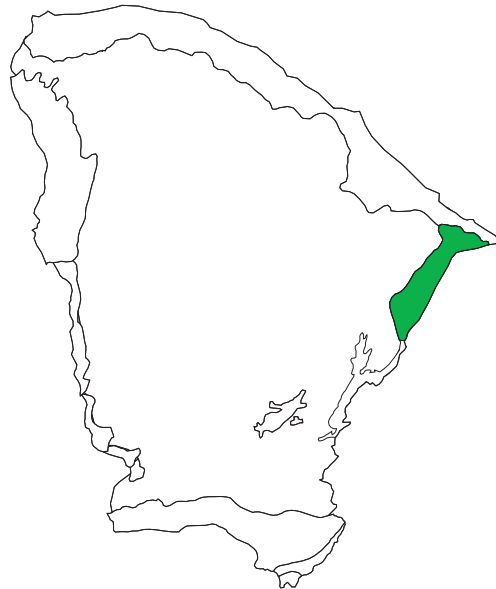
Considerando-se que grandes rebaixamentos irão demandar a construção de poços com câmaras de bombeamento mais profundas, e que, para o recalque em nível muito rebaixado, o dispêndio energético elevará significativamente o custo da água na boca do poço, estima-se como possível de utilização, 4% das reservas totais, ou seja, 72 milhões de m³/ano.

Outro trecho da costa bem estudado corresponde à área situada em torno de Fortaleza.

Bianchi et al. (1984), coordenando o Projeto de Avaliação Hidrogeológica da Região Metropolitana de Fortaleza, patrocinado pelo DNPM, CPRM, e Prefeitura Municipal de Fortaleza, elaboraram consistente relatório indicando reservas de água subterrânea, sentido dos fluxos e qualidade das águas (ver Mapa 2.8 a seguir). Os órgãos governamentais, infelizmente, não compreenderam o diagnóstico nem foram capazes de implementar procedimentos de monitoramento e de uso racional dos aquíferos localizados sob a cidade de Fortaleza.



Figura 2.20 - Chapada do Apodi

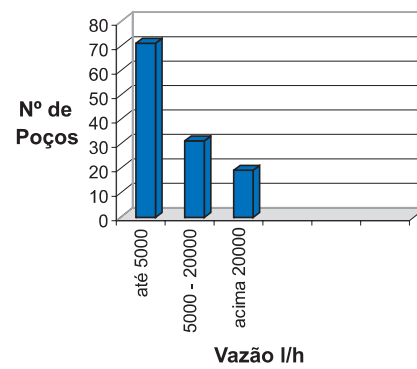


Vazão média (121 poços) = 10.000 l/h

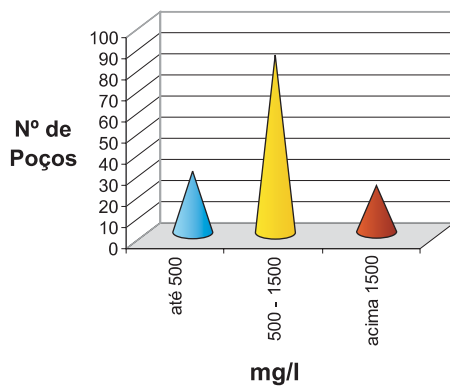
Profundidade média (234 poços) = 68 m

Salinidade (138 poços) = 22% doce
63% salobra
15% salgada

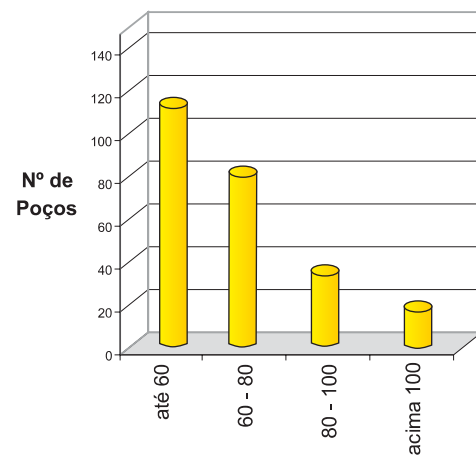
Nº POÇOS - VAZÃO



SALINIDADE



PROFUNDIDADE (m)



Fonte: CENSO CPRM (1998)

2-BASE FÍSICA

É preciso que a abordagem dos aquíferos costeiros considere as possibilidades de salinização dos depósitos pela inserção da cunha salina, freqüentemente provocada pela exploração de volumes maiores, sem nenhum acompanhamento.

Além de eficaz monitoramento, podem ser projetadas, e terem seus custos avaliados para a construção, cortinas de proteção contra a cunha salina, podendo estas serem constituídas por injeção de água servida.

Situada neste contexto está a Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) que, sem dúvida, é a maior interferência antrópica sobre aquíferos no Estado do Ceará. Esta interferência caracteriza-se por:

- Exploração desordenada, muitas vezes superior à recarga. Já foi observada a inserção de cunha salina na Praia do Futuro, próximo ao estuário do rio Cocó;
- Baixo percentual de esgotamento sanitário (35% em 2001) e de caçimbas, poços instantâneos e tubulares próximos a fossas, muitas vezes não-sépticas (rudimentares);
- Poços tubulares sem cimentação e lajes sanitárias;
- A Impermeabilização pela construção de casas, calçadas, piso morto nos terrenos laterais e quintais, e, especialmente, pavimentação das ruas com camada asfáltica até o meio-fio, impedindo dramaticamente a infiltração das águas das chuvas e a conseqüente recarga dos aquíferos da área da cidade de Fortaleza. Estes complementam o abastecimento d'água da população, e somam, segundo a

COGERH (2000), cerca de 7.450 poços tubulares.

Sabe-se que as dunas e páleo-dunas constituem as unidades geológicas de maior potencialidade aquífera da RMF. Estudos hidrogeológicos desenvolvidos por Bianchi et al. (op. cit) estimaram, para os campos de dunas identificados na RMF uma reserva explorável da ordem de 55 milhões de metros cúbicos por ano.

Considerando o acréscimo de áreas impermeáveis, as reservas renováveis devem ter sido reduzidas nas áreas mais urbanizadas. Assim, é razoável a indicação de disponibilidade virtual (Dv) de 40 milhões de metros cúbicos por ano, o que representa 73% da estimativa feita por Bianchi et al. (op. Cit).

Para o restante da faixa costeira não se dispõem de estudos que permitam a apresentação de dados no mesmo nível de consistência que os do NUTEC. Assim, através de inferência, estima-se que podem ser explotadas reservas de 8 milhões de metros cúbicos por ano.

A soma das parcelas de Itarema, Região Metropolitana de Fortaleza e o restante da faixa costeira, totaliza como Disponibilidade Virtual 120 milhões de metros cúbicos por ano.

Os dados apresentados na Figura 2.21 a seguir, cedidos pela CPRM à SRH (Oficina de Trabalho, 2001), revelam alguns aspectos interessantes.

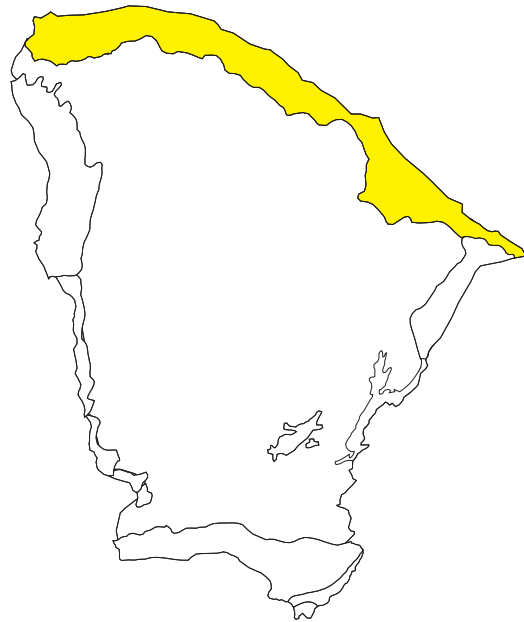
D) Aquífero da Bacia Sedimentar Parnaíba

Compondo uma das camadas sedimentares mais antigas da Bacia Sedimentar do Parnaíba, encontra-se o Grupo Serra Grande, que forma a Serra da Ibiapaba.





Figura 2.21 - Formação Barreiras - Costeira

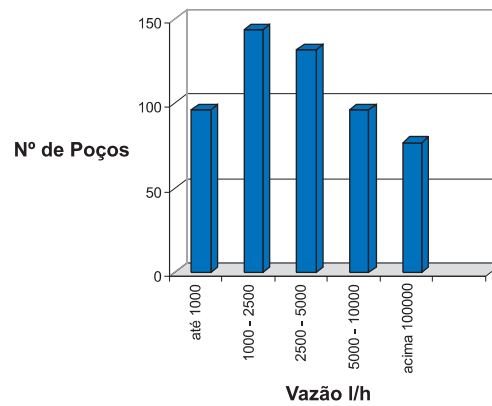


Vazão média (545 poços) = 5.750 l/h

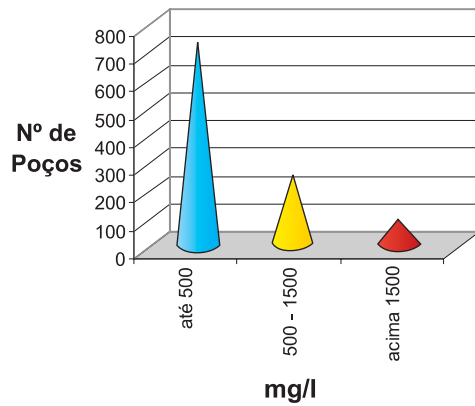
Profundidade média (1.255 poços) = 52 m

Salinidade (1.080 poços) = 68% doce
24% salobra
8% salgada

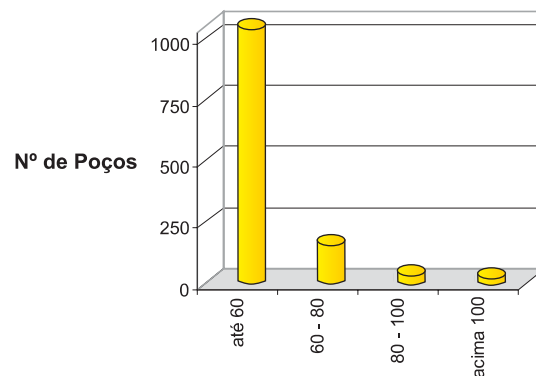
Nº POÇOS - VAZÃO



SALINIDADE



PROFUNDIDADE (m)



Fonte: CENSO CPRM (1998)

2-BASE FÍSICA

Ao longo dessa serra, cuja altitude é de aproximadamente 900 metros, pode ser vista, nas curvas isoietas, uma distribuição de precipitação média anual que varia de 600 mm a 1.400 mm. A camada do arenito Serra Grande mergulha para oeste e pode-se dizer que a Serra Grande é a zona de recarga do aquífero desse arenito.

Este aquífero formado por arenitos, muitas vezes silicificados, deve ser considerado aquífero fissural e intersticial. Este aspecto hidrogeológico vem sinalizar para que na concepção dos projetos seja incluída a colocação de revestimento e de filtros, e que os poços atinjam profundidades superiores a 150 m, em função do contexto geológico de cada local. A gruta de Ubajara, esculpida em níveis carbonatados de arenito, é forte indicação da existência de depósitos cársticos no aquífero Serra Grande. A captação da água subterrânea em muitas áreas é feita por meio de escavação manual de pequenos cacimbões, de 1,30 m de diâmetro, até a profundidade de 18 m.

Esta forma artesanal possibilita a obtenção de água de boa qualidade, porém já provocou centenas de óbitos, por silicose, dos cavadores de poços. Outros tantos contraíram essa doença irreversível e incurável.

O nível estático dos poços profundos tubulares varia muito, de 10 m até 70 m, com a predominância de água de excelente qualidade e com poços de boas vazões.

Não se dispõe de dados para se fazer uma estimativa de reserva permanente e/ou das disponibilidades.

Este valioso aquífero cearense precisa ser quantificado com maior precisão

e os poços construídos deverão atingir maiores profundidades. Poços pioneiros deverão proporcionar informações hidrogeológicas consistentes antes que se possa determinar as características da água subterrânea no contexto sedimentar da região.

A Reserva Permanente (R_p) pode ser calculada através da expressão:

$$R_p = A \times b \times u$$

Onde:

R_p = Reserva permanente em m^3 ;

A = área em m^2 ;

b = espessura saturada do aquífero em m;

u = porosidade efetiva do aquífero.

Fazendo-se a substituição pelos valores abaixo indicados tem-se:

$$A = 9,0 \times 10^9 \text{ m}^2;$$

$$b = 200 \text{ m};$$

$$u = 5,0 \times 10^{-4} \text{ (adimensional);}$$

$$R_p = 9,0 \times 10^9 \times 200 \times 0,0005$$

$$R_p = 900,0 \times 10^6 \text{ m}^3.$$

A Reserva Renovável (R_r) pode ser calculada com auxílio da expressão:

$$R_r = A \times P \times I$$

Onde:

R_r = Reserva renovável em m^3 ;

A = Área em m^2 ;

P = Precipitação média anual em m;

I = Taxa de infiltração média.

Adotando-se os seguintes valores:

$$A = 9,0 \times 10^9 \text{ m}^2;$$

$$P = 0,8 \text{ m};$$

$$I = 3\%.$$

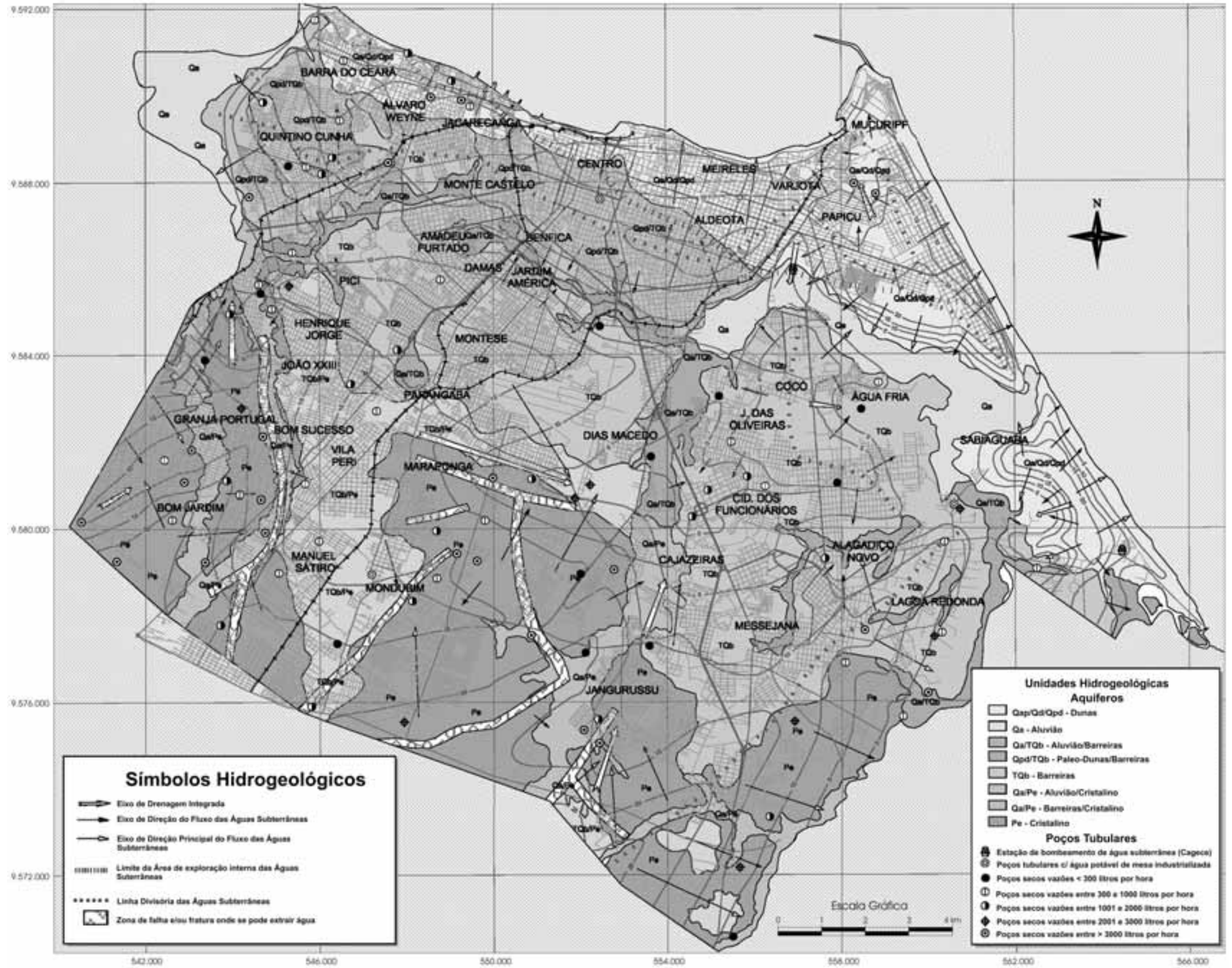
Resulta:

$$R_r = 9,0 \times 10^9 \times 0,8 \times 0,03$$

$$R_r = 216,0 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}.$$



Mapa 2.8 - Hidrogeologia de Fortaleza



Admitindo-se a retirada de 20% da reserva permanente em cinquenta anos, tem-se uma Disponibilidade Virtual (Dv) de:

$$Dv = \{(216,0 \times 10^6) + [(900,0 \times 10^6 \times 0,2)/50]\};$$

$$Dv = 220,0 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}.$$

A Figura 2.22 apresenta algumas informações relevantes sobre este aquífero, extraídas do Atlas dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Ceará (CPRM, 1999), e cedidas pela CPRM à SRH (Oficina de Trabalho, 2001).

E) Aquíferos da Bacia Sedimentar de Iguatu

Estes aquíferos estão distribuídos, segundo o mapeamento geológico da CPRM, na escala 1:500.000, em sete manchas em torno dos açudes Orós, Lima Campos e ao longo do rio dos Bastiões, riacho do Pubo e a leste do rio Salgado, próximo à confluência deste com o rio Jaguaribe. Essas manchas estão condicionadas visivelmente como se observa no mapa geológico, pelas linhas estruturais da Falha de Orós e da Falha de São Vicente.

A soma das áreas cobertas por esses sedimentos é de aproximadamente 1.025 km². A espessura média desses sedimentos, para efeito de cálculos de inferências, foi estimada como sendo de 300 m. A Reserva Permanente (Rp) pode ser calculada através da expressão:

$$Rp = A \times b \times u$$

Onde:

Rp = Reserva permanente em m³;

A = área em m²;

b = espessura saturada do aquífero em m;

u = porosidade efetiva do aquífero.

Fazendo-se a substituição pelos valores abaixo indicados tem-se:

$$A = 1,025 \times 10^9 \text{ m}^2;$$

$$b = 200 \text{ m (estimado);}$$

$$u = 4,0 \times 10^{-4} \text{ (estimado);}$$

$$Rp = 1,025 \times 10^9 \times 200 \times 0,0004$$

$$Rp = 82,0 \times 10^6 \text{ m}^3.$$

A Reserva Renovável (Rr) pode ser calculada com auxílio da expressão:

$$Rr = A \times P \times I$$

Onde:

Rr = Reserva renovável em m³;

A = Área em m²;

P = Precipitação média anual em m;

I = Taxa de infiltração média.

Adotando-se os seguintes valores:

$$A = 1,025 \times 10^9 \text{ m}^2;$$

$$P = 0,8 \text{ m};$$

$$I = 3\%.$$

Resulta:

$$Rr = 1,025 \times 10^9 \times 0,8 \times 0,03$$

$$Rr = 24,6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}.$$

Admitindo-se a retirada de 20% da reserva permanente em cinquenta anos, tem-se uma Disponibilidade Virtual (Dv) de:

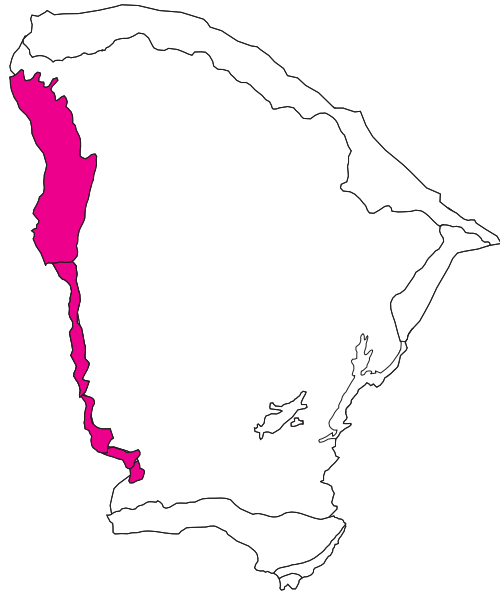
$$Dv = \{(24,6 \times 10^6) + [(82,0 \times 10^6 \times 0,2)/50]\};$$

$$Dv = 24,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}.$$

A Figura 2.23 apresenta algumas informações relevantes sobre este aquífero, cedidas pela CPRM à SRH (Oficina de Trabalho, 2001).

2-BASE FÍSICA

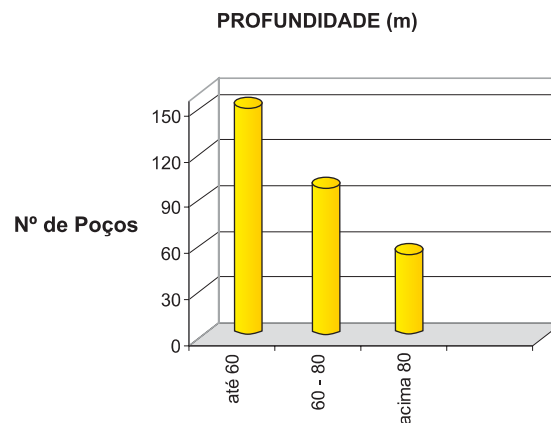
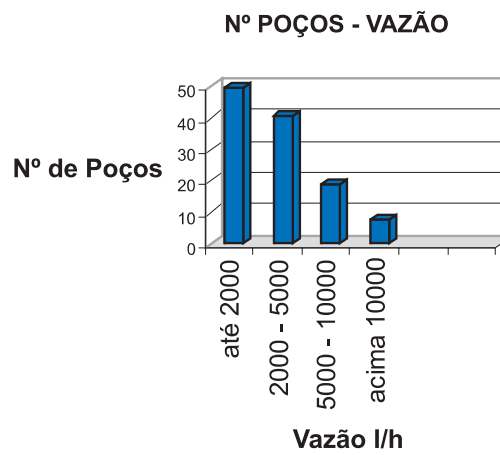
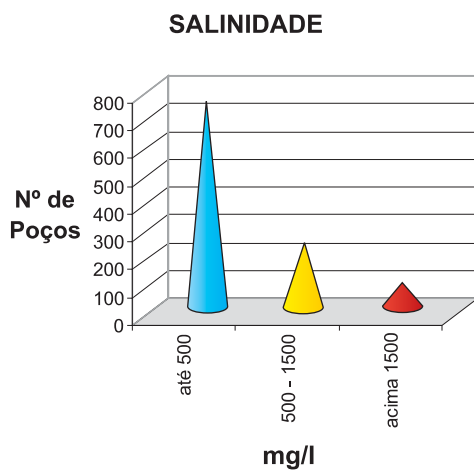
Figura 2.22 - Serra Grande



Vazão média (120 poços) = 4.200 l/h

Profundidade média (300 poços) = 70 m

Salinidade (296 poços) = 85% doce
14% salobra
1% salgada



Fonte: CENSO CPRM (1998)



Figura 2.23 - Bacia Sedimentar de Iguatu

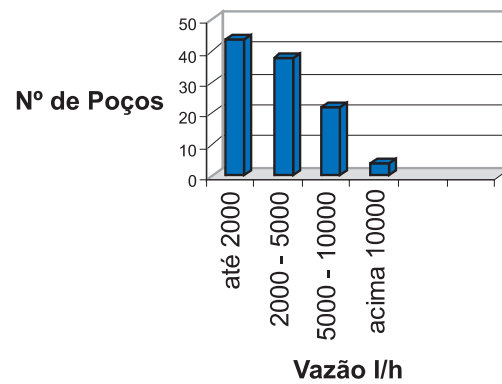


Vazão média (108 poços) = 3.800 l/h

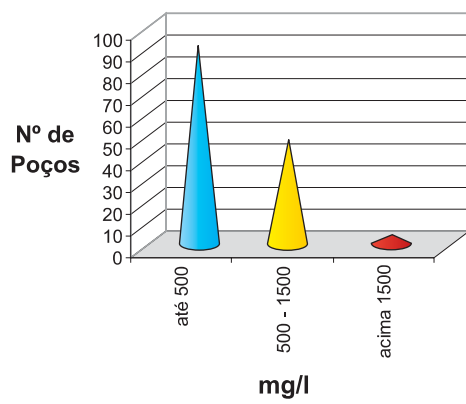
Profundidade média (183 poços) = 66 m

Salinidade (144 poços) = 63% doce
34% salobra
3% salgada

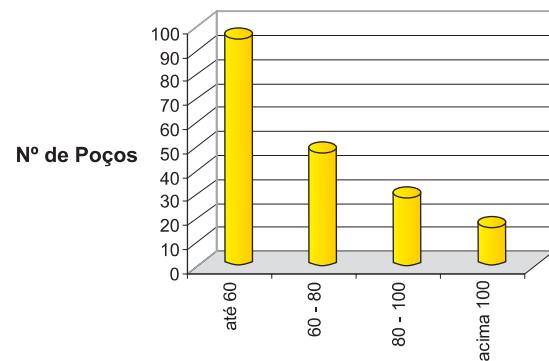
Nº POÇOS - VAZÃO



SALINIDADE



PROFUNDIDADE (m)



Fonte: CENSO CPRM (1998)

AS ALUVIÕES DO BAIXO-MÉDIO JAGUARIBE

As aluviões ocorrem em uma área de 1.400 km², predominando no baixo Jaguaribe, com larguras que oscilam de poucos metros até um máximo de aproximadamente 14 km, a nordeste de Russas.

Representam para a região do médio-baixo Jaguaribe uma importante fonte de armazenamento de água subterrânea, passível de ser explorada por poços tubulares de pequena profundidade e a pequenos custos.

Caracterizam-se pela heterogeneidade litológica, resultante de um processo de sedimentação fluvial com uma irregular energia de transporte, gerando litótipos silto-argilosos a areias grosseiras. Representam um aquífero livre, freático, de permeabilidade geralmente elevada e com espessuras variáveis, desde poucos metros até aproximadamente 15 m, como se observa nas bacias de Iguatu e Icó, dentre outras.

As profundidades dos poços variam muito, pois muitas vezes é comum a perfuração ultrapassar as aluviões alcançando a formação sotoposta. A análise de 60 poços mostra que 61,6% deles possuem profundidades inferiores a 30 m.

As vazões oscilam em função das características litológicas, espessuras e projetos construtivos das obras de captação. O PLANERH (SRH, 1992), mostra que para

41 poços localizados sobre esta unidade, a vazão média é de 15,3 m³/h para um rebaixamento de 7,6 m. Ressalta-se que a vazão máxima encontrada é de 26 m³/h para um poço tubular de 20,5 m de profundidade com nível estático de 6,4 m, na cidade de Tabuleiro do Norte.

A recarga das zonas aluvionares é assegurada pelas precipitações pluviométricas e pela contribuição da rede de drenagem influente, particularmente no decorrer de períodos de enchentes. Manoel Filho (1970) observou que as infiltrações fluviais sobre as aluviões se fazem sentir a mais de 2 km do rio influente.

Os exutórios são representados pela evapotranspiração e pela rede de drenagem efluente, crescente em época de estiagem prolongada. Na planície de Morada Nova (200 km²), o volume anual restituído pelas aluviões foi estimado por Manoel Filho (op. cit.) em 9 milhões de m³, correspondente a uma variação da superfície das águas subterrâneas da ordem de 1,5 m, para uma porosidade efetiva de 3%.

O PLANERH (SRH, 1992), estima um volume precipitado de 980 milhões de m³/ano, ressaltando que uma considerável parcela evapotranspira. Reservas renováveis e permanentes representam 59 milhões de m³/ano e 843 milhões de m³, respectivamente, sendo que os recursos exploráveis podem ser considerados iguais às reservas renováveis.

Liano Silva Veríssimo (**Avaliação das Potencialidades Hídrica e Mineral do Médio-Baixo Jaguaribe**. Fortaleza: CPRM, 1996A .



F) Aquíferos Aluviais

Os maiores valores de espessura de aluviões no Ceará foram medidos, de forma direta, nas escavações da fundação da barragem Castanhão (± 30 m), por métodos geofísicos. Ainda na bacia do rio Jaguaribe, nas proximidades da cidade de Tauá, foram encontradas espessuras de até 28 metros.

Esses depósitos de água são considerados pequenos, se comparados aos volumes acumulados nos aquíferos das Bacias Sedimentares do Araripe e do Apodi, mas considerando-se que cobrem uma superfície da ordem de 2.000 km², tornam-se importantes pela sua dispersa distribuição geográfica e facilidade na construção de poços para captação d'água.

Para este tipo de depósito de água subterrânea, recorre-se, também neste trabalho, ao estabelecimento de valores aproximados. Atribuindo-se uma porosidade efetiva de 3% e espessura saturada de 1,5 m, chega-se, através da expressão da Reserva Permanente (Rp) a um valor de 90 milhões de metros cúbicos.

A Reserva Renovável (Rr) pode ser calculada com auxílio da expressão:

$$Rr = A \times b \times u \times ap$$

Onde:

Rr = Reserva renovável em m³;

ap = índice de aproveitamento;

Adotando-se os seguintes valores:

A = 1,5x10⁹ m²;

ap = 0,6 (adimensional).

Resulta:

$$Rr = 1,5 \times 10^9 \times 1 \times 0,10 \times 0,6$$

$$Rr = 90,0 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}.$$

Admitiu-se que, neste caso específico, a parcela de água retirada da Reserva Permanente (Rp) poderá ser maior, pois é

tácito que a cada seis anos estas reservas sejam completadas. Assim, para efeito de cálculo da Disponibilidade Virtual (Dv), adotou-se 2% da Rp para ser adicionada anualmente à Rr. Isto significa dizer que:

$$Dv = [(90,0 \times 10^6) +$$

$$(150,0 \times 10^6 \times 0,2)];$$

$$Dv = 93,0 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}.$$

Observa-se que a Disponibilidade Virtual de 93 milhões de metros cúbicos por ano é conservadora, pois os aluviões são faixas de circulação dos deflúvios naturais e das descargas dos reservatórios.

2.4.4.3 - Aquíferos Fissurais

No Estado do Ceará, o embasamento cristalino ocupa 75% da superfície estadual, e neste contexto geológico estão, predominantemente, os aquíferos fissurais.

As exceções são depósitos de água em poços mistos, formados por: camadas sedimentares porosas, aquíferos intersticiais com espessuras de até 40m e, raramente, pelos depósitos cársticos interligados a rochas calcárias metamórficas.

Caracterizam-se esses depósitos, no embasamento cristalino, por estarem em ambientes anisotrópicos e descontínuos, apresentando capacidades de infiltração e de armazenamento reduzidas.

Hidrogeologicamente, as rochas duras apresentam comportamento hidráulico em função das características das fendas ou sistemas de fendas, que, por sua vez, mostram geometrias decorrentes dos esforços atuantes e de seus módulos de elasticidade.

A mineralogia e a textura das rochas influenciam sobre uma maior ou menor plasticidade dos pacotes rochosos.

2-BASE FÍSICA

Neste tipo de aquífero observa-se circulação restrita vertical, podendo ocorrer horizontal abaixo do nível de saturação.

A adequada formulação do contexto geológico estrutural da área, onde se pesquisa água, deve indicar e agrupar as direções predominantes das fraturas de compressão e as de alívio, estas as mais favoráveis à acumulação de água, desde que não preenchidas por argila ou processo hidrotermal ou pneumatolítico.

Por falta de cobertura de solo e de vegetação, na região Nordeste as recargas são inferiores às do resto do Brasil. São elas ainda reduzidas pela evaporação anual de até 2.300 mm.

As aluviões e as bacias hidráulicas dos milhares de açudes constituem zona de recargas diferenciadas, podendo os lagos dos açudes provocar, em poços próximos, até artesianismo, em raras situações.

Será de bom alvitre a realização de consistentes trabalhos de pesquisa para a locação de poços, considerando a geologia estrutural o aspecto mais relevante.

A qualidade da água desses aquíferos é inferior à das bacias sedimentares, podendo-se indicar que 70% das águas dos poços apresentem salinidades acima de 1.000ppm.

O nível estático dos poços no cristalino situa-se entre 6 m e 18 m. Esta situação precisa ser encarada como um volume de rochas passível de se recarregar.

A vazão média dos poços tubulares neste tipo de aquífero está em torno de 2 m³/h. Valores maiores podem ocorrer, especialmente pela existência de manto de solo mais espesso, pela recarga induzida por uma zona aluvionar saturada, ou, ainda, pela ação alimentadora de um lago de

açude que intercepte os sistemas de fraturas vinculadas ao poço.

Considerando-se uma taxa média de infiltração de 0,15% e uma precipitação média de 700 mm/ano e aplicando-se a expressão abaixo, tem-se que:

$$R_r = A \times P \times I$$

Onde:

R_r = Reserva renovável em m³;

A = Área em m²;

P = Precipitação média anual em m;

I = Taxa de infiltração média.

Adotando-se os seguintes valores:

$A = 112,5 \times 10^9 \text{ m}^2$;

$P = 0,7 \text{ m}$;

$I = 0,15\%$.

Resulta:

$$R_r = 112,5 \times 10^9 \times 0,7 \times 0,0015$$

$$R_r = 118,1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}.$$

O dimensionamento da Reserva Permanente (R_p) para aquíferos fissurais exigiria um levantamento hidrogeológico de detalhe suficiente para serem feitos cálculos consistentes. Segundo Rebouças (RBRH, 2002), nos 600.000 km² do domínio semi-árido de rochas de idade Pré-Cambriana do Nordeste, principalmente, a R_p é de apenas 80 bilhões de metros cúbicos (0,07% do volume de água subterrânea doce disponível no Brasil). Assim, fazendo-se uma correlação de áreas, pode-se afirmar que a reserva permanente no domínio cristalino do Estado do Ceará é de 15 bilhões de metros cúbicos.

Para efeito de cálculo da Disponibilidade Virtual (D_v), adotou-se 1% da R_p para ser adicionada anualmente à R_r . Isto significa dizer que:

$$D_v = [(118,1 \times 10^6) + (15,0 \times 10^6 \times 0,01)];$$



$$Dv = 118,2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}.$$

A Figura 2.24 apresenta algumas informações relevantes sobre este aquífero, extraídas do Atlas dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Ceará (CPRM, 1999).

2.4.5-Estimativa das Reservas de Água Subterrânea

2.4.5.1-Antecedentes

A quantificação dos fluxos e reservas de água do ciclo hidrológico global foi realizada por diversos pesquisadores e os trabalhos recentes não apresentam entre si discrepâncias marcantes. Um exemplo destes trabalhos é o apresentado por Peixoto e Oort (1990). Para as reservas de água os valores apresentados são os seguintes (Tabela 2.3):

Segundo Silveira (2000) essa quan-

al, em volume, entre a precipitação (P) e a evapotranspiração (E), que são os dois fluxos principais entre a superfície terrestre e a atmosfera, em nível global apresenta os seguintes valores: $P = E = 423.000 \text{ km}^3/\text{ano}$. A evaporação direta dos oceanos para a atmosfera corresponde a $361.000 \text{ km}^3/\text{ano}$, cerca de 85% do total evaporado, sendo os 15% complementares, ou $62.000 \text{ km}^3/\text{ano}$, devidos à evapotranspiração dos continentes. No balanço da precipitação os percentuais diferem um pouco, com a atmosfera devolvendo aos oceanos $324.000 \text{ km}^3/\text{ano}$, cerca de 77% do total precipitado, cabendo aos continentes receberem os 23% restantes ($99.000 \text{ km}^3/\text{ano}$). A diferença entre o que

Tabela 2.3 Estimativa das Reservas Hídricas Mundiais Segundo Peixoto e OORT (1990)

LOCALIZAÇÃO	RESERVAS DE ÁGUA	
	(Km ³)	(%)
Oceanos	1.350.000.000	97,57
Geleiras	25.000.000	1,81
Águas subterrâneas	8.400.000	0,61
Rios e Lagos	200.000	0,01
Biosfera	600	0,00
Atmosfera	13.000	0,00
TOTAL	1.383.613.600	100,00

FONTE: Tucci, C.E.M. (Organizador), 2000. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2ª Edição. Ed. UFRGS/ABRH.

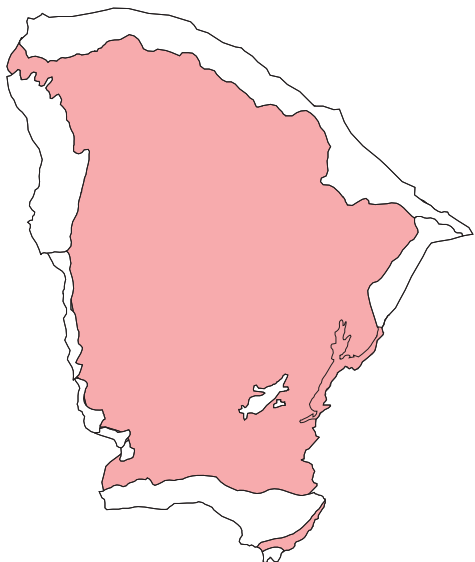
tificação estática não deixa transparecer a importância relativa de cada reserva dinâmica do ciclo da água. A atmosfera, por exemplo, armazena uma quantidade ínfima da água disponível no planeta, mas dá origem à precipitação que é uma fase fundamental na dinâmica do ciclo hidrológico. No que diz respeito aos oceanos, a quantidade de água armazenada (97%) é tão significativa quanto o seu papel no ciclo hidrológico. O equilíbrio médio anu-

al é precipitado e o que é evapotranspirado anualmente nos continentes, corresponde ao escoamento para os oceanos que é de $37.000 \text{ km}^3/\text{ano}$.

Observa-se, portanto, que o volume de água doce corresponde a 2,43% do volume de água disponível no Planeta, ou seja, $33.613.600 \text{ km}^3$. Porém, 74,37% desse volume são geleiras, 24,99% são os recursos hídricos subterrâneos e apenas 0,59% são águas superficiais.

2-BASE FÍSICA

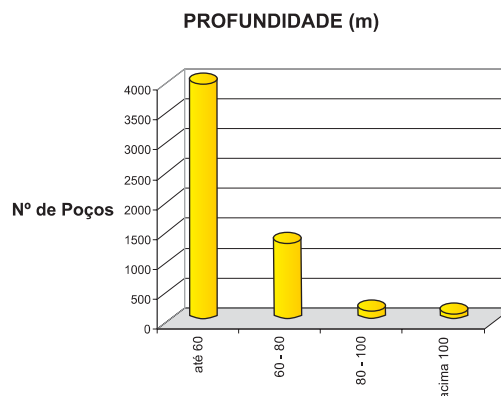
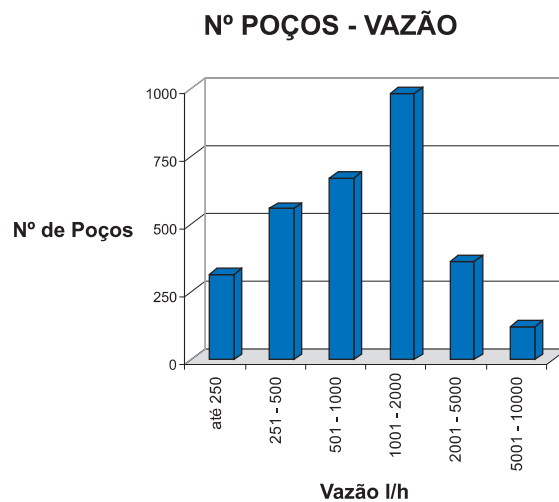
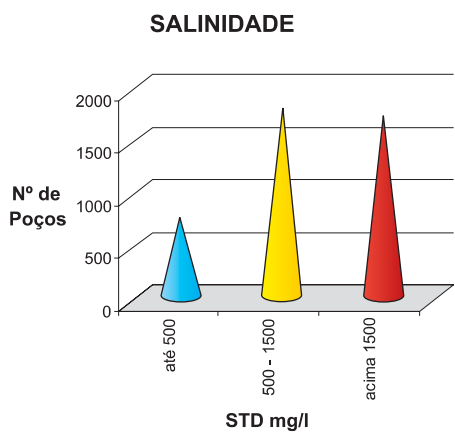
Figura 2.24 - Formação Cristalina



Vazão média (3.209 poços) = 2.920 l/h

Profundidade média (3.209 poços) = 59 m

Salinidade (4.256 poços) = 18% doc e
42% salobra
40% salg.



Fonte: CENSO CPRM (1998)



Estima-se que cerca de 12% das reservas mundiais de água doce estejam disponíveis no Brasil. No entanto, é relevante salientar que há uma grande variação de distribuição desse recurso, tanto no tempo quanto no espaço, entre as diferentes regiões do País. A produção hídrica média dos rios em território brasileiro é da ordem de 5.759 km³/ano (182.633 m³/s). Deste total, 77,44% são provenientes da região hidrográfica do Amazonas que abrange 46,52% da área do Brasil. A região Costeira do Nordeste Oriental, na qual está inserido o território cearense, corresponde com apenas 1,61% dessa produção apesar de abranger cerca de 7,99% do território brasileiro (ANA, 2002). Rebouças (RBRH, 2002) estima que as reservas de água subterrânea no Brasil sejam da ordem de 112.000 km³, sendo que cerca de 90% deste valor estão nas bacias sedimentares, que abrangem cerca de 50% do território nacional. Nos 600.000 km² do

domínio semi-árido de rochas do embasamento cristalino do Nordeste, principalmente, as reservas são de apenas 80 km³. Segundo Duarte (1994), o volume de água subterrânea disponível (disponibilidade virtual) no Nordeste é de 19 km³/ano, sendo que o território cearense dispõe de 1,2 km³/ano passível de serem consumidos. No entanto, “não dispomos das avaliações quantitativas destes recursos hídricos subterrâneos com a consistência desejável em detalhamento relacionado a cada bacia hidrográfica.” (Projeto ÁRIDAS - Ceará 2020, 1995).

Consta no documento intitulado Balanço Hídrico Concentrado do Estado do Ceará e Custos de Movimentação das Águas nos Eixos do PROGERIRH (SRH, 1998) que o volume de água subterrânea passível de exploração no Estado do Ceará é da ordem de 1,6 km³/ano, conforme pode-se observar nos dados da Tabela 2.4 a seguir.

Tabela 2.4 - Estimativa da Disponibilidade Virtual de Água Subterrânea no Estado do Ceará Segundo a SRH (1998)

REGIÃO HIDROGRÁFICA	DISPONIBILIDADE VIRTUAL		
	(m ³ /s)	(m ³ /ano)	(%)
Jaguaribe	17,70	558.187.200	34,86
Metropolitanas	10,11	318.828.960	19,91
Acaraú	7,19	226.743.840	14,16
Coreaú	7,07	222.959.520	13,93
Parnaíba	1,92	60.549.120	3,78
Curu	1,02	32.166.720	2,01
Litorâneas	5,76	181.647.360	11,35
Estado do Ceará	50,77	1.601.082.720	100,00

FONTE: Balanço Hídrico Concentrado do Estado do Ceará e Custos de Movimentação das Águas nos Eixos do Progerirh (SRH, 1998)

2-BASE FÍSICA

2.4.5.2 - Estimativa da Disponibilidade Virtual de Água Subterrânea por Aquífero

As águas subterrâneas podem, sob uma abordagem integrada com o componente hídrico superficial, concorrer para que se faça uma ocupação sustentável do território cearense. Para tal, faz-se necessária uma aferição, o mais precisa possí-

vel, das disponibilidades virtuais das águas subterrâneas passíveis de exploração no Estado.

Com base nas informações deste Diagnóstico, segue, na Tabela 2.5, uma estimativa das referidas disponibilidades virtuais.

Tabela 2.5 - Estimativa da Disponibilidade Virtual de Água Subterrânea no Estado do Ceará por Região Hidrogeológica

REGIÃO	ÁREA (km ²)	DISPONIBILIDADE VIRTUAL		
		(m ³ /s)	(m ³ /ano)	(%)
B.S. de Araripe	11.000	12,97	409.000.000	38,58
B.S. Potiguar	3.000	2,38	75.000.000	7,07
B.S. Costeira	17.000	3,80	120.000.000	11,32
B.S. do Parnaíba	9.000	6,98	220.000.000	20,75
B.S. de Iguatu	1.025	0,79	24.900.000	2,35
Áreas Aluviais	2.000	2,95	93.000.000	8,78
Emb. Cristalino	112.500	3,75	118.200.000	11,15
Total	155.525	33,62	1.060.100.000	100,00

FONTE: Consolidação da Política e dos Programas de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH/Consórcio AGE-AQUACON, 2004)

