

# ASPECTOS A SEREM CONSIDERADOS QUANDO DE UMA ANÁLISE REGIONAL INTEGRADA DE SECAS

## RESUMO

*Neste artigo são abordados diversos aspectos relevantes, quando de uma análise regional integrada de secas, notadamente em regiões semi-áridas, quais sejam: a problemática da definição de uma seca; a previsão; o monitoramento; a avaliação dos efeitos e o planejamento das ações mitigadoras. Esses tópicos são aqui discutidos, exemplificando-se para o Estado do Ceará, no Nordeste do Brasil.*

## ABSTRACT

*This paper reports some relevant aspects that one has to take in account by an integrated regional drought analysis, particularly in semi-arid regions, that are: the problem by drought definition; prediction; monitoring; evaluation and planning. These aspects have been here discussed with an application to the Federal State of Ceará, in Northeast-Brazil.*

## 1. INTRODUÇÃO

As secas são um fenômeno natural que se diferenciam claramente de outras catástrofes naturais. Uma diferença básica reside no fato de que, ao contrário de outras ocorrências naturais como cheias, furacões e terremotos, as quais iniciam e terminam repentinamente, além de se restringirem, normalmente, a

uma pequena região, o fenômeno das secas tem, normalmente, um início lento, uma longa duração e espalha-se, na maioria das vezes, por uma extensa área.

A seca é um fenômeno dito recorrente em regiões semi-áridas. Os efeitos de um duradouro período de seca em uma determinada região dependem, entretanto, não somente da

**Marcos Airton de  
Sousa Freitas**

---

*Eng. Civil (UFPI),  
M.Sc.(UFC), Doutorando  
em Eng. Civil -  
Universidade de Hannover,  
Alemanha e Prof. CCT-  
UNIFOR.*

duração e intensidade da seca, mas também das condições sócio-econômicas e culturais da população atingida. Secas, particularmente em regiões onde a demanda por água é maior do que a disponibilidade ou onde haja uma grande variabilidade da oferta d'água, trazem quase sempre conseqüências de larga escala. Grandes projetos de irrigação e regiões metropolitanas densamente povoadas, tais como Fortaleza, Recife e Salvador, estão sujeitos a uma enorme vulnerabilidade, no tocante ao abastecimento d'água.

Enseja-se através deste artigo apresentar uma moderna metodologia de análise regional integrada do fenômeno das secas, a qual resumidamente, compõe-se dos seguintes tópicos: definição dos diversos tipos de secas, previsão, monitoramento, avaliação dos efeitos e planejamento das ações mitigadoras (FREITAS, 1996a).

## 2. DEFINIÇÃO DE SECAS

Um dos primeiros problemas com que os estudiosos do fenômeno das secas se deparam é o da própria definição do que vem a ser uma seca. Uma definição universal e precisa é ainda inexistente. Em determinada parte do globo terrestre, Indonésia, por exemplo, um período de alguns dias sem chuva já pode ser relacionado a um período de seca. Em outras regiões, caso da Líbia, para a caracterização de uma seca requer-se, contudo, a ocorrência de um período de até dois ou mais anos sem, praticamente, precipitação. Faz-se destarte necessário, como base em características locais, o desenvolvimento de uma definição de seca mais condizente com a região estudada, na qual deve-se levar em consideração não só a disponibilidade d'água da área de estudo, como também a demanda, tanto em termos temporal, quanto espacial.

Nesse contexto, cabe ressaltar que, para uma análise realística das secas, os seguintes aspectos devem ser considerados (DRACUP et al., 1980): 1) qual o interesse maior da análise (precipitação, vazão ou umidade do solo)?; 2) qual o intervalo de discretização a ser empregado (semanal, mensal, semestral ou anual)?; 3) como se distingue numa série de tempo um evento de seca de um outro?; e 4) como o

aspecto regional da seca deve ser analisado? Requer-se, ainda, a utilização de uma classificação da seca nas seguintes, não mutuamente exclusivas, classes (WILHITE & GLANTZ, 1985): seca meteorológica, hidrológica e agrícola.

## 3. PREVISÃO

A previsão de secas a longo prazo pode ser efetivada com base em métodos estatísticos e modelos neuro-fuzzy. Um dos pontos cruciais na tomada de decisão das ações a serem executadas no combate às conseqüências de uma seca prolongada sobre a população do Nordeste Brasileiro diz respeito a sua previsão. Esta deve ser feita, com base nos dados hidrometeorológicos disponíveis, e em tempo hábil, de forma que as medidas a serem tomadas no sentido de minorar seus efeitos possam ser efetivamente implementadas.

É fácil constatar, a partir dos dados históricos, que os períodos de secas no Nordeste Brasileiro se estendem por uma vasta região e que tais períodos prolongam-se, via de regra, por mais de um ano. Fundamental, portanto, é a realização de um diagnóstico preciso das ocorrências passadas no sentido de obtenção de uma estimativa de sua freqüência (PEHR, 1992).

Nos modelos estatísticos, os dados históricos disponíveis, após homogeneização, podem ser classificados em períodos secos, normais e úmidos. Desta forma, podem-se associar probabilidades a cada um dos estados citados. Análise de correlação e tabelas de contingências utilizando-se dados de precipitação do Nordeste Brasileiro, bem como dados de temperatura da água do mar, pressão, vento etc. dos oceanos Atlântico e Pacífico podem servir de base para esta modelagem. Uma aplicação desta metodologia pode ser encontrada em BILLIB & FREITAS (1996).

Os modelos ditos neuro-fuzzy são os decorrentes da combinação de redes neurais com a lógica fuzzy, ou 'lógica nebulosa ou difusa'. Dar-se a denominação redes neurais artificiais aos modelos, os quais tentam reproduzir a estrutura e o funcionamento das redes biológicas (cérebro). Uma rede neural compõe-se de um elevado número de elementos, denominados

neurônios e um grande número de ligações, conhecidas por sinapses. A cada ligação é associado um peso, ao qual está intrinsecamente relacionado à capacidade de aprendizado da rede (FREITAS, 1996a).

A lógica fuzzy advém da teoria dos conjuntos fuzzy desenvolvida por L. ZADEH (1965). Ela foi desenvolvida originalmente para se trabalhar com informações e dados, como fala e imagens, os quais somente com muita dificuldade poderiam ser formalmente descritos matematicamente. Dado essas características é que a lógica fuzzy vem sendo cada dia mais empregada, principalmente, no controle e otimização de processos.

Uma combinação de ambos os sistemas é por demais vantajosa, já que aliado à capacidade de aprendizagem, de reconhecimento, de generalização e da tolerância a erros das redes neurais, tem-se a possibilidade de se trabalhar com dados imprecisos e ratificação dos resultados da lógica fuzzy. Neste caso, faz-se necessário um processo denominado fuzzificação-inferência-desfuzzificação.

A vantagem primordial desta metodologia recai no uso de técnicas matemáticas avançadas, as quais permitem obter, com um determinado nível de acuidade e antecedência, uma estimativa do total a ser precipitado numa determinada região durante o período chuvoso. Tal prognóstico é de grande valia para o manejo da operação de reservatórios e para a determinação do tipo de culturas e época de plantio, dentre outros aspectos.

#### 4. MONITORAMENTO

No Nordeste Brasileiro o monitoramento de períodos de secas é particularmente útil devido, dentre muitos outros, aos seguintes aspectos: (1) a existência de inúmeros projetos de irrigação implantados e a serem implantados ao longo dos principais rios; (2) o abastecimento d'água das grandes cidades é, em sua maioria, dependente direto do escoamento dos rios, ou indiretamente do volume acumulado nas barragens; (3) a maioria das culturas agrícolas dependem exclusivamente da regularidade das chuvas e (4) a possibilidade de uso de água subterrânea é pequena comparado ao da água superficial.

O monitoramento de períodos de secas pode ser efetivado através do emprego de índices. Com base em índices meteorológicos, hidrológicos e agrícolas, pode-se desenvolver um sistema de acompanhamento das características básicas dos períodos de seca, quais sejam, duração, severidade e intensidade, assim como as diferenciadas medidas a serem tomadas de acordo com os valores atingidos por tais parâmetros. Na figura 1 pode ser observado um esquema simplificado de um sistema de monitoramento de secas.

O monitoramento da precipitação pode ser efetuado por meio de índices meteorológicos, tais como o RAI (Rainfall Anomaly Index), o BMDI (Bhalme & Mooley Drought Index), o HSI (Herbst Severity Index), bem como o LRDI (Lamb Rainfall Departure Index), os quais foram detalhadamente analisados e aplicados para o Estado do Ceará por FREITAS (1996a). Uma vantagem prática no uso desses índices é o acompanhamento quase simultâneo (diário, semanal ou mensal, dependendo da disponibilidade dos dados) do grau de severidade e duração do período seco. A figura 2 traz um exemplo de aplicação do índice RAI a três postos de precipitação do Estado do Ceará. A figura 3 apresenta os valores do índice BMDI para o posto de Mombaça.

Para o monitoramento da seca hidrológica, ou seja, para a análise do déficit de água nos reservatórios, rios e água subterrânea pode-se utilizar alguns dos índices enumerados a seguir: uma versão modificada do SWSI (Surface Water Supply Index) e o BWDI (Basin-Wide Drought Index). Ambos são também descritos de maneira acurada em FREITAS (1996a). O emprego destes índices, acoplado ao uso de modelos de geração de vazão, os quais permitem reproduzir não só os parâmetros estatísticos das séries históricas, mas também os parâmetros característicos (duração, severidade e intensidade) dos períodos de seca em rios intermitentes, são indispensáveis na operação de reservatórios em regiões semi-áridas, como o Nordeste do Brasil (FREITAS, 1995a & b). A figura 4 reproduz um esquema de uma abordagem integrada na geração de vazão e simulação de operação de reservatórios em regiões semi-áridas.

A seca agrícola pode ser monitorada, de forma satisfatória, através da utilização de índices

como o IMA (Index of Moisture Adequacy) e o RHMI (Revised Herbst Model Index). Aqui, o emprego de imagens de satélites, notadamente através de índices como o VCI (Vegetation Condition Index) e o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) são particularmente úteis na detecção e manejo de uma seca agrícola, bem como na estimativa dos seus impactos sobre a vegetação, em especial, as culturas agrícolas. Uma desvantagem do uso de índices de vegetação, assim como do SIG (Sistema de Informação Geográfica), para a determinação do início de uma seca agrícola é que a vegetação pode ainda estar frondosa, enquanto que a umidade do solo, na zona das raízes das plantas, pode já estar exaurido. Neste caso, o uso de técnicas de termometria infra-vermelho (sensoriamento remoto) para a avaliação da umidade do solo é extremamente recomendada (FREITAS, 1996a).

Urge salientar que as medidas de combate aos efeitos de uma seca prolongada devem ser executadas não só nos períodos de seca propriamente dita, mas principalmente nos períodos de inverno regular. A abordagem somente durante os períodos de crise, como via de regra é efetivada, deve ser complementada com uma abordagem a longo prazo.

## 5. AVALIAÇÃO DOS EFEITOS

Para muitas regiões da terra uma seca agrícola de um ano de duração não traz grandes problemas à população. Já uma seca de dois anos de duração pode acarretar, contudo, sérias complicações. No caso, entretanto, de uma seca de três ou mais anos de duração, em regiões como o Nordeste Brasileiro, produz efeitos dramáticos à população, tais como perda da cultura agrícola, fome, migração em direção aos grandes centros urbanos, dentre outros.

As conseqüências de uma seca, apesar de parecerem óbvias, resultam de um complexo interrelacionamento entre os sistemas físicos e sociais, os quais são muitos difíceis de serem quantificados (WILHITE, 1993). Os efeitos de uma seca podem ser, em geral, classificados em efeitos diretos ou indiretos, ou ainda, de primeira, segunda ou terceira ordem. Assim, uma perda

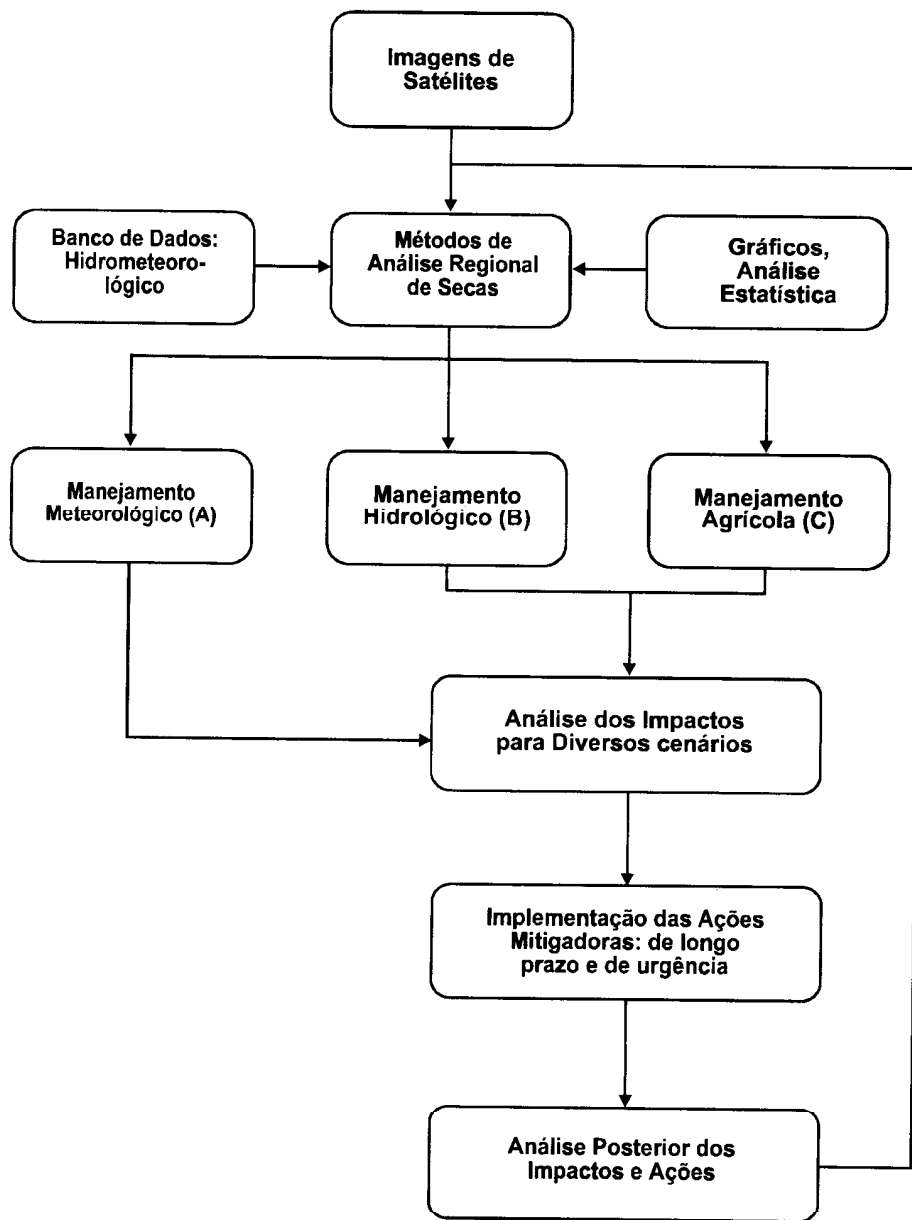
de cultura pode ser classificada como sendo uma causa direta ou de primeira ordem, enquanto que as migrações, redução dos lucros, etc. são vistos como efeitos de segunda ou terceira ordem (KATES, 1985). Na figura 5 tem-se uma comparação entre um índice de seca (LRDI), o qual expressa a variabilidade temporal da precipitação para o Estado do Ceará e a produção de arroz (expresso em desvio em relação à média do período 1975-1984) também para o Estado do Ceará.

Os efeitos de uma seca prolongada podem ainda ser classificados em econômicos, efeitos ao meio ambiente e efeitos sociais, conforme YEVJEVICH et al. (1978) e WILHITE (1993).

## 6. PLANEJAMENTO DAS AÇÕES MITIGADORAS

Ao longo deste século diversas foram as soluções apontadas por estudiosos para amenizar a problemática das secas no Nordeste do Brasil. Tais perspectivas podem ser aglutinadas em naturalista, hidráulica, ecológica e social. Porém, quando da elaboração de um Plano Nacional de Combate às Secas, dentro de uma visão integrada, os seguintes passos devem ser tomados (WILHITE, 1991 e 1993):

- a) Criação de uma comissão federal;
- b) Definição de estratégias e objetivos;
- c) Equalização entre os aspectos econômicos e ecológicos;
- d) Levantamento das restrições naturais, biológicas, financeiras e recursos humanos;
- e) Desenvolvimento de um Plano de Combate às Secas propriamente dito;
- f) Identificação das necessidades de pesquisa e deficiências institucionais;
- g) Sumário dos aspectos econômicos e estratégias de combate;
- h) Implantação e operacionalização do Plano;
- i) Estabelecimento de programas de instrução (em vários níveis);
- j) Desenvolvimento de métodos de avaliação.



**Figura1:** Esquema conceptual de um sistema de monitoramento de secas.

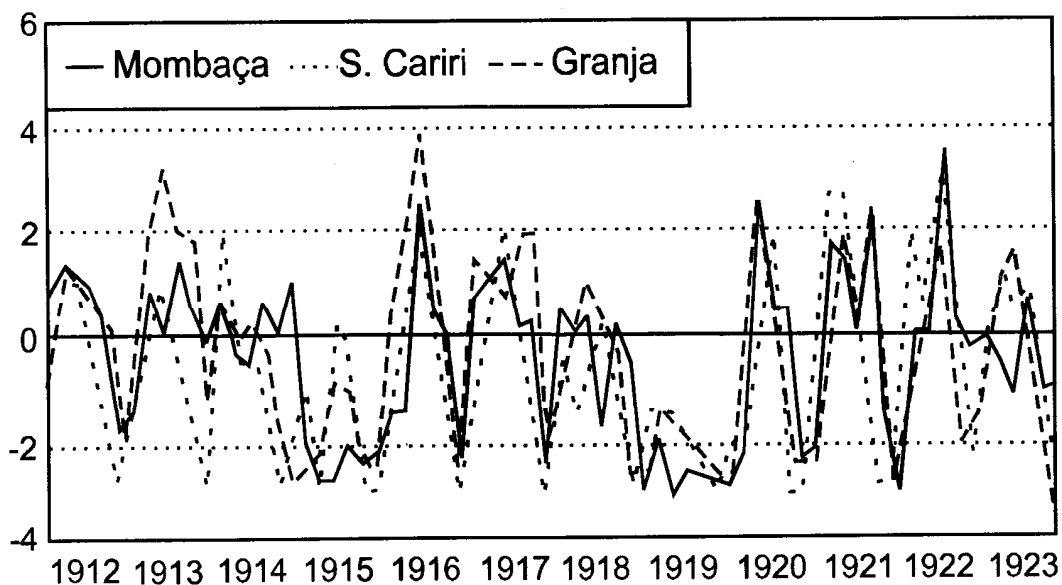


Figura 2: Índice RAI aplicado a três postos de precipitação no Ceará.

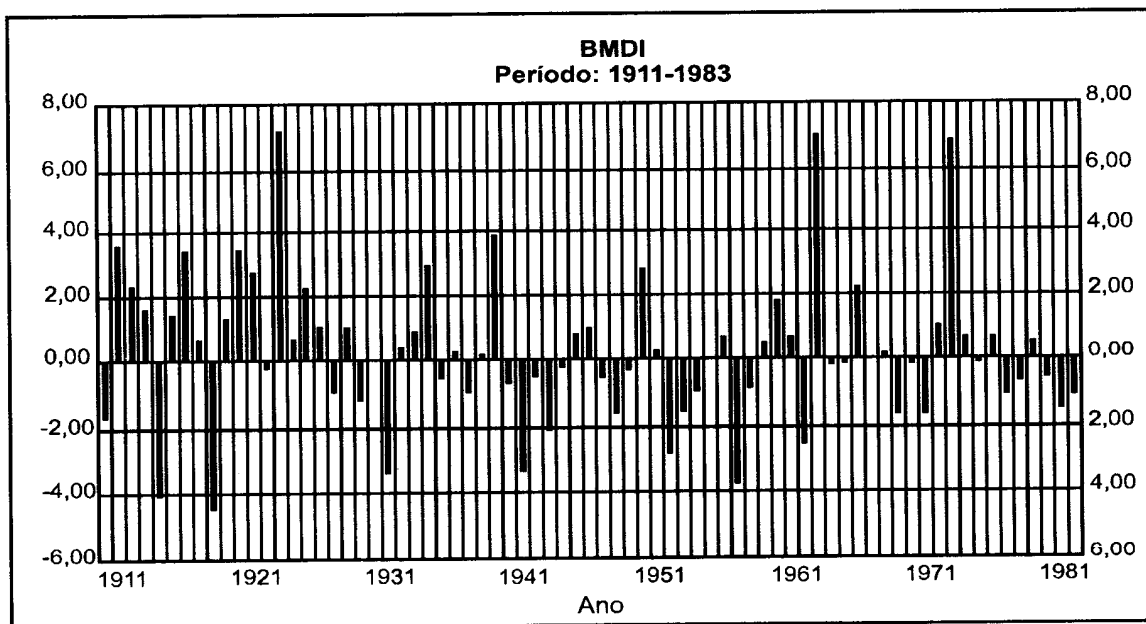
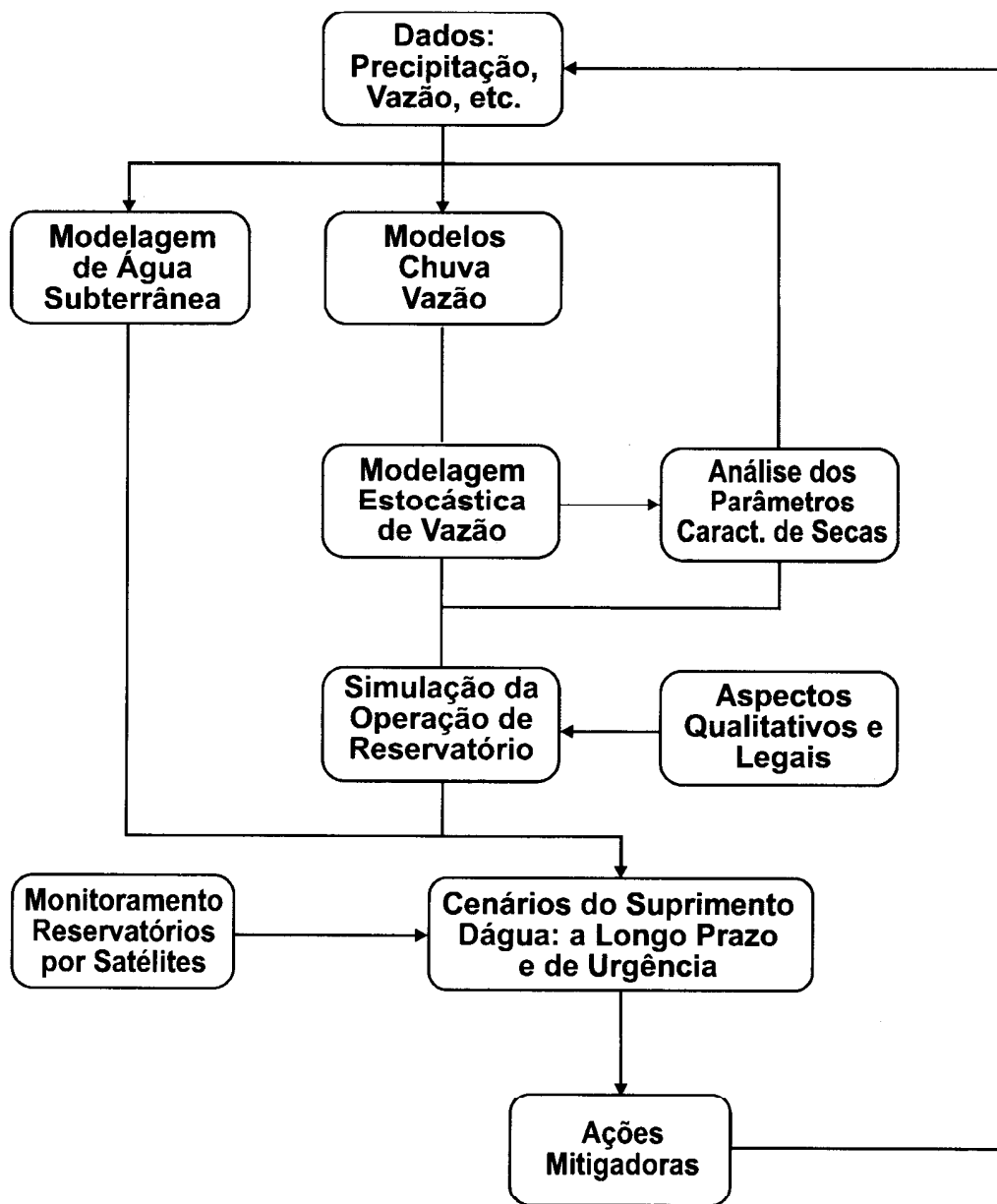
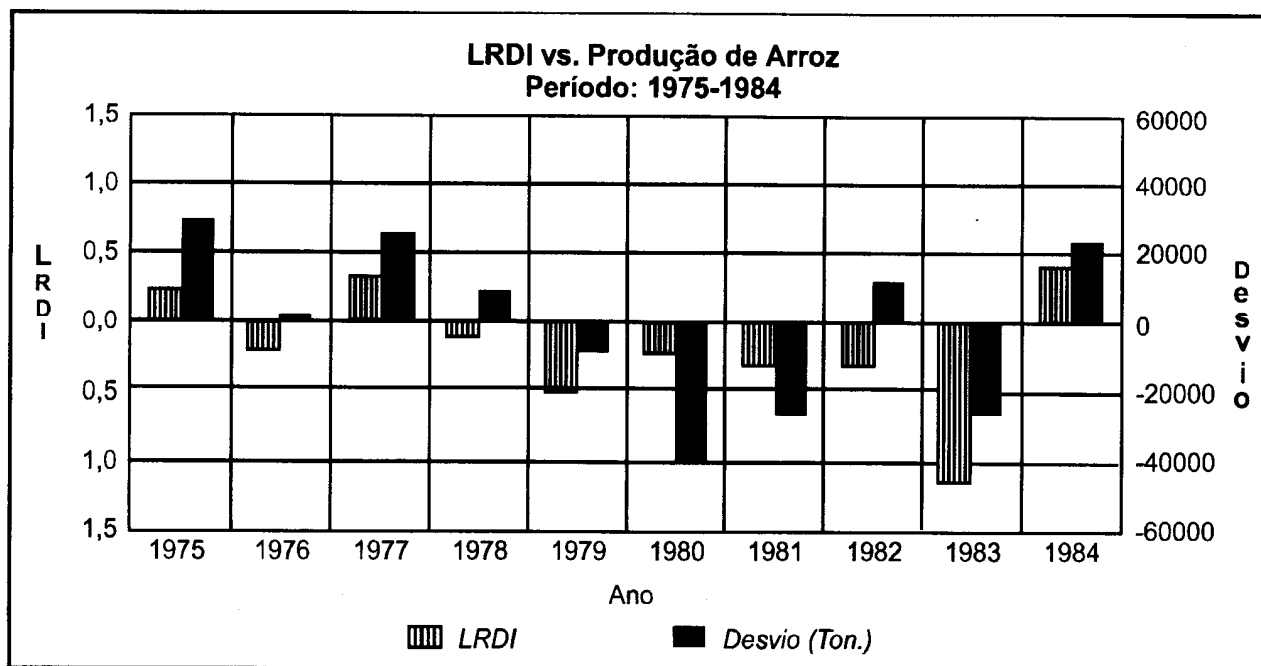


Figura 3: BMDI aplicado ao posto de Mombaça (1911-1983).



**Figura 4:** Abordagem integrada na geração de vazão e simulação de operação de reservatórios em regiões semi-áridas.



**Figura 5:** LRDI vs. Produção de Arroz para o Estado do Ceará (1975-84).

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

01. BILLIB, M.H.A. & M.A.S. FREITAS, 1996: Drought Forecasting and Management for Northeast-Brazil by Statistics, Neuro-Fuzzy System and Stochastic Simulation, Proc. Intern. Conference on Water Resources & Environment Research: towards the 21st. Century, Kyoto, Japan (aceito p/ apresentação).
02. DRACUP, J. A. et al., 1980: On the Definition of Droughts, Water Resources Research, 6(2), 297-302.
03. FREITAS, M. A. S., 1995: Stochastische Abflussgenerierung in intermittierenden semiariden Gebieten / Nordost-Brasilien, Abschlußarbeit, Weiterbildendes Studium Bauingenieurwesen, Wasser und Umwelt, Universität Hannover, Alemanha, 103p.
04. FREITAS, M.A.S., 1995: SAGE (Stochastische AbflussGENERierungsmodelle), Handbuch, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau, Universität Hannover, Alemanha.
05. FREITAS, M. A. S., 1996a: Regionale Dürreanalyse anhand statistischer Methoden und Neuro-Fuzzy-Systemen mit Anwendung in NO-Brasilien, Tese de Doutorado, Universidade de Hannover, Alemanha.
06. FREITAS, M. A.S., 1996b: Previsão de Secas por meio de Métodos Estatísticos e Redes Neurais e Análise de suas Características através de Diversos Índices (Ceará - Nordeste do Brasil), IX Congresso Brasileiro de Meteorologia, Campos do Jordão, São Paulo.
07. KATES, R.W., 1985: The Interaction of Climate and Society, In: Climate Impact Assessment, Studies of the Interaction of Climate and Society, R.W. Kates, J. H. Ausubel & M. Berberian (Ed.), Wiley, Chichester, Inglaterra, 3-36.
08. PERH, 1992: Plano Estadual de Recursos Hídricos / Estado do Ceará, Estudo de Base I, Fortaleza.
09. WILHITE, D.A., 1991: Drought Planning: A Process for State Government, Water Resources Bulletin, 27(1), 29-38.
10. WILHITE, D.A., 1993: Planning for Drought: A Methodology, In: Drought



- Assessment, Management and Planning: Theory and Case Studies, D. A. Wilhite (Ed.), Kluwer Academic Publishers, Boston.
11. WILHITE, D.A. & GLANTZ, M.H., 1985: Understanding the drought phenomenon: the role of definitions, *Water International*, 10, 111-120.
  12. YEVJEVICH, V., W.A. HALL & J.D. SALAS, 1978: Drought Research Needs, Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado.
  13. ZADEH, L., 1965: Fuzzy Sets, *Information and Control*, vol. 8, 338-353.