

ESPECIFICAÇÃO DE UM SISTEMA INFORMÁTICO DE SUPORTE À DECISÃO NA GESTÃO PÚBLICA EM REGIÕES DO SEMI-ÁRIDO UTILIZANDO TÉCNICAS DE SIMULAÇÃO E ANÁLISE MULTI-OBJETIVA

RESUMO

Este trabalho objetiva o desenvolvimento de um sistema de computação associado a uma metodologia para facilitar a gestão pública em regiões do semi-árido, através da aplicação de técnicas de análise multi-objetiva e simulação. Apresentamos um estudo de caso para o semi-árido brasileiro, onde são considerados os seguintes aspectos: i) disponibilidade hídrica e climatologia regional: precipitação, evapotranspiração, acumulação de água; ii) degradação ambiental: desertificação, índice de vegetação iii) aspectos sócio-econômicos: mudanças culturais e fluxos migratórios.

ABSTRACT

The main purpose of this work is the development of a computing system attached to a methodology that facilitates the application of techniques of multi-objectives analysis. It is an integrated system of simulation of variables involved in the sustained development of the semi-arid, in view of elaborating sceneries through the analytic and quantified treatment of the processes of decision making. To verify the behavior of the system, was elaborated the proposal of a case study for the semi-arid of the brazilian Northeast, inserted in the study field defined in the project designated as WAVES. The following basic aspects are considered: a) water resources and regional climatology (as precipitation, evapotranspiration, water accumulation); b) environmental degradation (desertification, vegetation index; quality of water); c) socioeconomic aspects (cultural changes; migratory flows).

**Jackson Sávio de
Vasconcelos Silva**

FUNCEME-Diretor
Técnico e UNIFOR/
Universidade de
Fortaleza-Professor
Assistente

1. INTRODUÇÃO

As regiões semi-áridas apresentam variado e complexo sistema com características físicas moduladas pela escassez de água e interrelacionadas com a pobreza do solo, levando a um círculo de miséria traduzido pela fragilidade do tecido social. Os maiores questionamentos sobre modelos de decisão utilizados para a solução dos problemas de políticas públicas em áreas subdesenvolvidas ou pouco industrializadas, no semi-árido, passa pelo uso eficiente e eficaz do bem mais precioso para estas regiões, a ÁGUA, em especial quanto à sua disponibilização, utilização e conservação.

Note-se que, como alternativa de intervenção pública, onde na busca de aumento de produção de alimentos se apresenta a implantação de projetos de agricultura irrigada, costumava ser levada em conta uma visão simplista, prevalecendo o paradigma de um desenvolvimento econômico "mágico", instantâneo, logo seguido pelo pesadelo da exaustão dos solos, poluição de mananciais hídricos por agrotóxicos e, principalmente, o maior empobrecimento da população circunvizinha que fica à margem destes projetos, os quais requerem mudanças em tratos culturais arraigados. Assim, desta população, importantes contingentes são forçadas a emigrar para os grandes centros urbanos, realimentando toda uma cadeia de violência, pobreza, e de degradação moral e ambiental.

A atual tecnologia de sistemas informáticos possibilita o desenvolvimento de um sistema integrado de simulação das variáveis envolvidas no desenvolvimento sustentável do semi-árido, com a elaboração de cenários, através do tratamento analítico para quantificação dos processos de tomada de decisão com múltiplos objetivos. Portanto, visando reduzir os riscos advindos de políticas de uso e ocupação do solo que pressionem um uso aparentemente otimizado dos recursos hídricos, mas que geram conflitos e danos irreparáveis ao meio ambiente, torna-se indispensável que o gestor público passe a dispor de modelos apropriados, possibilitando: a) a gestão eficiente dos recursos regionais; b) a tomada de decisões objetivas e fundamentadas, no que concerne ao desenvolvimento dos programas de: (i) agricultura irrigada; (ii) interiorização industrial;

(iii) zoneamento agrícola; (iv) implantação de equipamentos públicos; (v) outros usos.

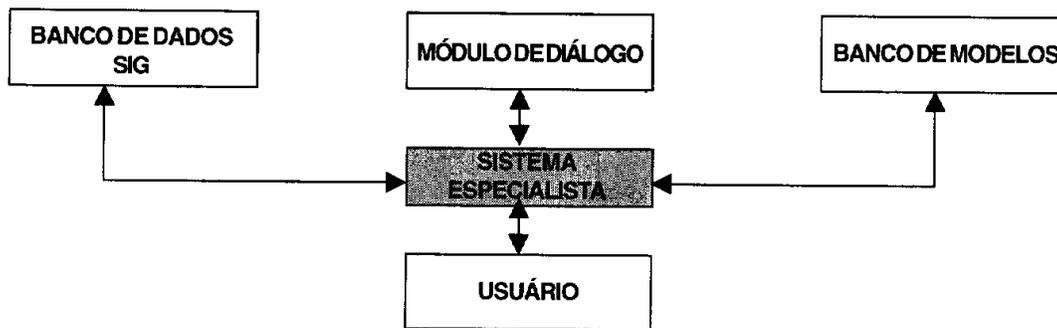
2. METODOLOGIA

O planejamento de políticas públicas indutoras de desenvolvimento sustentável de uma região exige a modelagem de um complexo sistema de alocação de recursos. O atendimento às demandas de segmentos da sociedade variam e geralmente envolvem projetos conflitantes, como: implantação de projetos de agricultura irrigada, abastecimento de água para consumo humano, implantação de indústrias, desenvolvimento integrado sustentável, etc.

A natureza conflitante dos objetivos a serem considerados não permitem a adoção de uma única solução ótima. Deste modo busca-se a otimização do vetor constituído pelas várias funções-objetivo definidas. A otimização de um vetor quebra o paradigma do **valor ótimo**, pois não teremos uma única alternativa ótima, porém um elenco diverso de alternativas possíveis de serem elegíveis, que recebem a denominação de **não inferiores**. De acordo com este conceito, uma alternativa **A** (representada por um vetor constituído pelos diversos valores de suas funções-objetivo) **domina** uma solução **B** se, e somente se, todos os valores de suas funções-objetivo de **A** forem preferíveis aos valores correspondentes de **B**. Conseqüentemente todas as alternativas **dominadas** devem ser descartadas.

Como o conjunto de soluções **não inferiores** normalmente é constituído de várias alternativas, deverá ser escolhida uma delas. Neste ponto o sistema é alimentado pela declaração de preferências pelo tomador de decisões, que insere no sistema de decisão a sua disposição de trocar os níveis de consecução de cada objetivo de uma alternativa **A1** pelos níveis de consecução da alternativa **A2**.

O sistema proposto neste trabalho objetiva o desenvolvimento de um sistema computacional agregado a uma metodologia que facilite a aplicação de técnicas de análise multiobjetivos. São suas partes : o BANCO de DADOS-SIG; o MÓDULO de DIÁLOGOS entre INTERFACES; o BANCO de MODELOS; o SISTEMA ESPECIALISTA; e finalmente, o próprio USUÁRIO.



No Banco de Modelos serão inicialmente usadas as seguintes técnicas de análise multi-objetivo: a) Método da função utilidade multidimensional, **CHARNEY & COOPER (1961)**; b) Método da matriz de prioridades, **SAATY (1977)**; c) Método Electra, **ROY (1971)**; d) Método Promethee, **BRANS & VINCKE (1985)**; e) Método da programação de compromisso, **YU (1973)**.

O sistema será inteligente para, através de metodologias consagradas, empreender uma análise do modelo que melhor se aplica, constituindo um sistema computacional escrito em linguagem visual, que utiliza uma interface gráfica amigável. As bases de dados, contendo informações e parâmetros ambientais, socio-econômicas, subsidiarão à tomada de decisão, sendo acessadas através de Sistemas de Informações Geográficas-SIG, meio também utilizado para visualizar os resultados das simulações.

A idéia é desenvolver esse sistema especialista para que numa interação com o usuário, permita o aprendizado e otimização de técnicas decisórias para o gerenciamento dos recursos de uma determinada área. A cada utilização as bases de dados são incrementadas com novos critérios impostos pelo **decision maker**, constituindo-se num instrumento que reterá uma memória do modelo comportamental, contribuindo assim para o aprendizado do sistema.

Remetemos, ainda, a ampla bibliografia na área de técnicas de decisão e pesquisa operacional, relevantes para a nossa pesquisa, na qual se inserem as seguintes outras referências: **BERGAMASCHI et al (1992)**, **HASHIMOTO et al (1982)**, **LOUCKS (1992)**, **KOO (1977)**, **MAJOR (1977)**, **McKAUGHAN (1997)**, **Meta Systems Inc.**

(1975), **PORTO (Org.) (1997)**, **SCHWEIGMAN (1985)**, **TECLE & DUCKSTEIN (1994)** e **YEVJEVITCH (1972)**.

2.1 Um Estudo de Caso : Implantação de Projetos de Agricultura Irrigada

Para verificar o comportamento de sistema, elaboramos a proposta de um estudo de caso para o semi-árido do Nordeste brasileiro. Este caso servirá para modelar o desenvolvimento do sistema, cuja área geográfica foi escolhida em face da disponibilidade de dados que permitirão uma efetiva análise do seu comportamento, bem como por estar inserido no campo de estudo definido no projeto designado como WAVES. Nesse contexto, estabelecemos os seguintes critérios: a) disponibilidade hídrica (onde entra a chuva); b) degradação ambiental (desertificação; índice de vegetação; qualidade d'água); c) aspectos do tecido sócio-econômico (mudanças culturais; fluxos migratórios).

Os pesos atribuídos a cada critério pela preferência do decisor na satisfação do critério, será substituído por uma análise dos riscos envolvidos segundo vários critérios, a seguir.

2.2 O Cálculo de Riscos para a Agricultura Irrigada

Aqui, a finalidade é determinar quais são as possibilidades de ocorrerem níveis deficientes da disponibilidade de água para a agricultura, numa área irrigada. Considerando inicialmente uma situação determinística, um modelo básico para a gestão adequada de área a ser irrigada para cultivo envolve os seguintes fatores : a) determinação da disponibilidade de água em termos da precipitação prevista; b) o seu suprimento, ou oferta, por outros meios.

O problema de determinar a área ótima para irrigação, portanto, corresponderia a resolver o seguinte problema: $\text{Max } \{ x ; q(t) \geq w(t)x + p(t); t=1,2,\dots,n; x \geq 0 \}$, onde: $t = 1,2,\dots,n$ são períodos de tempo consecutivos, cobrindo o ciclo completo da cultura na área; $r(t)$ = altura da chuva naquela área; $w(t)$ = quantidade de água requerida pela cultura por unidade de área; $q(t)$ = disponibilidade de água para irrigação; $e(t)$ = evapotranspiração potencial; $q(t)$ = aporte total de água suplementar retirada de um manancial num período t ; x = área cultivada a ser irrigada; $p(t)$ = quantidade de água para outros consumos. Onde $w(t) = \{e(t) - r(t)\}$ se $e(t) > r(t)$; $w(t) = 0$, se $r(t) \geq e(t)$.

Para dar conta do efeito de “perda” hídrica, o segundo membro desta primeira equação deve ser multiplicada pela constante $\gamma > 1$.

Decerto, tem-se ainda uma situação que é extremamente simplificada, além de considerada de um ponto de vista determinista. Assim, o projeto de pesquisa, a rigor, deverá envolver ainda os seguintes fatores: (i) a questão da determinação do valor adequado da constante γ , em cada caso; (ii) estimativa de possível perda da água precipitada (ex: por “interceptação” pelas folhas); (iii) a magnitude das perdas da água ofertada através da irrigação; (iv) considerar, se for o caso, a separação da área x em subáreas x_1, x_2, \dots, x_K , para atender a K culturas distintas, sujeitas ou não a rotatividade nessas subáreas; (v) finalmente, a necessidade de apelar para uma técnica dinâmica de otimização e de controle ótimo. Por último, outra complexidade no modelo que será levada em conta, refere-se ao fato de que a chuva $r(t)$ e a própria disponibilidade hídrica suplementar $q(t)$, possuem um comportamento estocástico e, por esse motivo, precisam ser tratadas como variáveis aleatórias. Em problemas de decisão dessa natureza, lembremos, faz-se por vezes necessário empregar modelos de “programação dinâmica estocástica”; ver **XAVIER (1972)**.

2.3 Desertificação

Para delinear as fronteiras de zonas áridas e de zonas semi-áridas, impõe-se a necessidade de definir índices de aridez e/ou umidade que permitam objetividade em tal delimitação. Além da componente de natureza

climática, considerar-se-á pelo menos uma componente edáfica, envolvendo aspectos ligados à natureza e estado do solo, além de informações sobre sua cobertura vegetal.

Serão usados índices envolvendo aspectos ligados à reposição e à perda de umidade ao nível do solo, ou seja, incorporando informações relacionadas com o balanço hídrico. Sabe-se que no balanço hídrico há dois fatores básicos a serem considerados; um deles, expressando a reposição de água no solo, **P = precipitação**; o outro, expressando a perda de umidade, a qual necessitaria ser repostada pela chuva, ou seja: **ETP = evapotranspiração** (contabilizando as perdas reunidas de umidade, por evaporação livre e pela transpiração das plantas). A classificação de THORNTHWAITE é a classificação climática mais conhecida dentre as que utilizam elementos do balanço hídrico; tem como base os seguintes índices: a) Índice de Umidade: **Iu = 100 (EXC/ETP)**, se **EXC > 0**; b) Índice de Aridez: **Ia = 100 (DEF/ETP)**, se **DEF > 0**. Note-se que esses dois índices são expressados como um percentual do excedente ou da deficiência hídrica, comparativamente à evapotranspiração potencial. Para dois subperíodos no ano, um de excesso (estação chuvosa) e outro de deficit (estação seca), calcula-se em separado o índice de umidade **Iu** para a estação chuvosa e o de aridez **Ia** para a estação seca, o que permitirá calcular um índice efetivo de umidade ou índice hídrico, mediante a expressão: **I = Iu - 0,6 Ia**

Na definição dos critérios de uma zona climática faz-se uso de um conjunto de dados que incorpore informações sobre a variabilidade estacional dos parâmetros referentes ao balanço hídrico, sua variabilidade interanual e espacial, sem esquecer informações sobre a natureza, estado do solo e cobertura vegetal. Neste contexto remete-se às seguintes referências: **MAIO (1960)** e **TUBELIS (1988)**; sobre problemas e técnicas ligadas à climatologia da precipitação, ver: **XAVIER & XAVIER (1987)**, **(1989)**, **(1990)**; uma técnica importante refere-se ao emprego de quantis e ordens quantílicas, conforme: **XAVIER & XAVIER (1998)**.

2.4 Índice de Vegetação

A partir dos valores do índice de aridez, obtidos ou calculados para uma dada região,

torna-se viável aquilatar que tipo geral de vegetação ela poderia suportar. Portanto, o modelo incluirá um índice para acompanhar a evolução da cobertura vegetal, o NDVI ou "normalized difference vegetation index" (índice de vegetação de diferença normalizada), que expressa o "grau de verde" de cada área ("surface greenness").

O NDVI foi utilizado por **LIU & MASSAMBANI (1994)** para estudar a variabilidade da vegetação no Nordeste brasileiro ao longo do ano, permitindo visualizar claramente a flutuação da cobertura verde em vários períodos. O índice de vegetação (NDVI) é calculado a partir de dados coletados por satélite da série NOAA. Para esse fim, são consideradas as medidas R1 (correspondente ao canal CH1 = "vermelho") e R2 (ao canal CH2 = "infravermelho próximo"), definindo-se o índice como : $NDVI = (R2 - R1)/(R2 + R1)$. Este índice correlaciona-se bem com as características fundamentais da copa ("canopy") da vegetação, principalmente no que diz respeito à superfície relativa dos fito-elementos".

2.3. Qualidade da Água:

Experiências no Brasil e no exterior têm mostrado que o gerenciamento impróprio de atividades do sistema hídrico, especialmente em áreas frágeis e semi-áridas, podem ter conseqüências ambientais negativas. Enquanto técnicas de sensoriamento remoto e estudos de geomorfologia fluvial podem ser úteis para alcançar mudanças a longo prazo na paisagem devido à erosão e desertificação, essas metodologias oferecem apenas indicadores secundários de mudanças na qualidade da água dos rios, como resultado de ações impostas por um programa de gerenciamento de água.

Este estudo de caso incluirá a avaliação da qualidade da água de uma bacia hidrográfica, segundo o escoamento superficial de sais e resíduos tóxicos provenientes de atividades agrícolas irrigadas. No modelo, a qualidade da água será introduzida através de mapas geo-referenciados produzidos a partir de modelos dinâmicos formados por componentes distintos da hidrodinâmica de rios e parâmetros de qualidade de água em reservatórios (nutrientes, sedimentos químico-orgânico).

3. CONCLUSÃO

Os resultados desse projeto proposto proporcionarão um sistema operacional interligado de dados de computador, Sistema Geográfico de Informação (GIS) e uma série de modelos para possibilitar ao gestor público em áreas semi-áridas a tomada de decisões que busquem o desenvolvimento sustentável, correlacionando recursos hídricos, simulação climatológica, questões ambientais e sócio-econômicas etc., numa visão integrada.

Esse sistema será acoplado a uma série de Bancos de Dados, possibilitando a operação de vários modelos e o desenvolvimento uma metodologia integrada de gerenciamento público que privilegie o bem mais escasso nas regiões semi-áridas, a água. Os modelos serão escritos em programas computacionais na plataforma "WINDOWS". O acesso aos dados será feito através do "GIS", o qual será capaz de mostrar graficamente os resultados de simulações em áreas-chaves. A idéia é de se instalar esse sistema na FUNCEME e na UNIFOR e se operar o sistema num período de teste e avaliação durante o estágio final do projeto.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERGAMASCHI, H. et al (1992), *Agrometeorologia Aplicada à Irrigação*. Editora da Univ. Fed. Do R.G. do Sul.
- BRANS, J. P. & VINCKE, P. (1985), *A preference ranking organisation method*. *Management Science*. V. 31. n.6.
- CHARNEY, A. & COOPER, W. (1961), *Management models and industrial applications of linear programming*. New York, John Willey.
- HASHIMOTO, T., STEDINGER, J.R., LOUCKS, D.P. (1982), *Reliability, Resiliency and Vulnerability Criteria For Water Resource System Performance Evaluation*. *Water Resources Research*, vol. 18, n.1.
- LOUCKS, D.P (1992), *Water resources systems models: Their role in planning*. *ASCE Journal of Water Resource Planning and Management*, vol. 118, n. 3.

- LOUCKS, D.P. & COSTS, J.R.(1991), Decision support systems: Water resources planing. Berlin: Springer-Verlag.
- KOO, D. (1977), *Elements of Optimization (With Applications in Economics and Business)*, Heidelberg Science Library, Springer Verlag, N.Y.-Berlin-Heidelberg.
- LIU, W. T. H., MASSAMBANI, O. (1994), *Satellite Recorded Vegetation Response to Drought in Brazil*, International J. of Climatology, vol.14.
- MAIO, C.R. (1960), Considerações sobre os Índices de Aridez do Nordeste do Brasil, C.R. do XVII-ème Congrès Internat. de Géographie, Rio de Janeiro, 1956, tome 2, pp. 564-589.
- MAJOR, D.C. (1977), *Multiobjective Water Resource Planning*. Water Resources monograph, Washington, n.4.
- McKAUGHAN, S.E. (1997), *Planning Methodology Guide to Sustainable Development*, Projeto BRA 930-936 Plano Nacional de Combate à Desertificação, Min. do Meio Ambiente e Amazonia Legal, Brasilia
- Meta Systems, Inc. (1975), *Systems Analysis in Water Resources Planning*, Water Information Center, N.Y.
- PORTO, R.L., (Org.) (1997), *Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos*, ABRH - Editora da Univ. Fed. do R. G. do SUL.
- ROY, B. (1971), *Problems and methods with multiple objective functions*, Mathematical Programming, n.1.
- SAATY, T. L. (1977), *A scaling method for priorities in hierarchial strutures*. Journal of Mathematical Psychology, vol.15.
- SCHWEIGMAN, S. (1985), *Operations Research Problems in Agriculture in Developing Countries*, Khartoum Univ. Press, Karthoum-Sudan / Tanzania Publ. House, Dar Es Salaam-Tanzania, 1985.
- TECLE. A. & DUCKSTEIN, L. (1994), *Concepts of Multicriterion Decision Analysis, in Multicriteria Decision Analysis in Water Resources Mangement*, ed. J.Bogardi e H.P. Nachnebel, Unesco, Paris.
- TUBELIS, A. (1988), *A Chuva e a Produção Agrícola*, Livr. Nobel S.A., São Paulo.
- XAVIER, T.de Ma.B.S. (1972), *Programação Dinâmica Estocástica*, Tese de Mestrado, 95 pp., IME - Universidade de São Paulo.
- XAVIER, T. de Ma.B.S. & XAVIER, A.F.S. (1987), Classificação e Monitoração de Períodos Secos e Chuvosos e Cálculo de Índices Pluviométricos para a Região Nordeste do Brasil, *Revista Brasileira de Engenharia / Cadernos de Recursos Hídricos*, Volume 5, N?2, pp.7-31.
- XAVIER,T. de Ma.B.S. & XAVIER, A.F.S. (1989), *Caracterisation et Moniteurisation des Periodes Sèches et Pluvieuses au Nord-Est du Brésil*, pp. 93-99 [Em : *Bret, B., Coord., LES HOMMES FACE AUX SECHERESSES - NORDESTE BRÉSIL IEN ET SAHEL AFRICA IEN, IHEAL & EST, Coll. IHEAL, No. 42 / Série Thèses et Colloques, No. 1 , Institut. des Hautes Études de l'Amérique Latine, Univ. de Paris III / Nouvelle Sorbonne , Paris*].
- XAVIER, T. de Ma.B.S. & XAVIER, A.F.S. (1990), *Binary Filtering for the Study of Persistence and Alternance of Dry and Wet Years in Northeast-Brazil; Extended Abstrats of Papers Presented at the 3d WMO SYMPOSIUM ON METEOROLOGICAL ASPECTS OF TROPICAL DROUGHTS WITH EMPHASIS ON LONG-RANGE FORECASTING; Niamey-Niger (Tropical Meteorology Research Programme Report Series). Report N 0 36 / WMO/TD-N 0 353*.
- XAVIER, T. de Ma.B.S. & XAVIER, A.F.S. (1998), *Quantis para Séries Pluviométricas do Estado do Ceará e Caracterização de Períodos Secos ou Excepcionalmente Chuvosos: 1964-1998*, submetido à Revista Brasileira de Meteorologia (pre-print em CADERNOS ATENA, No. 8, 1998).
- YEVJEVITCH, V. (1972), *Stochastic Processes in Hydrology*, Water Res. Publ., Fort Collins Colorado.
- YU, P. (1973), *A Cass of Decision Problems for Group Decision Problems*, Management Science, n.19.