

**CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA : Sustentabilidade ambiental no semi-árido brasileiro.  
João Pessoa – PB, 31-7 a 4-8-2006**

**ADERALDO DE SOUZA SILVA**

**Eng<sup>o</sup>. Agrônomo, M.Sc., Doutor, Embrapa Semi-Árido, Petrolina – PE, Fone: (0xx87)  
3862.2554, [aderaldo@cpatsa.embrapa.br](mailto:aderaldo@cpatsa.embrapa.br).**

**LUIZA TEIXEIRA DE LIMA BRITO**

**Eng<sup>o</sup>. Agrícola, M.Sc., Doutora, Embrapa Semi-Árido, Petrolina – PE, Fone: (0xx87) 3862.1711,  
[luizatlb@cpatsa.embrapa.br](mailto:luizatlb@cpatsa.embrapa.br).**

Escrito para o Curso de Captação de Água de Chuva no  
XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola  
31 de julho a 4 de agosto de 2006 – João Pessoa – PB.

**RESUMO** – Este curso trata de introduzir o conceito de sustentabilidade ambiental nos programas de Pesquisa, Desenvolvimento e Informação (PD&I) que envolvem as tecnologias de Captação de Água de Chuva. O acervo tecnológico hoje existente de convivência com adversidade agroecológica do semi-árido brasileiro é uma realidade, especialmente no tocante a captação, armazenamento e uso das águas pluviais para o consumo doméstico, face ao êxito do Programa cisternas do Ministério de Desenvolvimento Social, em parceria com a “Articulação do Semi-Árido - ASA”. Entretanto, acredita-se que os atores envolvidos no processo, necessitam oferecer um segundo passo, tendo como princípio básico quatro linhas de gestão das águas. A primeira que aborde água potável para cada família (já em execução), a segunda considere a água comunitária, a terceira se preocupe com a água utilizada na agricultura familiar e a quarta atenda estrategicamente a água emergencial., visando a segurança alimentar por meio do acesso e manejo sustentáveis da terra e das águas de usos múltiplos. Para formatar as quatro linhas de gestão das águas, este curso considera o conceito de desenvolvimento sustentável no sentido de garantir para as gerações futuras os recursos naturais escassos do semi-árido brasileiro e a sua convivência, relevante para a região. Assim, disserta-se em um primeiro momento o acervo tecnológico hoje existente, seguido da base conceitual sobre indicadores de sustentabilidade ambiental extensiva a qualquer bacia, sub-bacia e/ou micro-bacia hidrográfica de regiões áridas e semi-áridas. exemplificando-se, finalmente, as experiências práticas, já realizadas, utilizando-se a metodologia proposta para a convivência com o semi-árido brasileiro.

**PALAVRAS-CHAVE:** Microdados, território, análise multidimensional.

## INTRODUÇÃO

Por ocasião do “Projeto de Implantação do CPATSA”, os projetos previstos para execução – Inventários dos Recursos Naturais, Desenvolvimento de Sistemas de Produção para Áreas Irrigadas, Sequeiro e Manejo da Caatinga – estavam fortemente influenciados pelas diretrizes do Governo Federal que, pela primeira vez, estabelecia prioridades de pesquisas para o semi-árido. Desde a sua criação, datado de 02 de julho de 1975, a Embrapa Semi-Árido (CPATSA) estabeleceu linhas de pesquisa que geraram tecnologias e informações que possibilitam ajudar na viabilização do desenvolvimento sustentável da região. A seguir relaciona-se as principais tecnologias apropriadas ao semi-árido:

• <i>Barragem subterrânea;</i>
• <i>Barramento de água de estradas e caminhos;</i>
• <i>Barreiro trincheira (Caxio);</i>
• <i>Barreiros para irrigação de salvação;</i>
• <i>Cacimbas ou poços rasos;</i>
• <i>Caldeirão (Tanque de pedra);</i>
• <i>Cisterna adaptada para a roça;</i>
• <i>Cisternas domiciliares rurais;</i>
• <i>Pequenos açudes;</i>
• <i>Sulcos em nível (Captação de água de chuva in situ).</i>

O ambiente semi-árido do nordeste brasileiro é diversificado nos seus recursos naturais e complexo na convivência do homem com o seu clima seco e quente, constituindo-se num fator limitante para a produção agropecuária dependente de chuvas, daí a necessidade de alternativas tecnológicas que aumentem a disponibilidade de água para o consumo humano, animal e produção de alimentos, como preconizado no programa P1+2, que significa “1” é a terra e o “2” é traduzido como uma água para consumo humano e a outra para produção de alimentos

O acervo tecnológico hoje existente de convivência com adversidade agroecológica do semi-árido brasileiro é uma realidade, especialmente face ao êxito dos programas sociais dos governos federal, estaduais e municipais, a partir do Programa cisternas do Ministério de Desenvolvimento Social, em parceria com a “Articulação do Semi-Árido - ASA”, FAGRO - Embrapa Semi-Árido; FAO, 2006.

Este acervo tem como principio básico quatro linhas de gestão das águas. A primeira trata da água potável para cada família, a segunda considera a água comunitária, enquanto a terceira preocupa-se com a água utilizada na agricultura e a quarta atenta estrategicamente para a água emergencial. Isto, objetivando a segurança alimentar por meio do acesso e manejo sustentáveis da terra e das águas de usos múltiplos, como preconizado no programa P1+2.

A Embrapa Semi-Árido e as Organizações Não-Governamentais, se propuseram a suprir a deficiência de água para diferentes usos no meio rural: consumo humano, animal e produção agrícola. Nesse sentido diferentes alternativas tecnológicas foram desenvolvidas e/ou adaptadas às condições semi-áridas brasileiras, visando o armazenamento e uso das águas de chuva. Entre elas estão:

**1) Cisterna domiciliares rurais** – è um reservatório, fechado, para armazenar água de chuva captada de telhados dos domicílios ou no próprio solo, revestido com materiais impermeáveis, que objetiva aumentar a disponibilidade e melhorar a qualidade das águas para consumo humano. O sistema é formado por um tanque de armazenamento, em geral, cilíndrico, área de captação e um dispositivo de

bombeamento. Na atualidade, as ONGs estão implementando a captação, armazenamento e uso da água pluvial para fins doméstico, atividade esta sem precedentes no semi-árido brasileiro (Figura 1) (ASA, 2005).

Antes do MDS/P1MC-ASA, a maioria das famílias do Semi-Árido era atendida por meio de carros-pipa, ou buscando água a longas distâncias, sem garantia tanto da disponibilidade e, muitas vezes sem qualidade adequada ao consumo humano.



**Figura 1.** Cisterna para garantir água para o consumo familiar, Petrolina-PE.

A quantidade de água que uma pessoa precisa para beber e realizar suas atividades básicas - cozinhar e higiene mínima, como lavar o rosto - é de 14 litros por dia (Silva et al., 1985), representada na equação abaixo pelo consumo da família ou das pessoas que utilizam a água da cisterna para beber ( $c$ ). Assim, para dimensionar o consumo de água da família, deve-se conhecer o número total de pessoas ( $n$ ) que irá utilizar a água da cisterna, bem como o período sem chuvas na região considerada. No dimensionamento do volume total de água para as famílias, deve ser considerado um período ( $p$ ) de 240 dias por ano sem chuvas. Logo, o volume total ( $V$ ) é dado pela seguinte equação:

$$V = n * c * p \quad (m^3) \quad (1)$$

em que:

$V$  = volume de água necessário para uma família ( $m^3$ );

$n$  = número total de pessoas da família (número de pessoas);

$c$  = consumo médio por pessoa, por dia. No meio rural, em média, esse consumo é estimado em 14 litros de água por dia por pessoa (L);

$p$  = período sem chuvas, considerado de 240 dias por ano.

No dimensionamento da área de captação ( $A_c$ ), além do volume ( $V$ ) de água a ser armazenado na cisterna para atender às necessidades das famílias, é preciso conhecer, também, a precipitação ( $P$ ) que ocorre no município e a eficiência do escoamento superficial ( $C$ ) da água. Para áreas cobertas com telhas de cerâmica, esse valor corresponde a 0,70. A área de captação ( $A_c$ ) é calculada pela equação a seguir:

$$A_c = \frac{V}{P * C} \quad (2)$$

em que:

$P$  = precipitação média dos anos mais secos (mm);

$C$  = coeficiente de escoamento superficial (decimal).

Geralmente, no semi-árido brasileiro, apenas 3 em cada 10 anos são considerados normais quanto às precipitações pluviométricas. Daí a importância de se considerar essa variável no dimensionamento de estruturas hídricas. Logo, municípios com maiores valores de precipitações necessitarão de menores áreas de captação para um mesmo volume de água a ser armazenado.

Para maior garantia de água nos anos de poucas chuvas, os sistemas de captação de água de chuva devem ser dimensionados tendo como base a precipitação média dos anos mais secos, cujo valor corresponde a  $P_{25}^{\circ}$  percentil (mm), aproximadamente.

Para exemplificação deste tema, foram considerados dois municípios do Estado da Bahia, com valores de precipitações extremos: Casa Nova e Teofilândia. Os dados de chuva para esses municípios corresponderam às séries de 22 e 18 anos, com 5 e 11 anos secos (considerados a  $25^{\circ}$  percentil), respectivamente. As precipitações médias anuais corresponderam a 384,95 mm para Casa Nova e 1.564,35 mm para Teofilândia, cujas médias dos valores das precipitações são a  $P_{25}^{\circ}$  percentil (mm) são 282,93 e 1.316,0 mm.

Considerando o número total de pessoas por famílias variando de 1 a 11 para Casa Nova e de 2 a 13 para Teofilândia, verifica-se que os volumes necessários para atender a essas famílias variam de 3,36 a 36,96 e de 6,72 a 43,68 m<sup>3</sup> por família, portanto não apresentam diferenças significativas. No tocante às áreas de captação ( $A_C$ ), como varia em função da precipitação pluviométrica, podem ocorrer variações significativas nos tamanhos da  $A_C$  para captar o mesmo volume de água, ou seja, um volume de água necessário ( $V_{NEC}$ ) para quatro pessoas corresponde a 13,40 m<sup>3</sup>, enquanto as áreas de captação ( $A_C$ ) podem variar de 14,41 a 67,0 m<sup>2</sup>, para os municípios Casa Nova e Teofilândia (BA), respectivamente.

Padrões de qualidade de água para consumo humano, indústria e irrigação variam enormemente. Para consumo humano, a legislação brasileira, por meio da Portaria N<sup>o</sup>. 518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde, dispõe que “toda água destinada ao consumo humano deve obedecer ao padrão de potabilidade e está sujeita à vigilância da qualidade da água”, e define como água potável “aquela cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos atendam ao padrão de potabilidade, e não ofereça risco à saúde” (Brasil, 2004). Para garantia da qualidade, a água deve ser filtrada e tratada com cloro.

- Filtragem da água – a água da cisterna destinada ao consumo humano deve ser filtrada. Os filtros podem ser os comumente encontrados no comércio, ou outros tipos caseiros. Recomenda-se manter as velas sempre limpas e trocá-las sempre que necessário;
- Tratamento com cloro – a água deve ser clorada em um reservatório de menor tamanho, que deve ficar localizado na cozinha. A recomendação para a cloração é de 02 colheres de sopa de hipoclorito de sódio (10%) para cada 1.000 litros de água armazenada, misturando-se bem. Após 30 minutos, a água já pode ser consumida (Amorim e Porto, 2001).

Em diferentes pesquisas realizadas pela Embrapa Semi-Árido foram identificados riscos de contaminação das águas armazenadas nas cisternas, dada a presença de coliformes fecais e totais. Diante disto, há necessidade de capacitação das famílias com relação ao manejo adequado da água, visando reduzir os riscos de contaminação. Para reduzir os riscos de contaminação, as famílias não devem ter contato direto com a água da cisterna e, para isto, é essencial que todas as cisternas tenham bomba manual e que a água seja tratada.

**2) Barragem subterrânea** – é uma estrutura hídrica que visa interceptar o fluxo de água superficial e subterrâneo por meio de um septo impermeável (lona plástica, muro de pedras ou de argila compactada, etc.), a qual serve como alternativa tecnológica para o aproveitamento das águas pluviais, evitando-se que escoem na superfície do solo, onde podem causar erosão, além de não poderem ser utilizadas posteriormente.

As águas pluviais nas barragens subterrâneas (Figura 2) são armazenadas no perfil do solo, de forma a permitir a criação ou a elevação do lençol freático existente, possibilitando a exploração de uma agricultura de vazante, prática comum nos leitos dos rios secos e nas vazantes dos açudes existentes nos sertões, seridós e cariris nordestinos. Os custos de implantação variam em função de fatores tais

como comprimento da parede, material utilizado, profundidade da camada impermeável e disponibilidade de mão-de-obra na família (Brito, 1989). O manejo da água e do solo pode ser efetuado em curva de nível à medida que a água vai baixando no perfil do solo.

No início dos anos 80, a Embrapa Semi-Árido introduziu novos materiais na construção da parede da barragem, também conhecida como septo impermeável. Também procurou a utilização de novas culturas, como milho, feijão, sorgo e espécies frutícolas, como manga, goiaba, acerola e limão. A barragem subterrânea é uma tecnologia simples, porém requer um manejo adequado para sua operação e manutenção.



**Figura 2.** Barragem subterrânea: Campo Experimental da Embrapa Semi-Árido.

**3) Sistemas de captação in situ** - técnicas de preparo do solo, como a captação in situ, são as mais recomendáveis, porque além de aumentar a disponibilidade de água no perfil do solo, conservam tanto o solo quanto os fertilizantes no próprio local de plantio. O método tradicional de cultivo, que consiste da semeadura em covas, é capaz de armazenar pequena quantidade de água de chuva e é um sistema aparentemente pouco agressivo ao ambiente, mas como o solo não foi preparado (arado) antes, sua superfície apresenta-se ligeiramente compactada, dificultando a infiltração da água no solo e, assim, possibilitando o escoamento superficial, que contribui para o processo erosivo do solo.

Existem vários métodos de captação de água de chuva in situ, tanto usando tração mecânica quanto animal (Anjos, 1985). Entre eles:

- Aração e plantio no plano: aração total da área e semeadura no plano - forma pequenas ondulações no perfil do solo. Este sistema consiste da utilização de arados a tração animal ou a tração motora;
- Sulco barrado: consiste de uma aração e sulcamento do solo no espaçamento de 0,75m, seguido da operação de barramento, que são pequenas barreiras que têm por finalidade impedir o escoamento da água de chuva. Para isto, foi desenvolvido um barrador de sulco tracionado por um só animal, viabilizando a adoção da tecnologia pelos pequenos agricultores;



**Figura 3.** sulcos barrados, Embrapa Semi-Árido, Petrolina-PE.

- Guimarões Duque: consiste na formação de sulcos, seguidos por camalhões altos e largos, formados por meio de cortes efetuados no solo em curva de nível, usando um arado de disco reversível com 3 discos. Para confecção dos sulcos, recomenda-se retirar o disco que fica mais próximo dos pneus traseiros do trator.



**Figura 4.** Captação in situ - Guimarões Duque, Embrapa Semi-Árido, Petrolina-PE.

A captação de água de chuva in situ é uma técnica simples e apresenta baixos custos de implantação. No entanto, estes custos são muito variáveis e dependem, principalmente, do equipamento, seja a tração animal ou mecânica, como também do método utilizado.

**4) Irrigação de salvação** - no semi-árido brasileiro o plantio ocorre após as primeiras chuvas e é muito comum a ocorrência de veranicos, isto é, períodos de 20 a 30 dias sem a ocorrência de novas chuvas, o que pode comprometer seriamente as culturas nas suas fases de desenvolvimento vegetativo e produção. Daí, a necessidade da aplicação de lâminas de água adequadas para atender às necessidades hídricas das culturas a serem exploradas nos períodos de veranicos (Silva e Porto, 1982).

Nas condições climáticas de Petrolina-PE, um reservatório com capacidade para 3.000 m<sup>3</sup> de água é suficiente para atender as necessidades de água das culturas de milho e caupi em uma área de 2,0 ha, com os veranicos que normalmente ocorrem. O barreiro para uso da irrigação de salvação constitui-se de uma pequena barragem de terra, formada por uma área de captação (Ac), um tanque de armazenamento (Ta) e uma área de plantio (Ap) (Figura 5). A água é aplicada por gravidade na área irrigada, sendo os sulcos abertos com pequena declividade.



Em anos normais de precipitações pluviométricas essa tecnologia pode permitir a exploração de dois ciclos de cultura, sendo o primeiro de forma tradicional, isto é, com a cultura sendo explorada com a água da chuva, e o segundo, utilizando-se a água que fica armazenada no reservatório para irrigação complementar.

**Figura 5.** Barreiro para Irrigação de salvação, Embrapa Semi-Árido, Petrolina-PE.

*Barreiro para consumo animal* - para suprir as necessidades hídricas dos rebanhos a Embrapa Semi-Árido recomenda a construção de pequenas barragens de terras ou barreiros compartimentados, como apresentado nas Figura 5 e 6 (sem a área de plantio).



**Figura 6.** Barreiro para consumo animal, Embrapa Semi-Árido, Petrolina-PE.

**5) Caldeirão (Tanque de pedra)** – tecnologia que aproveita as águas pluviais nas fendas dos afloramentos do embasamento cristalino, no semi-árido brasileiro, denominado de caldeirões segundo Schistek (1999). Normalmente, nas fendas, a parte mais profunda está sempre cheia de terra e cascalho. Essas cavidades bastam ser desobstruídas para formar um reservatório de água. Os caldeirões em forma de trincheiras, com pequena largura, e grande comprimento e profundidade, são os que tem melhores condições de eficiência de estocagem da água por longo período, em decorrência da reduzida área de evaporação (Figura 7).

Ribeiro (2005) ressalta que, o uso de caldeirões tem limitações decorrentes dos condicionantes geológicos. A sua localização natural, muitas vezes é distante dos domicílios e praticamente não podem ser ampliados. E por serem descobertos, são vulneráveis a poluição e contaminação microbiológica.

**6) Caxio (Barreiro trincheira)** – é um reservatório aberto (Schistek, 1999), de forma prismática, com profundidade variável, escavado manualmente na proximidade de uma baixada, ou de uma vertente natural, em locais onde existe uma camada de rocha em decomposição, denominada de piçarra. Deve-se evitar o curso principal das águas, por causa do assoreamento. A construção de um caxio é uma tarefa de vários anos. Possuindo um septo no meio, utiliza-se a água da parte mais rasa e prossegue o aprofundamento da outra parte durante toda a época de estiagem. São cercados, para evitar acidentes e a competição com animais. Muitas vezes são encontrados caxios separados para uso de água pelos animais. A qualidade da água costuma ser barrenta, mas translúcida (Figura 7).



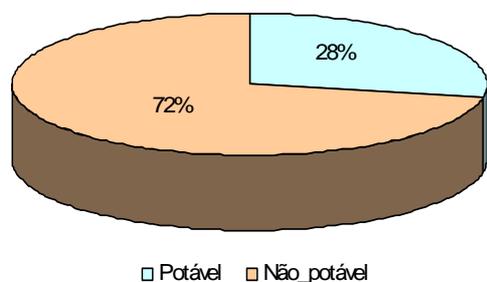
**Figura 7.** Caldeirão (Tanque em pedra) e caxio compilados de Ribeiro, 2005.

As tecnologias mencionadas sofreram aperfeiçoamento e adequação em função das diversas unidades geoambientais (territórios) existentes em âmbito regional, onde as Organizações Não-Governamentais co-participes da sociedade civil organizada, representadas pela Articulação do Semi-Árido (ASA), agregaram inúmeras inovações, sobretudo na última década, a semelhança do Programa Cisternas do MDS/PIMC-ASA, FAGRO-Embrapa Semi-Árido; FAO, 2006.

Na atualidade, acredita-se que o papel da pesquisa voltada para *Captação de Água de Chuva*, seja a priorização de estudos na área ambiental, enfocando os impactos do uso das tecnologias mencionadas anteriormente, já disponibilizadas pelas mais diversas entidades para o semi-árido brasileiro.

Os problemas sobre a degradação ambiental aumentaram durante a última metade do século vinte, ocorrendo um entendimento mais claro sobre o homem e sua dependência dos serviços fornecidos pelos sistemas terrestres físicos, químicos e biológicos, com conseqüências da ação humana na modificação desses sistemas. A atual extensão espacial dos impactos antropogênicos, combinada com o aumento em sua intensidade, têm colocado em perigo a estrutura e o funcionamento dos sistemas ambiental e sócio-econômico (Lubchenco, 1998; WAS, 2000).

Por exemplo, como resultado dos impactos antropogênicos, cita-se que, em estudos recentes realizados pela Embrapa Semi-Árido em 18 municípios (*Afrânio, Araripina, Bodocó, Cedro, Dormentes, Exú, Granito, Ipubí, Lagoa Grande, Moreilândia, Ouricuri, Parnamirim, Petrolina, Salgueiro, Santa Cruz, Santa Filomena, Serrita e Trindade no Estado de Pernambuco e o município de Casa Nova no Estado de Bahia*), observou-se que os municípios avaliados, por um lado, são as respostas de pujança para um dos ecossistemas mais árido do país, movidos pelo agronegócio da irrigação, entretanto em termos de degradação ambiental, as populações beneficiárias de programas sociais do governo federal, estadual e municipal, residentes nas áreas rurais dependente das águas pluviais (precipitações pluviométricas) são servidas por águas, em sua maioria, sem nenhum controle de qualidade.



O estudo, quanto aos aspectos bacteriológicos, revelou que de todas as fontes de água principais analisadas (açudes, poços, rios, barragens, barreiros, cacimbas, etc.), utilizadas para consumo humano na região dos municípios citados, (Figura 8) apenas 28% apresentam qualidade adequada ao consumo humano, de acordo com Portaria N<sup>o</sup>. 518, do Ministério da Saúde. As demais apresentam riscos de contaminação por bactérias heterotróficas.

**Figura 8.** Proporção da potabilidade das fontes hídricas no sertão de Pernambuco.

Os estudos ambientais envolvem áreas de conhecimento, tais como: geografia, limnologia, hidrogeologia, geoquímica, ciência da informação, biologia, matemática, economia, gestão ambiental, sociologia, antropologia, agronomia, engenharia, cartografia, ecologia, etc., conforme a complexidade dos estudos a serem realizados para um dado projeto.

Na prática, as equipes de trabalho, nem sempre dispõem de especialistas para realização de estudos específicos, por este motivo, sugere-se que seja dado ênfase a construção de indicadores de sustentabilidade ambiental, que possibilitem um melhor entendimento das reais demandas das famílias rurais por localidade (comunidade rural) e por território (Unidade Geoambiental). Também, são importantes a obtenção de avaliações ambientais prévias das tecnologias demandadas e a elaboração de projetos executivos em bases sustentáveis, que permitam o monitoramento e avaliações socioambientais de tecnologias específicas e/ou de sistemas de produção (SIPs) no tempo e espaço.

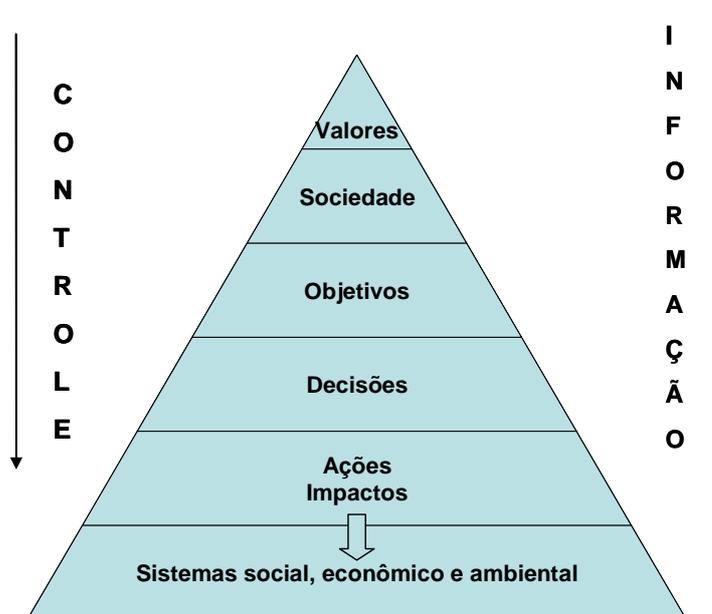
A proposta metodológica sugerida neste documento, não é excludente da necessidade de se continuar na geração e adaptação de tecnologias apropriadas de convivência com o semi-árido, mas tem como objetivo primordial, sinalizar a carência de investimento na geração de indicadores que facilitem o entendimento do manejo tecnológico dos recursos naturais e socioeconômicos em bases sustentáveis (desenvolvimento sustentável), nos mais diversos níveis hierárquicos de tomada de decisão, a partir de representantes da própria comunidade alvo.

Sabe-se que os indicadores de sustentabilidade podem servir de base para uma melhor compreensão do ambiente, da economia e da sociedade de um determinado território objeto do estudo, e a interação entre estas três dimensões.

Portanto, a ciência física não é a única resposta a obtenção da sustentabilidade no manejo dos recursos naturais, cultural e institucional. É essencial compartilhá-la com a ciências sociais para que a sociedade disponha de informações necessárias para manejar os recursos, dissemine informações de uma maneira politicamente neutra e prepare seus representantes, tomadores de decisão e o público alvo, sobre a construção de um futuro sustentável.

O desenvolvimento sustentável precisa estar fundamentado em uma visão compreensiva e inclusiva, isto é, pós-moderna destes sistemas como aberto, dinâmico e integrado. Quando as instituições fazem o planejamento para o desenvolvimento sustentável, eles tomam decisões que mantêm os objetivos da sustentabilidade, as quais devem ser amparadas pelo conhecimento dos cientistas.

Os conhecimentos gerados pelas instituições de pesquisa aumentam o entendimento sobre os sistemas, fornecem dados sobre o seu desempenho atual e identificam os alvos para que se alcance o desempenho desejado. Portanto, o desenvolvimento sustentável é uma área onde é importante o uso de indicadores como ferramentas de avaliação analítica, explanatória, de planejamento comunicação e desempenho (NRC, 2001). Nesse trabalho é defendido que os indicadores de sustentabilidade somente são efetivos se incorporarem o parâmetro social e se mantiverem os usuários com a informação necessária, de forma que possam entendê-la e relacioná-la (Figura 9).



**Figura 9:** Fluxo do controle e da informação. Modelo hierárquico de manejo de recursos (Shields & Mitchell, 1997).

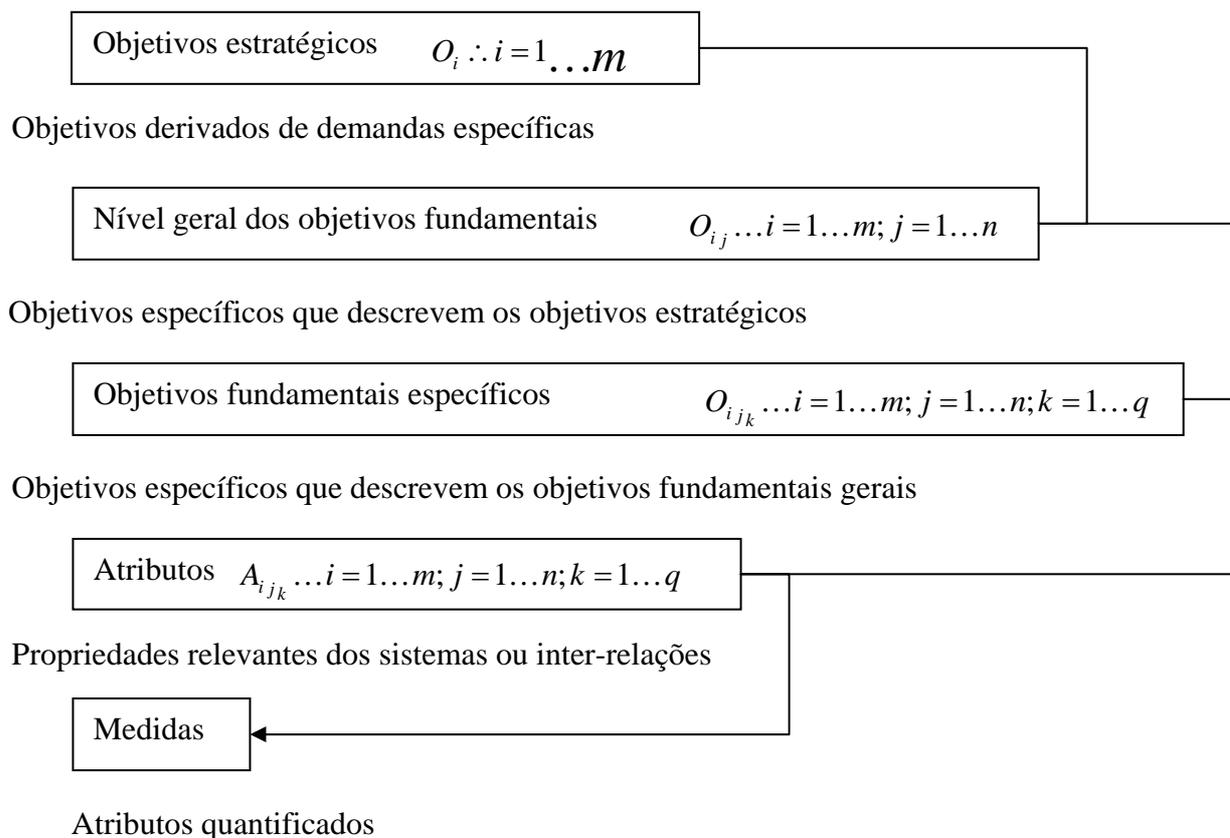
O modelo de controle hierárquico é usado para demonstrar os passos dos valores aos objetivos e às ações e impactos. O modelo de manejo de recursos desenvolvido por Shields & Mitchell (1997) exemplifica o modelo de sistema hierárquico. Ele reflete dois aspectos básicos: 1) os objetivos são reflexos da aplicação contextual do grupo de valores dos indivíduos; 2) os objetivos de manejo somente fazem sentido dentro do contexto do sistema social humano. Consistente com este ponto de vista, os valores são colocados no topo da hierarquia. Esses valores influenciam e são influenciados pela rede cultural, social, institucional e econômica, dentro da qual o indivíduo vive e, por meio do processo hierárquico, torna-se um grupo de valores ordenados.

Colocado neste contexto, o grupo de valores é o fator primário que influencia a seleção individual e o ordenamento dos objetivos. Assume-se que, pelo menos em teoria, as decisões e ações são tomadas no sentido de encontrar os objetivos propostos e que as ações têm impactos, que podem ser medidos e identificados, nos sistema social, econômico e ambiental.

Há uma inter-relação ordenada entre os objetivos e medidas. Um objetivo é uma indicação de que há um desejo de encontrar algo e é caracterizado por um contexto (neste caso recursos naturais), um objeto (uma ação alternativa) e uma direção de preferência (Keeney, 1992). As informações nos objetivos podem ser organizadas de duas maneiras: a) como hierarquia do objetivo fundamental, ou b) como uma rede.

A tradicional hierarquia de objetivos fundamentais é uma representação dos objetivos individuais ou grupos de objetivos, em forma de árvore (Caldwell, 1990; Keeney & Raiffa, 1976). Os objetivos estratégicos estão localizados no nível geral (mais alto) e, cada objetivo estratégico é então subdividido em objetivos específicos (de níveis mais baixos), com maior quantidade de detalhes, portanto, facilitando o entendimento dos objetivos que estão no nível geral. Finalmente, são dados atributos para os objetivos específicos, na estrutura da árvore. Um atributo é uma propriedade relevante de um sistema ou uma entidade, ou uma inter-relação relevante dentro ou entre Sistemas (Moon et al., 1998).

Na hierarquia da Figura 10, há  $O_i$  (onde  $i=1, \dots, m$ ) objetivos estratégicos. Cada objetivo estratégico é explicado com  $O_{ij}$  ( $j=1, \dots, n$ ) objetivos fundamentais localizados no nível geral. Estes objetivos podem por sua vez ser descritos mais detalhadamente por meio de vários  $O_{ijk}$  ( $k=1, \dots, q$ ), ou seja, objetivos específicos em um nível inferior. Neste arranjo invertido de árvore, os atributos são dados para os pares, isto é, os objetivos do nível inferior ( $A_{ijk}$ ).

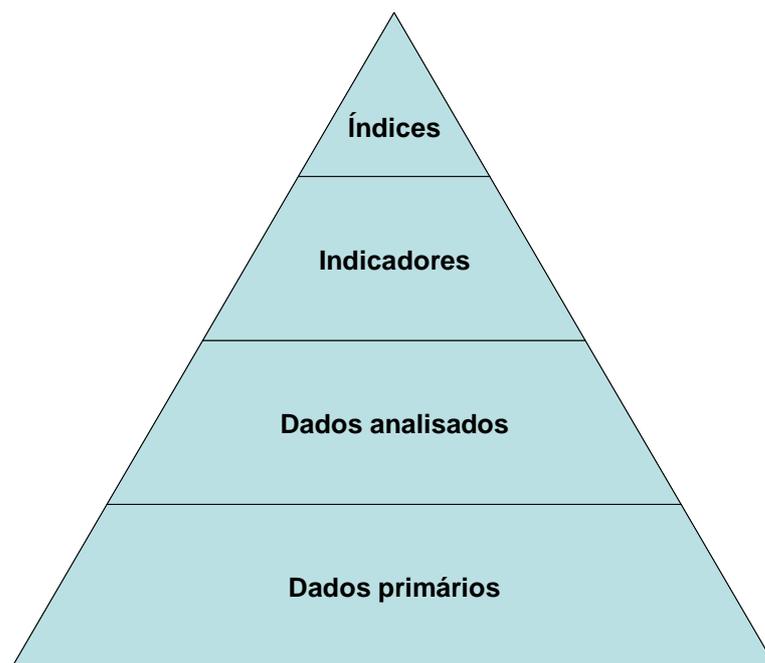


**Figura 10:** Hierarquia dos objetivos fundamentais

O grupo de atributos associado com um objetivo específico descreve um importante aspecto deste objetivo. Posteriormente, os atributos podem ser combinados em uma função matemática, algumas vezes chamada de função valor, que quantifica a importância relativa dos vários atributos através dos pesos dados.

A estrutura hierárquica dos objetivos, atributos e medidas é análoga à estrutura hierárquica dos índices. Em ambos os casos, os dados são a base da hierarquia. Estes dados, chamados medidas finais em algumas disciplinas, fornecem informações sobre o estatus e o funcionamento do sistema. Contudo, os dados primários são as bases para as análises.

O significado dos dados emerge através das análises, portanto, os dados analisados são significativos para o público geral, tomadores de decisão ou mesmo aos próprios cientistas. Assim, quando os dados são condensados, sua utilidade torna-se maior para uma determinada informação, que será repassada aos diferentes agentes de assistência técnica (Emmert, 1996). A redução progressiva dos dados é mostrada na pirâmide seguinte (Figura 11) representando a progressão hipotética dos dados analisados, para indicadores e, posteriormente para índices.



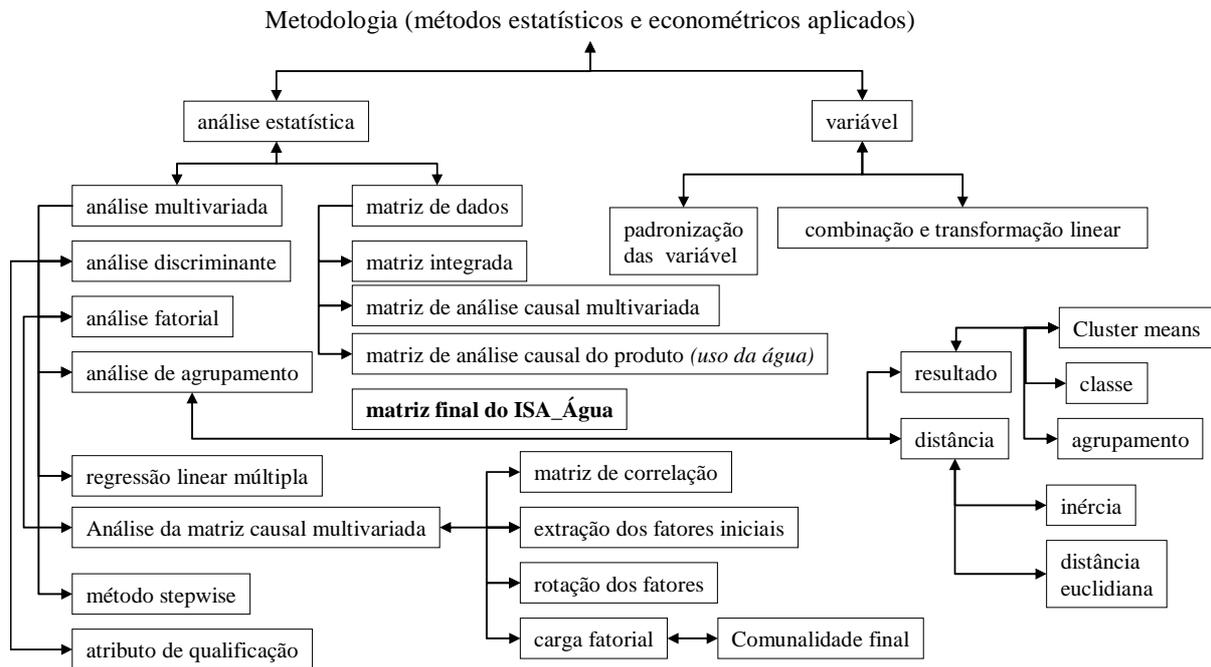
**Figura 11:** Inter-relação entre os dados primários, dados analisados, indicadores e índices (Braat, 1991).

Indicadores efetivos tornam a vasta quantidade de dados analisados em informação relevante e significativa, reduzem a complexidade e trazem clareza para os processos de decisão (Brooks, 1996).

Os indicadores não são necessariamente números, em muitos casos eles podem ser códigos informativos, sinais ou marcas. Geralmente não aumentam nossos entendimentos sobre as atividades em andamento, porém, eles, certamente, são confiáveis para a tomada de decisão ou para o planejamento de ações futuras. São descrições comuns e equivalentes para fenômenos, por exemplo, o “verde” da luz do semáforo ou “elevada” para uma condição socioeconômica.

Os índices também podem ser construídos a partir dos dados analisados por meio da agregação de um grupo de dados de elementos com inter-relações estabelecimentos (Prabu et al., 1996). Um índice é simplesmente um indicador de alta ordem, ele é um agregado ou grupo ponderado de indicadores (Khanna, 2000). Os índices predizem ou demonstram o estado de um dado sistema ou fenômeno. Mais importante, índices têm significado por estarem diretamente associados com propriedades medidas (DETR, 1997).

Há necessidade de se adaptar as linguagens formais (matemáticas, estatísticas ou lógicas) para manejar e combinar atributos de todos os processos proeminentes para determinado caso específico, indiferente da variável selecionada para medir o indicador. Para o propósito deste estudo, foram formulados todos os algoritmos relevantes, em função dos estudos realizados por Braga, 2005, os quais se encontram sistematizados e hierarquizados na Figura 12, o que não minimiza a importância da complexidade dos processos humanos e ambientais.



**Fonte:** Braga, 2005 (Tese de Doutorado, USP – “Vocabulário sistemático do subprojeto Ecovale” - [www.ana.gov.br/gefsf](http://www.ana.gov.br/gefsf) - subprojeto 1.4).

**Figura 12.** Modelo esquemático da metodologia utilizada de integração dos diversos indicadores no processo de construção da sustentabilidade ambiental para a região semi-árida brasileira.

Ressalta-se que o entendimento profundo e a capacidade para modelar matematicamente os processos envolvidos no desenvolvimento sustentável não podem ser encontrados sem um esforço adequado de pesquisa. Nem sempre é possível desenvolver conhecimentos profundos de muitos e complexos fenômenos. Contudo, necessitam-se informações apropriadas para direcionar as decisões futuras, que é o papel principal dos indicadores, refletidos, preferencialmente, em uma Matriz Causal.

A equipe de pesquisadores do Laboratório de Sustentabilidade Ambiental (LSA) da Embrapa Semi-Árido, por ter participado de trabalhos em parceria com a entidade mencionada, tem incorporado em seus procedimentos de ponderação da Sustentabilidade Ambiental (SA) à análise da cadeia causal, adaptada do GEF, onde introduziu-se para a obtenção dos resultados, tratamento estatístico multidimensionais (análises multivariada), objetivando traçar o caminho das causas-efeito dos problemas significativos de AIA, buscando suas origens ou causas-raízes (construção de novos indicadores) e as correspondentes ações minimizadoras para solucioná-las (sugestões de ações estratégicas mitigadoras).

Nos trabalhos realizados pela Embrapa é utilizado o conceito de desenvolvimento sustentável consagrado em 1987 pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente - CMMA (IBGE, 2002). Para indicadores, índices, normas e padrões, seguiram-se as definições dadas pelo grupo de trabalho do Convênio de Cooperação Técnica Brasil-Alemanha, formado pela Agência Brasileira de Cooperação - ABC e pela BMZ (Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit), junto ao Instituto Ambiental do Paraná (IAP-GTZ, 1995). Destaca-se que, pela primeira vez, foi incluída, parte da base

conceitual específica (conceito, termo e terminologia) sobre o tema proposto, desenvolvido por Braga (2005), que apropriou para o idioma português, os termos mais relevantes, selecionados a partir dos critérios de informatividade, ligação com a área, posição no mapa conceitual e relevância terminológica.

Nas questões de avaliação da sustentabilidade ambiental, seguiram-se as recomendações do documento final da Agenda 21 em seu capítulo 40, que destaca a necessidade de avaliar o processo de desenvolvimento em bases sustentáveis, para formulação de políticas públicas nos diversos níveis de tomada de decisão.

Finalmente foi utilizada como unidade geográfica de referência de território, o conceito de unidade geoambiental que é a entidade espacializada que mais se adapta às metas do desenvolvimento rural, na qual o substrato, a vegetação natural, o modelado e a natureza e distribuição dos solos na paisagem, constituem um conjunto cuja variabilidade é mínima, de acordo com a escala cartográfica (Zane, 2000).

O objetivo da construção de indicadores integralizados por meio de um único índice designado de Índice de Sustentabilidade Ambiental (ISA), o qual é utilizado na gestão de projetos executivos ou no estudo de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) de uma tecnologia (produto) específica, é propor sugestões técnicas, utilizando-se uma cadeia causal (*causal chain analysis*), que é uma ferramenta usada pelo GEF (Fundo para o Meio Ambiente Mundial) para definição e delineamento de ações estratégicas de curto, médio e longo prazo.

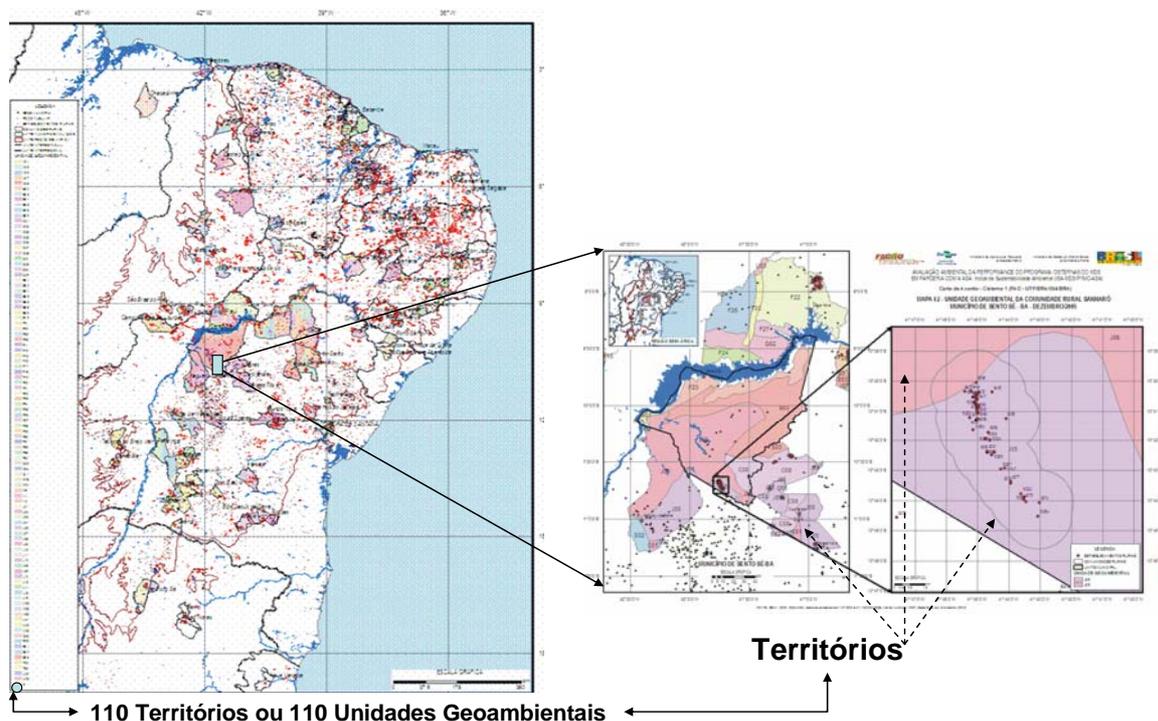
#### **Unidade Geoambiental e Comunidade Rural (Território e localidade)**

A caracterização dos recursos naturais e socioeconômicos contida no Zoneamento Agroecológico do Nordeste – Zane Digital (2000) - foi obtida utilizando-se uma metodologia que procura representar a heterogeneidade geoambiental de uma região ou território, por meio da estratificação em unidades espaciais (geoambientais) relativamente similares. Os resultados desta avaliação são sistematizados em Mapas Temáticos em forma Digital, úteis para a avaliação de programas sociais sustentáveis, ou de tecnologias específicas na região, já que permitem a interpretação e a visualização simplificada de informações complexas, difíceis de serem analisadas em formas individualizadas.

O Zane Digital dispõe de um Banco de Dados essencial para ser usado em qualquer estudo de AIA na região semi-árida brasileira, uma vez que classifica o espaço geográfico, representado pelo semi-árido em 110 Unidades Geoambientais (UG) ou territórios em forma diferenciada. No caso específico dos estudos realizados pela Embrapa, denomina-se localidades, os espaços geográficos limitados pelas comunidades rurais, circunscrita em forma natural por cada território (UG), sendo exceções os assentamentos de reforma agrária.

As delimitações geográficas dos territórios e das localidades tem sido fundamental na espacialização das informações técnicas, econômicas, sociais e ecológicas obtidas por meio da realização das pesquisas de campo, com fins de criação de Banco de Dados e tratamento estatístico informatizado e de seu processamento em Sistema Geográfico de Informação (SGI).

Na Figura 13 mostra-se um ranking das 110 Unidades Geoambientais (Territórios) do semi-árido e pinça-se um deles (território), onde pode-se observar a localização geográfica (pontos georreferenciados) de vários domicílios rurais, pertencentes a comunidade do Salitre no município de Juazeiro-BA.



**Figura 13.** Mapa da localização geográfica das Unidades Geoambientais (Territórios) do Semi-Árido e um exemplo prático da localização georreferenciada de domicílios rurais, no território pertencente ao município de Juazeiro – BA.

O processamento das informações mencionadas anteriormente, em ambiente de SGI em forma de produto (resultados) se revelou essencial na elaboração de Relatórios de Sustentabilidade Ambiental e/ou de AIA, por permitir a avaliação espacial de tecnologias, a exemplo das cisternas rurais no Semi-Árido em forma global e na confecção de mapas temáticos digitais, contemplando vários índices e indicadores sobre a utilização sustentável dos recursos naturais e socioeconômicos, bem como a possibilidade de se construir cenários de demanda tecnológicas.

### **Sustentabilidade ambiental aplicada ao semi-árido brasileiro**

O Índice de Sustentabilidade Ambiental (ISA) é construído em função do resultado de várias pesquisas de campo, e da formulação de vários indicadores, os quais são definidos em conformidade com os temas e produtos previamente demandados e planejados e, deverá ter ampla participação de famílias pertencentes às próprias comunidades rurais (universo) objeto principal do estudo, tendo a bacia, sub-bacia ou micro-bacia hidrográfica, como unidade geográfica básica de referencia.

O ISA ajuíza deste modo, procedimentos da AIA conforme a necessidade do estudo, a semelhança da obtenção de novos indicadores sobre: qualidade das águas, escassez de água de uso doméstico vivenciada pelas comunidades rurais mais carentes, vulnerabilidade das unidades geoambientais (territórios) circunscritas à área de estudo e das condições socioeconômicas e ambientais da população beneficiária potencial do programa ou projeto, que estiver sendo avaliado.

Para a construção do ISA com seus respectivos mapas temáticos, além da base de dados obtidos das pesquisas em campo, utilizam-se bases de dados cedidas por outras entidades governamentais e não-governamentais. Também é usada as bases da malha municipal digital do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2000). Desta, extraem-se os limites regionais e municipais, utilizados na seleção dos municípios, cujas comunidades são avaliadas na escala do Brasil ao milionésimo ([www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)).

Também das bases de dados do IBGE, extraem-se informações referentes a localização: (i) das sedes municipais e de outras localidades; (ii) da rede hidrográfica (rios permanentes e intermitentes, fontes de água perenes e intermitentes) e do sistema viário (rodovias pavimentadas, não pavimentadas e outras estradas); (iii) dos municípios relacionados a área de estudo, e (iv) do limite da região semi-árida, segundo o Zoneamento Agroecológico do Nordeste - ZANE (Embrapa, 2000).

Com o objetivo de se obter uma visão panorâmica dos elementos que compõem cada região de amostragem no semi-árido é necessário adicionar outros parâmetros para complementar as informações necessárias, tais como: base georreferenciada de 108.182 (cento e oito mil, cento e oitenta e dois) poços tubulares da região Nordeste (CPRM, 2006) e base georreferenciada das áreas irrigadas – 14,3 mil unidades de produção (Fonte: Cadastro Frutícola Codevasf; Embrapa Meio Ambiente (2000)).

Na maioria dos casos constrói-se ao redor de nove índices, considerando-se as abrangências locais, municipais e regional:

a) Quatro índices locais:

- - Índice de risco do uso da água domiciliar;
- - Índice de risco de contaminação microbiológica;
- - Índice de risco de uso das águas para fins de irrigação;
- - Índice das condições socioeconômicas das famílias rurais;

b) Quatro Índices municipais:

- - Índice do perfil econômico;
- - Índice do perfil social;
- - Índice do perfil ecológico;
- - Índice do potencial agroecológico.

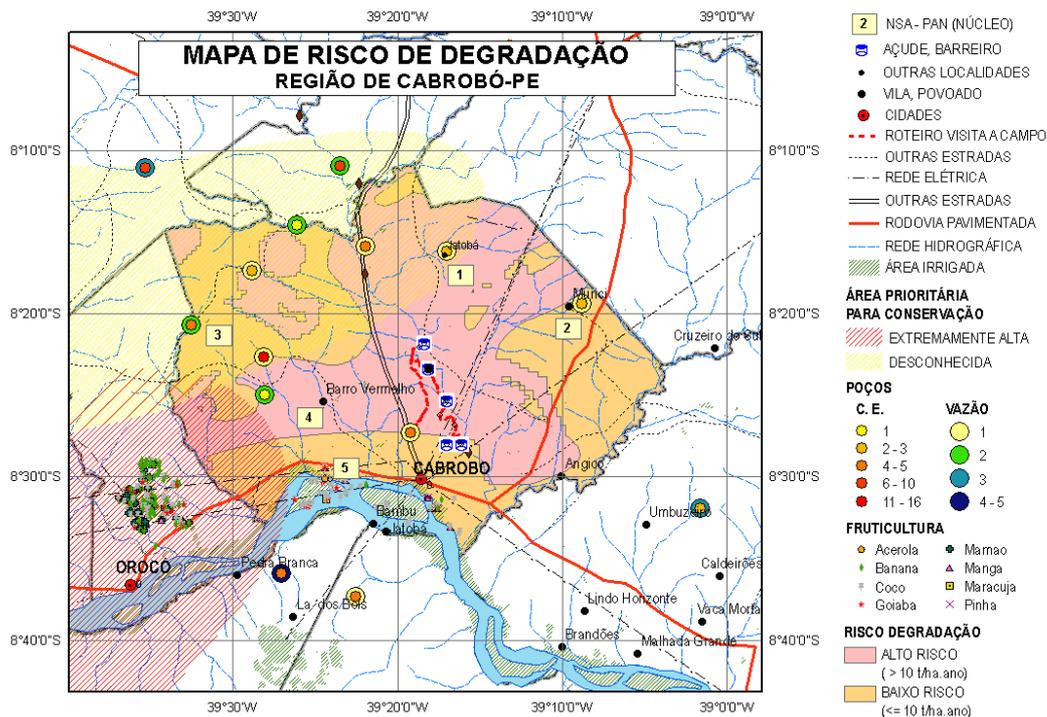
c) Um Índice regional:

- - Índice de sustentabilidade ambiental do uso da água

O resultado alcançado pela integração das informações georreferenciadas e incorporadas a Banco de Dados construídos por meio do uso do software livre CSPro 3.0, permite a confecção de mapas temáticos digitais, com diferentes finalidades, a semelhança do Mapa de Risco de degradação Ambiental, apresentado na Figura 14, para a região de Cabrobó-PE.

O ISA como sugerido no modelo esquemático das Figuras 12 e 15 é na verdade um índice único, obtido pela integração do desempenho dos pontos dos índices de sustentabilidade nos domínios econômico, social e ecológico. Assim o ISA é a total integração dos indicadores informativos para a região estudada. O sistema baseado na escolha de indicadores é coerente com os projetos internacionais em andamento e foi desenhado para ser completamente transparente aos usuários em cada nível de tomada de decisão, como mencionado, anteriormente.

A construção do ISA\_Água (Figura 15), que Embrapa Semi-Árido em parceria com a Embrapa Meio Ambiente vem desenvolvendo nos últimos anos para a região semi-árida brasileira, por meio da integração de vários indicadores de âmbito local e municipal tem como objetivo principal preencher a lacuna de conhecimento básico, existente em âmbito regional.



**Figura 14.** Mapa de risco de degradação ambiental da região de Cabrobó-PE.

Para exemplificar, na construção do ISA apresentado na Figura 15 foram envolvidos três grandes temas, concebidos pela constituição de 15 indicadores, 228 variáveis, e sugestões de ações estratégicas, devidamente justificadas e detalhadas, incluindo, para cada tema, os produtos (quatro indicadores e seu respectivo índice), escore, localidade, município e mapa temático digital. Quanto aos estudos já realizados sobre o tema de Sustentabilidade Ambiental, reporta-se na Figura 16 as experiências da Embrapa Semi-Árido e Embrapa Meio-Ambiente em parceria com entidades Governamentais e Não-Governamentais no âmbito de diversas bacias hidrográficas localizadas no território brasileiro.

A construção do ISA procurou seguir os ditames da pesquisa, quanto a disciplina da Legislação Ambiental, no desenvolvimento de métodos, técnicas e processos a partir do conhecimento biológico da integração dos diversos ecossistemas. Também foram observadas as condições econômicas e culturais dos segmentos sociais do setor produtivo, visando sua integração à assistência técnica, comunidades e agroindústrias.

Nos estudos realizados pelas diferentes Unidades Descentralizadas da Embrapa (Figura 15), a pesquisa buscou gerar informações que integrassem as dimensões sociais, econômicas e ecológicas, tendo as Unidades Geoambientais (territórios) como unidades geográficas de Gestão Ambiental. Isto permitiu disciplinar o uso dos recursos naturais, para assegurar a sobrevivência das gerações atual e futuras das comunidades rurais, já que não existem fronteiras políticas para o meio ambiente.

## Índice de Sustentabilidade Ambiental - ISA

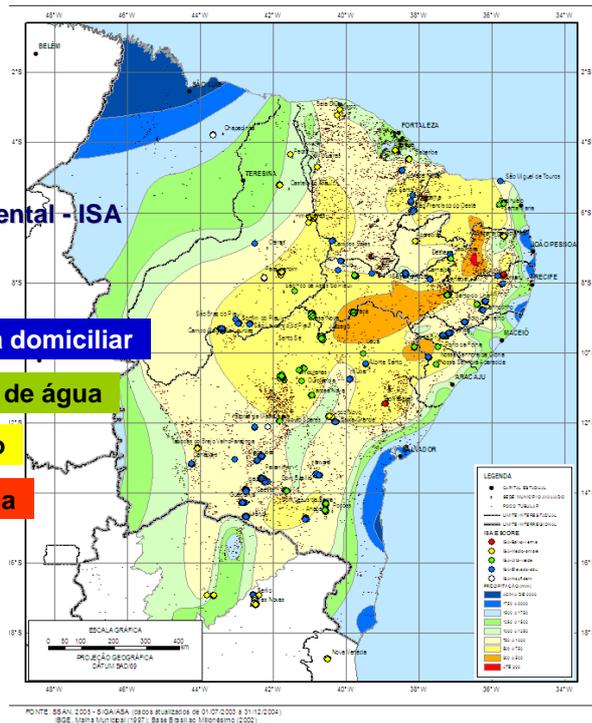
Indicadores:

Água pluvial potável em cisterna domiciliar

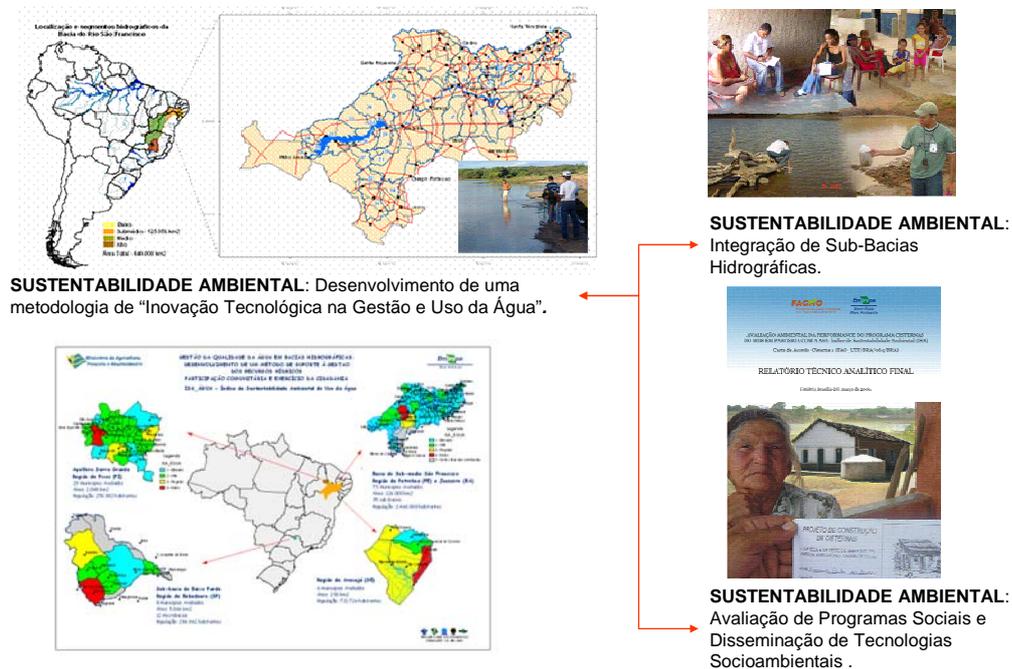
Outras fontes de abastecimento de água

Condição ecológica do domicílio

Qualidade físico-química da água



**Figura 15.** Índice de Sustentabilidade Ambiental do Uso da Água doméstica armazenada em cisternas rurais no semi-árido brasileiro.



**Figura 16.** Estudos realizados pela Embrapa Semi-Árido e Embrapa Meio-Ambiente em parceria com entidades Governamentais e Não-Governamentais sobre Sustentabilidade Ambiental em diversas bacias hidrográficas do território brasileiro.

Os principais resultados obtidos (Tabelas 1 e 2) versam sobre a construção de indicadores de uso da água, condições da disponibilidade e da qualidade da água ou estado dos parâmetros, exposição de componentes biológicos ao stress e as perdas relacionadas a produção agropecuária ou atributos de impactos e as conseqüências relacionadas ao rendimento econômico dos sistemas de produção em uso, bem como as condições socioeconômicas da população envolvida em estudos específicos.

**TABELA 1.** Indicadores desenvolvidos na construção da Sustentabilidade Ambiental do Uso da Água para a região semi-árida brasileira.

<b>Numero de Ordem</b>	<b>INDICADORES</b>
	<b>Perfil Econômico</b>
1	Agronegócio da irrigação (Abastecimento externo)
2	Agricultura Irrigada diversificada
3	Pecuária com agricultura comercial e extrativismo vegetal
4	Ausência de serviços públicos essenciais
	<b>Perfil Social</b>
5	Oferta de Emprego
6	Atendimento à Saúde
7	Sistema Educacional
8	Serviços Básicos
	<b>Perfil Ecológico</b>
9	Qualidade das águas subterrâneas de usos múltiplos
10	Gestão inadequada do uso da água de irrigação
11	Déficit Hídrico
12	Disposição de resíduos sólidos
	<b>Potencial Agroecológico</b>
13	Qualidade das águas superficiais
14	Precipitação pluviométrica
15	Potencial edafoambiental
16	Qualidade das águas subterrâneas
	<b>Sustentabilidade Ambiental do Uso Água</b>
17	Áreas irrigáveis sem restrição
18	Agropecuária diversificada com agricultura comercial
19	Agropecuária com agricultura de subsistência
20	Agronegócio hortifrutícola

Tabela 2. Uso Sustentável da Água: Classificação e hierarquização de 73 municípios e 35 sub-bacias hidrográficas da Bacia do rio São Francisco - Região do Submédio. – Período: 1998-2002.

Rank	Município	UF	Bacia	Zona	Localização em UTM		ISA_Água
					Este	Norte	
1	Araripina	PE	1	24M	334660,8	9162240,0	0,0002
2	Arcoverde	PE	8	24L	714236,6	9068821,4	0,0004
3	Casa Nova	BA	20	24L	283394,4	8986611,6	0,0006
4	Petrolândia	PE	15	24L	585762,6	9007321,2	0,0008
5	Salgueiro	PE	3	24L	486831,2	9107462,6	0,0010
6	Santa Maria da Boa Vista	PE	18	24L	409170,1	9026260,4	0,0012
7	São José do Egito	PE	6	24M	690378,1	9172899,6	0,0014
8	Serra Talhada	PE	5	24M	577287,7	9116488,5	0,0016
9	Abaré	BA	16	24L	487433,4	9036032,4	0,0021
10	Afogados da Ingazeira	PE	5	24M	650027,5	9142969,1	0,0025
11	Afrânio	PE	19	24L	279253,5	9058156,8	0,0029
12	Belém de S. Francisco	PE	16	24L	503718,8	9032318,2	0,0033
13	Betania	PE	9	24L	606327,7	9085163,5	0,0037
14	Bodocó	PE	1	24M	396191,1	9140054,0	0,0041
15	Brejinho	PE	6	24M	689145,5	9187220,8	0,0045
16	Cabrobó	PE	2	24L	465843,0	9058807,3	0,0049
20	Cedro	PE	3	24M	473617,8	9146426,5	0,0066
21	Chorrochó	BA	16	24L	489365,8	9007349,6	0,0070
22	Curaca	BA	18	24L	399993,2	9006060,0	0,0074
23	Custódia	PE	8	24L	649477,1	9105741,4	0,0078
24	Dormentes	PE	19	24L	304973,9	9065779,2	0,0082
25	Exu	PE	1	24M	420063,9	9169552,6	0,0087
26	Flores	PE	5	24M	612988,0	9130112,0	0,0091
27	Floresta	PE	12	24L	547428,0	9049182,1	0,0095
28	Gloria	BA	15	24L	581802,4	8967647,8	0,0099
29	Granito	PE	1	24M	432171,5	9146999,2	0,0103
30	Ibimirim	PE	8	24L	644107,3	9055658,8	0,0107
31	Iguaraci	PE	7	24M	663659,4	9133584,9	0,0111
32	Inajá	PE	8	24L	629275,8	9015775,2	0,0115
33	Ingazeira	PE	6	24M	669850,0	9151165,0	0,0120
34	Ipubi	PE	1	24M	373240,5	9153972,5	0,0124
35	Itacuruba	PE	13	24L	534793,0	9035251,9	0,0128
36	Itapetim	PE	6	24M	699714,3	9183984,0	0,0132
37	Jatobá	PE	15	24L	580281,8	8984789,0	0,0136
38	Lagoa Grande	PE	19	24L	360143,7	9005204,2	0,0140
39	Macurure	BA	16	24L	493643,7	8986590,1	0,0144
42	Mirandiba	PE	4	24L	529767,3	9102356,9	0,0157
43	Moreilandia	PE	1	24M	439174,4	9156436,7	0,0161
44	Orocó	PE	2	24L	448972,4	9054460,2	0,0165
45	Ouricuri	PE	1	24M	380720,9	9128499,2	0,0169
46	Ourolândia	BA	33	24L	272329,5	8786479,8	0,0173
47	Pariconha	BA	8	24L	609284,5	8977009,7	0,0177
48	Parnamirim	PE	1	24L	436241,9	9105607,4	0,0181
49	Pilão Arcado	BA	26	23L	773566,3	8893175,6	0,0186
50	Quixaba	PE	5	24M	626967,4	9146415,9	0,0190
51	Remanso	BA	23	23L	820346,9	8935013,7	0,0194
52	Rodelas	BA	16	24L	525618,4	9022176,0	0,0198
53	Santa Cruz	PE	18	24L	352949,5	9088885,7	0,0202
54	Santa Cruz da Baixa Verde	PE	5	24M	593368,1	9135407,7	0,0206
55	Santa Filomena	PE	18	24L	321975,8	9097342,7	0,0210
56	Santa Terezinha	PE	6	24M	667727,6	9184164,8	0,0214
57	São José do Belmonte	PE	4	24M	526448,3	9130979,9	0,0219
58	Sento Se	BA	23	24L	183376,7	8921299,6	0,0223
59	Serrita	PE	3	24M	467354,8	9123022,3	0,0227
60	Sertania	PE	8	24L	691212,2	9107119,0	0,0231
61	Sobradinho	BA	23	24L	299775,0	8954250,6	0,0235
62	Solidão	PE	5	24M	648670,5	9159622,0	0,0239
63	Tabira	PE	5	24M	661086,9	9160626,2	0,0243
64	Tacaratu	PE	8	24L	593455,8	8993359,9	0,0247
65	Terra Nova	PE	3	24L	458598,0	9090248,0	0,0252
66	Trindade	PE	1	24M	360161,4	9141772,2	0,0256
67	Triunfo	PE	5	24M	598999,5	9133461,1	0,0260
68	Tuparetama	PE	6	24M	686247,3	9159275,2	0,0264
69	Umburanas	BA	33	24L	245524,7	8812565,5	0,0268
70	Várzea Nova	BA	33	24L	287964,0	8754684,4	0,0272
71	Verdejante	PE	3	24M	503083,8	9123893,7	0,0276
72	Petrolina	PE	35	24L	335164,3	8960686,6	0,0282
73	Juazeiro	BA	35	24L	335414,6	8959243,7	0,0291

Fonte: [www.ana.gov.br/gefsf](http://www.ana.gov.br/gefsf) (subprojeto 1.4).

## REFERÊNCIAS

- ANJOS, J.B. dos. Equipements a traction animale developpes par le CPATSA pour les cultures de la region tropicale semi-aride du Brésil. *Machinisme Agricole Tropicale*, (91):60-3, jui/sep 1985.
- BRAAT, L. The predictive meaning of Sustainability Indicators. In.: KUI, O. VEREBRUGGEN, M. eds. *In search of indicators of sustainable development*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer, 1991.
- BRAGA, R.C.G. *Vocabulário sistemático do subprojeto Ecovale*. São Paulo, SP: Universidade de São Paulo, 2005. 357p. (Tese de Doutorado).
- BRASIL - MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria N<sup>o</sup>. 518, de 25 de março de 2004. *Diário Oficial*, Brasília, 26 de março de 2004. Seção 1, p. 266
- BRITO, L.T. de L.; SILVA, A. De S.; MACIEL, J.L.; & MONTEIRO, M.A.R. *Barragem subterrânea I. Construção e manejo*. Petrolina, PE, EMBRAPA-CPATSA, 1989. 38p. II. (EMBRAPA-CPATSA, Boletim de Pesquisa, 36).
- BROOKS, D. *Working paper*. USDA Forest service, OR: Pacific Northwest Research Station Eugene, 1996.
- CALDWELL, L.K. Landscape, law and public policy: conditions for na ecological perspective. *Landscape Ecology*, v. 5, p. 3-8, 1990.
- DETR - Department for the Environment, Transortation and the Regions. *Indicators of Sustainable Development for the United Kingdom*. Disponível em <http://www.environment.detr.gov.uk/epsim/indics/isdintro.htm> > Acesso em fev. 2002.
- EMMERT, N.O. Introduction. In.: EMMERT, N.O. ed. State indicators of national scope. Vol. 3. Miami: Center for Public Management., 1996. Disponível em < <http://www.fsu.edu/~cpm/seigip/catalog/volume3.html>> Acesso em fev. 2002.
- KEENEY, R. *Value-focused thinking*. Cambridge: Harvard University Press, 1992.
- KEENEY, R.; RAIFFA, H. *Decisions with multiple objectives*. New York: Wiley, 1976.
- KHANNA, N. Measuring environmental quality: na indexo f pollution. *Ecology Economy*, v. 35, p. 191-202, 2000.
- LEAL, A. DE S. As águas subterrâneas no Brasil: ocorrências, disponibilidade e usos. In: FREITAS, M. A. V. de. (Ed.). *O estado das águas no Brasil; perspectivas de gestão e informações de recursos hídricos*. Brasília: ANEEL-SRH/MME/MMA-SRH/OMM, 1999. p. 139-164. il.
- LUBCHENKO, J. Entering the century of the environment: a new social contract for science. *Science*, v. 29, p. 491-499, 1998.
- MOON, D.; JECK, S.; SELBY, C. Elements of a decision support system: information, model, and user management. In.: EL-SWAIFY, S.A.; YAKOWITZ, D.S. eds. *Multiple objective management*. Boca raton: CRC Press, 1998. p. 323-334.
- NRC - Natural Resources Canadá. *Information for decision making in sustainable development*. Ottawa: Natural Resources Canadá, 2001. (Monograph 16).
- PETROLINA-Pe, Brasil: IRCSA – *International Rainwater Catchment System Association*, 1999.
- PRABU, R.; COLFER, C.J.P.; DUDLEY, R.G. *Guidelines for developing , testing and selecting criteria's and indicators for sustainable forest management*. Bogor, Indonésia: CIFOR, 1996.
- PROGRAMA de formação e mobilização social para a convivência com o semi-árido: um milhão de cisternas rurais-PIMC. Disponível em < <http://www.ana.gov.br/GestaoRecHidricos/Usos Multiplos/arqs/PIMC.doc>> Consultado em agosto/2005.

REBOUÇAS, A. da C. *Água doce no mundo e no Brasil*. In; *Águas do Brasil: capital ecológico, use e conservação / coordenação científica*: Aldo da Cunha Rebouças; Benedito Braga; Jose Galizia Tundisi. São Paulo: Escritura editora, 1999. 720p.

REBOUCAS, A. *Uso inteligente da água*. São Paulo: Escrituras Editora, 2004. 207p.

RIBEIRO, J.A.R. *Caracterização hidroquímica da água de chuva e estudo da viabilidade da captação e armazenamento em cisternas, para o atendimento de demandas de água doce para consumo humano nas bacias dos rios verde e jacaré, semi-árido do estado da Bahia*. Salvador, BA: Universidade Federal da Bahia, 2005. 113p. (Tese de Mestrado).

SCHISTEK, H. *A construção de cisterna de tela e arame*. Paulo Afonso/BA: Editora Fonte Viva/IRPAA, 1998. 56p.

SCHISTEK, H.. *Caldeirão, caxio e cacimba: três sistemas tradicionais de captação de água de chuva no nordeste brasileiro*. Anais do 2º Simpósio Brasileiro de Captação de Água de Chuva e 9th International Rainwater Catchment Systems Conference – Petrolina, Pe/Brasil: IRCSA, Jul. 1999.

SHIELDS, D.J.; MITCHELL, J.E. *A hierarchical systems model f ecosystem management*. Working Paper, USDA Forest Service. Fort Collins, CO: Rocky Mountain Research Station, 1997.

SILVA, A. DE S.; BRITO, L. T. DE L.; ROCHA, H.M. *Captação e conservação de água de chuva no semi-árido brasileiro: cisternas rurais II; água para consumo humano*. Petrolina, PE: EMBRAPA-CPATSA, 1988. (EMBRAPA-CPATSA. Circular técnica, 16).

SILVA, A. de S. et al. *Captação e conservação de água de chuva no semi-árido brasileiro: Cisternas rurais II; Água para o consumo humano*. Petrolina, PE: EMBRAPA-CPATSA/MINTERSUDENE, 1988. 80 p. il.

SILVA, A. de S. et al. *Captação e conservação de água de chuva para consumo humano: Cisternas rurais, dimensionamento, construção e manejo*. Petrolina, PE: EMBRAPA-CPATSA, MINTER-SUDENE, 1984.

SILVA, F.B.R. E; RICHE, G.R.; TONNEAU, J.P.; SOUZA NETO, N.C. DE; BRITO, L.T. DE L.; CORREIA, R.C.; CAVALCANTI, A.C.; SILVA, F.H.B.B. DA; SILVA, A.B. DA; ARAÚJO FILHO, J.C.DE; LEITE, A.P. *Zoneamento agroecológico do Nordeste: diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico*. Petrolina, PE: EMBRAPA-CPATSA; Recife: EMBRAPA-CNPS, Coordenadoria Regional Nordeste, 1993. 2v. EMBRAPA-CPATSA. Documentos, 80).

SILVA. A. DE S.; PORTO, E. R. *Utilização e conservação dos recursos hídricos em áreas rurais do Trópico Semi-Árido do Brasil; tecnologias de baixo custo*. Petrolina, PE: EMBRAPA-CPATSA, 1982. (EMBRAPA-CPATSA. Documentos, 14).

SILVEIRA, A. L. L. da. *Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica*. In 1-Hidrologia: ciência e aplicação / organizado por Carlos E. M. Tucci - 2. ed.; 1. reimpr. - Porto Alegre: Ed. Universidade/ UFRGS: ABRH. 2000 - 943 p.

SOUZA, J. R. *A articulação no semi-árido brasileiro (ASA): desafios e perspectivas na construção da sustentabilidade do semi-árido*. 1º Seminário Internacional "Gerenciamento de Redes para o Desenvolvimento Comunitário" - COEP (Comitê de Entidades no Combate a Fome e pela Vida). Maceio/AL/BR, de 29 de março a 02 abril de 2004. Disponível em: <http://www.coeppbrasil.org.br/semindrio/documentos/plerommo.html>. Acesso em: 08 fev. 2005.

WAS- World's Academic Science: *Transition to sustainability in the 21st Century: the contribution of science and technology*. A Statement of the World's Scientific Academies. 2000. Disponível em [http://interacademies.net/intracad/tokyowooo.nsf/all/sustainability\\_statement](http://interacademies.net/intracad/tokyowooo.nsf/all/sustainability_statement) > Acesso em fev. 2002.