

A TRANSDISCIPLINARIDADE DA DESERTIFICAÇÃO

Admilson da Penha Pachêco¹
Neison Cabral Ferreira Freire²
Utaiguara da Nóbrega Borges³

RESUMO: A humanidade vem interagindo com o meio ambiente de forma complexa, modificando *habitats* naturais. Em países pobres, o consumo dos recursos naturais não isenta a população do ciclo vicioso da pobreza e da degradação ambiental. No Brasil, o semi-árido é uma das regiões mais afetadas pelo problema, ocasionando processos desertificatórios crescentes com graves conseqüências sócio-ambientais. Assim, no contexto do semi-árido brasileiro, o objetivo deste artigo é abordar de forma teórica e conceitual a desertificação - um tema transdisciplinar, pois permeia e perpassa várias áreas do conhecimento.

Palavras-chave: desertificação, Caatinga, semi-árido.

TRANSDISCIPLINARITY OF THE DESERTIFICATION

ABSTRACT: The humanity is interacting with the environment in a complex way, modifying natural habitats. In poor countries, the consumption of the natural resources no exempt the population of the vicious cycle of the poverty and of the environmental degradation. In Brazil, the semi-árido nordestino is one of the most affected areas by this problem, causing processes growing desertification with serious partner-environmental consequences. The objective of this paper is to approach, in a theoretical way, the desertification, a theme multi discipline, in the context of the semi-árido brazilian, more specifically, in the brazilian Caatinga.

Keyword: desertification, Caatinga, semi-árido.

INTRODUÇÃO

Desde tempos imemoriais, o ser humano luta contra as adversidades do meio ambiente, seja modelando o meio físico ou consumindo seus limitados recursos naturais, numa infinita busca por riqueza e bem-estar materiais. A humanidade vem interagindo de forma complexa sobre a biosfera, modificando *habitats* naturais e colocando novos desafios às atuais e futuras gerações. Sob o pretexto do crescimento econômico, processos relativamente recentes de modernização vêm trazendo graves desequilíbrios sócio-ambientais a diversas regiões do planeta, notadamente aquelas situadas em países pobres.

Embora muitas vezes detentores de alto patrimônio ecológico, estas regiões não conseguem escapar do círculo vicioso da pobreza e da destruição ambiental, aumentando a

¹ Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Cartográfica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. E-mail: admilpp@ufpe.br

² Pesquisador Assistente da Coordenação Geral de Estudos Ambientais e da Amazônia, Instituto de Pesquisas Sociais, Fundação Joaquim Nabuco. E-mail: neisonfreire@ibest.com.br

³ Coordenador do Setor de Geoprocessamento do Departamento de Engenharia Cartográfica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: utaiguara@yahoo.com.br

exclusão social e diminuindo a capacidade de carga dos ecossistemas locais. Neste contexto, sociedade e natureza precisam estar intimamente correlacionadas num novo paradigma de desenvolvimento sustentável, baseado em princípios da transdisciplinaridade sistêmica de uma “nova” visão desse binômio.

No caso brasileiro, uma das regiões mais afetadas pela crise do modelo de consumo extensivo dos recursos naturais é o semi-árido nordestino, cuja degradação ambiental crescente vem ocasionando processos de desertificação cada vez mais significativos, trazendo como conseqüências imediatas, dentre outras, a perda da fertilidade do solo e da biodiversidade, a destruição de *habitats* naturais e o êxodo rural. Segundo o Censo Demográfico de 2000 (IBGE, 2003), cerca de 18 milhões de pessoas (ou 42% da população nordestina, ou, ainda, 11% da população brasileira) vivem em regiões de clima semi-árido.

Uma discussão conceitual sobre o tema da desertificação evoluiu desde a década de 60 do século passado e se consolidou através do documento intitulado *Agenda 21*, elaborado durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada na cidade do Rio de Janeiro em 1992 – a Eco’92 -, onde, no seu Capítulo 12, definiu-se a desertificação como sendo “a degradação da terra nas zonas áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas, resultante de vários fatores, incluindo as variações climáticas e as atividades humanas” (SACHS, 1993).

A preocupação com o tema é de tal ordem que a Organização das Nações Unidas aprovou em 26 de dezembro de 1996 a Convenção Internacional de Combate a Desertificação, sendo ratificada pelo Congresso Nacional Brasileiro no dia 12 de junho de 1997. Desde então, diversas instituições de pesquisa e organizações não-governamentais brasileiras têm se dedicado ao assunto, destacando os esforços desenvolvidos pela Oficina de Trabalho sobre Ciência e Tecnologia para a Sustentabilidade do Semi-árido do Nordeste do Brasil, realizada em novembro de 1999 na cidade do Recife.

Mais recentemente, em setembro de 2003, vários países da África, América Latina e Caribe discutiram o problema durante a 6ª Conferência das Nações Unidas sobre Desertificação e Seca, realizada em Havana, Cuba. Na ocasião, ao analisar as áreas de risco à desertificação, constatou-se que “o processo de degradação do solo e redução de sua cobertura vegetal provoca prejuízos de US\$ 42 bilhões por ano em todo o mundo e afeta diretamente mais de 250 milhões de pessoas” (FOLHA ON LINE, 2003).

Sem dúvida estas conferências internacionais representam um grande esforço político que precisa estar aliado à ação executiva para enfrentar a magnitude do problema, exigindo seu profundo conhecimento para equacionar soluções viáveis, onde a Ciência e a

Tecnologia cumprem papel primordial, além da efetiva participação popular que, através dos mecanismos da sociedade civil organizada, devem decidir até onde se pode aproveitar os recursos do meio ambiente sem comprometer irreversivelmente sua utilização pelas futuras gerações.

Historicamente, a região do semi-árido brasileiro inseriu-se dentro de um modelo de desenvolvimento cuja base econômica não estava atrelada às condicionantes sociais, culturais e ambientais da região. As populações sertanejas atingidas pelo problema da desertificação, por exemplo, estão entre as mais pobres do país, com índices de desenvolvimento humano muito abaixo da média nacional.

O desafio atual consiste em propor instrumentos tecnológicos que possibilitem análises alternativas e adequadas para a melhoria da qualidade de vida e bem-estar social das populações que habitam essas áreas do semi-árido do Nordeste, visando estabelecer um ponto focal de desenvolvimento regional auto-sustentável de forma multidisciplinar e a partir da compreensão de que o dinamismo da região virá em função do nível de conhecimento, aliado à pesquisa aplicada e às inovadoras técnicas de produção em consonância com as vocações sócio-econômicas da área, escolhendo formas de desenvolvimento sensíveis à questão ambiental e buscando conciliar a exploração eficiente e reciclável dos limitados recursos naturais do semi-árido nordestino - o “capital natural” - e a necessidade urgente de crescimento material das comunidades sertanejas - o “capital construído pelo homem”.

UMA CONCEITUAÇÃO ENQUANTO FENÔMENO ANTRÓPICO E TRANSDISCIPLINAR

O termo desertificação tem uma definição oficial estabelecida pela ONU. Durante a CNUMAD, em 1992, na cidade do Rio de Janeiro, a Assembléia Geral da ONU aprovou a negociação da “Convenção Internacional de Combate a Desertificação”, iniciada em janeiro de 1993 e concluída em Paris em 17 de junho de 1994 – data estabelecida como o “Dia Mundial de Luta Contra a Desertificação”. Posteriormente, o documento foi aprovado por cerca de 155 países em dezembro de 1996, incluindo o Brasil, sendo finalmente ratificado pelo Congresso Nacional Brasileiro em dezembro de 1997. A Convenção, em seu Capítulo 12, afirma que: “A desertificação deve ser entendida como a degradação da terra nas zonas áridas, semi-áridas e sub-úmidas, resultante de vários fatores, incluindo as variações climáticas e as atividades humanas” (SAMPAIO; SAMPAIO, 2002).

O texto da Convenção também define que a desertificação pode ocorrer em função da degradação da terra, das zonas climáticas específicas e dos fatores resultantes de processos antrópicos, podendo se manifestar em qualquer parte do planeta, com

exceção das zonas polares e subpolares, sendo tecnicamente estabelecido que o Índice de Aridez (ou seja, uma razão entre a precipitação anual e a evapo-transpiração potencial) compreendida entre 0,05 e 0,65 caracteriza regiões enquadradas no escopo de aplicação da Convenção, sendo este índice adotado para o Atlas Mundial da Desertificação do PNUMA – uma referência mundial sobre o tema. Conforme esta definição, “o grau de aridez de uma região depende da quantidade de água advinda da chuva (P) e da perda máxima possível de água através da evaporação e transpiração (ETP)” (BRASIL, 1999), cuja fórmula estabelecida por Thornthwaite em 1941 foi posteriormente ajustada por Penman a fim de que se elaborasse a classificação que é hoje aceita internacionalmente (Tabela 1).

Da Tabela 1, verifica-se que a atuação da Convenção restringe-se, portanto, às regiões áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas do mundo, somando cerca de 1/3 de toda a superfície do planeta, ou mais de 5 bilhões de ha (51.720.000 km²), afetando direta e indiretamente mais de 100 países, excluindo desse total os desertos, que somam 9.780.000 km², ou 16% da superfície do globo (BRASIL, 2003).

Andrade (1999) afirma que o grau de aridez de uma região para outra, no entanto, é muito variável, “havendo aquelas classificadas como hiper-áridas, onde a umidade é muito baixa durante todo ano” e outras consideradas apenas áridas com chuvas esporádicas e, ainda, outras áreas semi-áridas, “quando a estação úmida é curta, de três a quatro meses por ano, permitindo o desenvolvimento de culturas de ciclo vegetativo curto”, situação esta mais próxima da realidade do semi-árido brasileiro.

Tabela 1 - Categorias de clima de acordo com o índice de aridez.

Categoria	Índice de Aridez
hiper-árido	< 0,05
árido	0,05 - 0,20
semi-árido	0,21 - 0,50
sub-úmido seco	0,51 - 0,65
sub-úmido e úmido	> 0,65

Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2003).

Entretanto, convém observar que “a aridez ou a semi-aridez, não tornam estas terras improdutivas, apesar da pobreza dos solos em matéria orgânica, uma vez que os mesmos podem ser enriquecidos com adubos orgânicos ou podem ser irrigados” (ANDRADE, 1999), como ocorre em diversos países do mundo. Isto permite afirmar, então, que a variação da suscetibilidade à desertificação não pode ser unicamente expressa pelo

índice de aridez, uma vez que outros fatores, como por exemplo, as atividades humanas sobre os recursos naturais, podem intervir. Assim, há que se considerar que mesmo atendendo aos pesquisadores, a Convenção da ONU precisa de adequações às diversas realidades regionais, podendo haver uma ampliação posterior do conceito de desertificação então adotado.

Apesar dos diversos estudos realizados, não há, contudo, um consenso científico sobre a dimensão e abrangência do problema, cujo desencontro de interpretações do texto da Convenção sobre Desertificação por parte da mídia tem causado certa confusão sobre o tema perante a sociedade. Segundo Sampaio e Sampaio (2002), estes desencontros têm três causas principais: 1) O conceito de desertificação não foi desenvolvido pelo uso, mas sim de entendimentos diplomáticos, gerando ambigüidades; 2) o termo remete à formação do deserto nos moldes da expansão do Saara africano - situação pouco provável de vir a existir, por exemplo, no semi-árido brasileiro e necessitando, portanto, de uma melhor significação científica; e, 3) as explicações do texto são vagas e carecem de melhor aplicabilidade para a realidade brasileira.

De acordo com o IBAMA:

[...] no Brasil, a desertificação encontra-se especialmente considerada na 'Política Nacional de Controle à Desertificação', cujas diretrizes destacam, entre seus marcos referenciais, "a necessidade do fortalecimento da base de conhecimentos e desenvolvimento de sistemas de informação e monitoramento para as regiões susceptíveis à desertificação e à seca" IBAMA (2003).

Por outro lado, apesar de séculos de colonização europeia do semi-árido brasileiro, ainda não há pesquisas científicas em larga escala que evidenciem:

[...] até onde os processos de uso dos recursos naturais podem sustentar-se sem promover a degradação e tão pouco se sabe em quanto a extração de lenha e produção de carvão, a pecuária e a agricultura influenciam na perda de biodiversidade, da produtividade do solo ou em outros fatores de degradação da terra (ARAÚJO *et al.*, 2002).

Nas justificativas da própria Convenção da ONU consta que "o crescimento da população e da densidade populacional contribuem para a exploração dos recursos naturais além de sua capacidade de suporte" (BRASIL, 1999). Desse modo, este aumento populacional, alimentar e energético, além do consumo cada vez maior dos recursos naturais, vem provocando importante impacto nas regiões semi-áridas. Contribui para o problema a inadequação dos sistemas produtivos que agrava o quadro social e leva população a migrar para os centros urbanos, trazendo, em última instância, um desequilíbrio regional.

No caso brasileiro, a desertificação está nitidamente vinculada ao fator de degradação da terra, implicando em redução ou perda de produtividade biológica ou econômica. Um exemplo típico é o caso do município de Cabrobó (Figura 1), em Pernambuco, onde:

[...] o desaparecimento das camadas de solo fértil da ilha (de Assunção) foi resultado direto da ação desastrosa do homem [...] projetos de irrigação mal conduzidos levaram água em excesso para o terreno e alteraram drasticamente a composição química do solo. Com as altas temperaturas do Sertão e sem um sistema de drenagem adequado, a água evaporou rapidamente e ficaram apenas os sais concentrados na terra, numa quantidade tão alta que praticamente nenhuma planta consegue sobreviver, resultando na salinização e erosão de diversas áreas (JORNAL DO COMMERCIO, 1999).



Figura 1 - Solo salinizado em Cabrobó-PE. Fonte: Jornal do Comercio (1999).

Neste contexto, Sampaio e Sampaio (2002) afirmam que “desertificação é um processo, o resultado de uma dinâmica” e “para ser caracterizada precisa-se de uma série temporal de dados”, pois um quadro instantâneo não permite avaliar uma variação no tempo.

Assim, mais do que uma multidisciplinaridade, a desertificação envolve uma transdisciplinaridade, pois permeia e perpassa várias áreas do conhecimento.

De acordo com a FAO (2003), as degradações da terra induzidas pelo homem têm cinco componentes:

a) Degradação das populações animais e vegetais (degradação biótica ou perda da biodiversidade) de vastas áreas do semi-árido devido à caça e extração de madeira (Figuras 2 e 3);



Figura 2 - Desmatamento da Caatinga para extração de madeira – Olho D'Água do Casado-AL. Fonte: MOURA (2003).



Figura 3 - Extração clandestina de madeira da Caatinga para produção de carvão vegetal – Olho D'Água do Casado-AL. Fonte: MOURA (2003).

- b) Degradação do solo, que pode ocorrer por efeito físico (erosão hídrica ou eólica e compactação causada pelo uso da mecanização pesada) ou por efeito químico (salinização ou sodificação);
- c) Degradação das condições hidrológicas de superfície devido à perda da cobertura vegetal;
- d) Degradação das condições hidrogeológicas (águas subterrâneas) devido a modificações nas condições de recarga;
- e) Degradação da infra-estrutura econômica e da qualidade de vida dos assentamentos humanos.

No Brasil, segundo o IBAMA (2003), as áreas sujeitas aos processos de desertificação correspondem, basicamente, àquelas oficialmente delimitadas como "Polígono das Secas", ocupando cerca de 1.083.790,7 km², pois estão sujeitas a períodos curtos ou prolongados de estiagens. Estende-se por boa parte do Nordeste brasileiro, atingindo também uma pequena porção ao norte do Estado de Minas Gerais, conforme ilustra a Figura 4. Trata-se, segundo o IBAMA (2003), do "Trópico Semi-árido", incorporando características climáticas do semi-árido e do sub-úmido seco, possuindo estruturas geológicas referentes ao escudo cristalino e às bacias sedimentares, morfoestruturas com blocos soerguidos e depressões apresentando formações de Caatinga e de Cerrado. Segundo dados do Censo Demográfico 1991 (IBGE, 2003), a área tem cerca de 18,5 milhões de habitantes, sendo 8,6 milhões na zona rural, com densidade demográfica de 20 hab/km². Isto representa 42% da população do Nordeste, ou, ainda, 11% da população brasileira.

O Governo brasileiro adotou, então, um padrão de predisposição ou suscetibilidade à desertificação que varia entre áreas consideradas de elevado, moderado e baixo riscos à desertificação, conforme a classe de grandeza do Índice de Aridez e os processos antrópicos de degradação da terra no semi-árido nordestino brasileiro, como ilustra a Figura 5.

O Ministério do Meio Ambiente considera que:

[...] o processo da desertificação na região semi-árida brasileira vem comprometendo de forma "muito grave" uma área de 98.595 km² e de forma "grave" área equivalente a 81.870 km², totalizando 181.000 km², com a geração de impactos difusos e concentrados sobre o território (BRASIL, 2003).

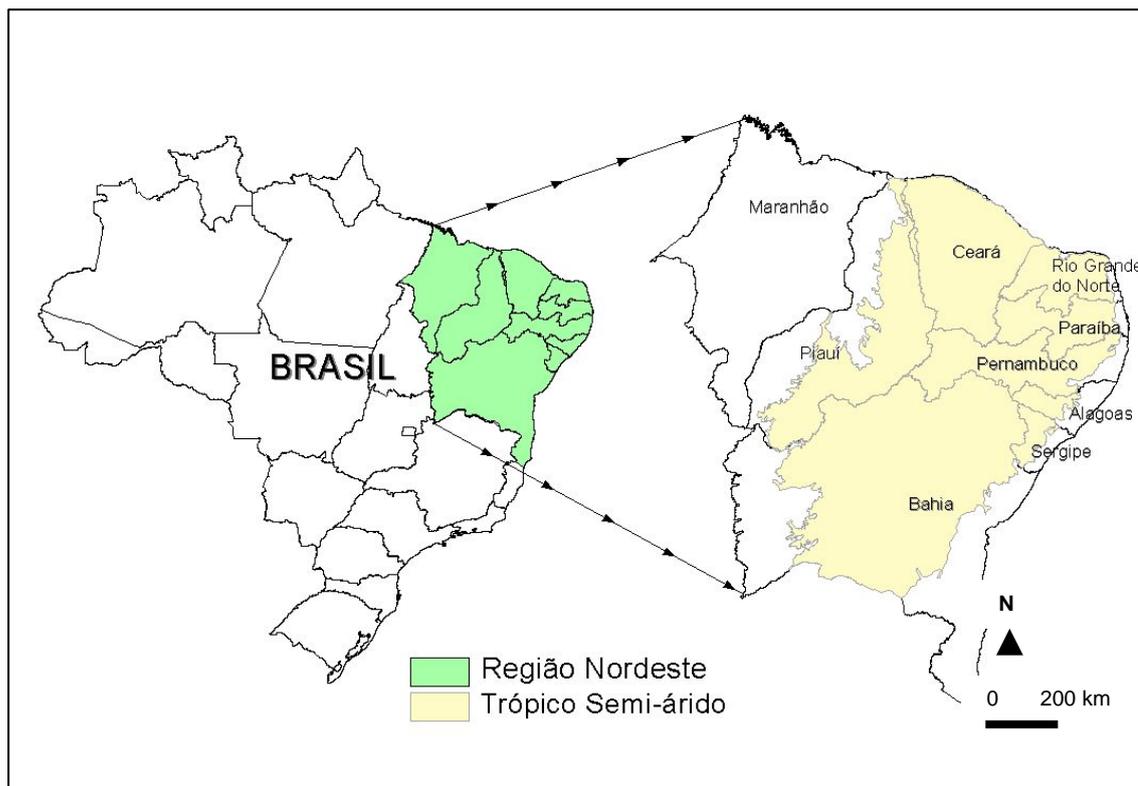


Figura 4 - Localização do Trópico Semi-árido no Brasil. Fonte: IBAMA, 2003.

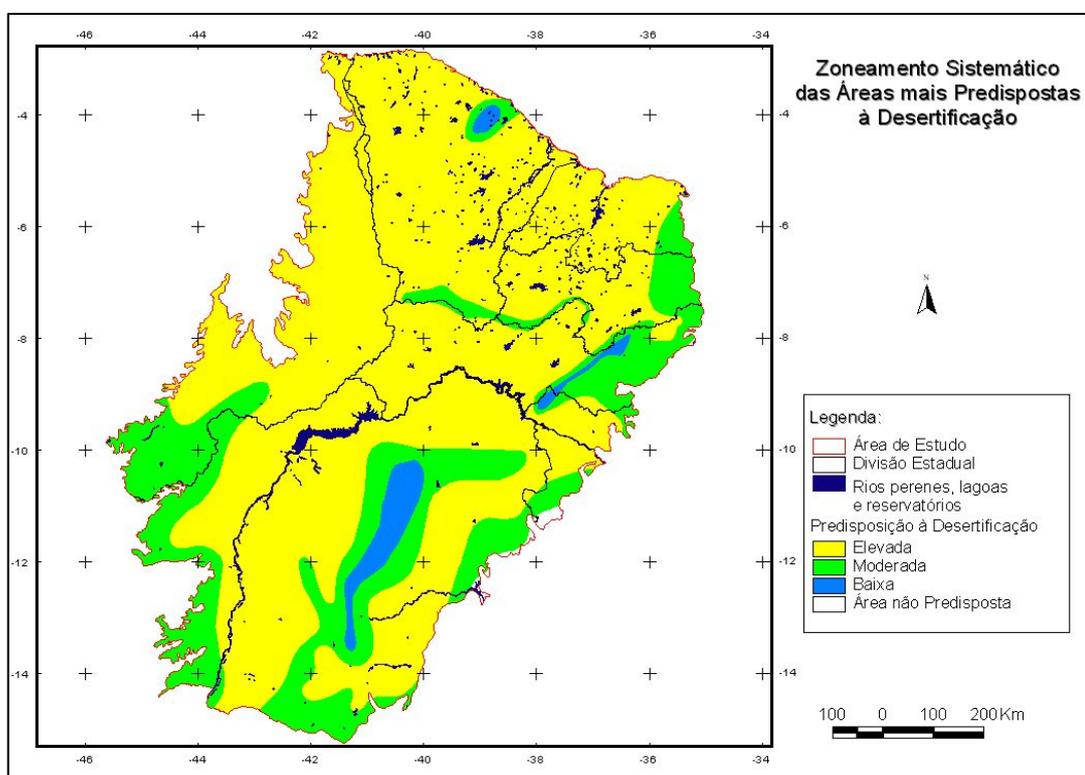


Figura 5 - Mapa de Suscetibilidade à Desertificação no Brasil. Fonte: IBAMA, 2003.

Para ilustrar o problema, o IBAMA (2003) elaborou um mapa de ocorrência de áreas desertificadas onde classifica as áreas “moderadas”, “grave”, “muito grave”, e inclui a área “Núcleos de Desertificação”, conforme mostra a Figura 6.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2003), os núcleos de desertificação são áreas limitadas onde os danos são de profunda gravidade, identificando-se quatro núcleos principais, onde tais processos podem ser considerados extremamente graves. São eles: Gilbués-PI, Irauçuba-CE, Seridó-RN e Cabrobó-PE, totalizando cerca de 15.000 km².

Trata-se de um sério e crescente problema de âmbito mundial, onde o Brasil está social, econômico, cultural e ambientalmente inserido, cabendo um papel primordial ao binômio “Ciência & Tecnologia” no sentido de prover os instrumentos, técnicas, dados e procedimentos adequados e necessários à identificação, localização, quantificação e avaliação das ações e resultados das políticas públicas de combate à desertificação, tanto no Brasil, como no mundo, esperando-se uma contribuição significativa das Tecnologias da Geoinformação ao permitir uma análise espacial do problema.

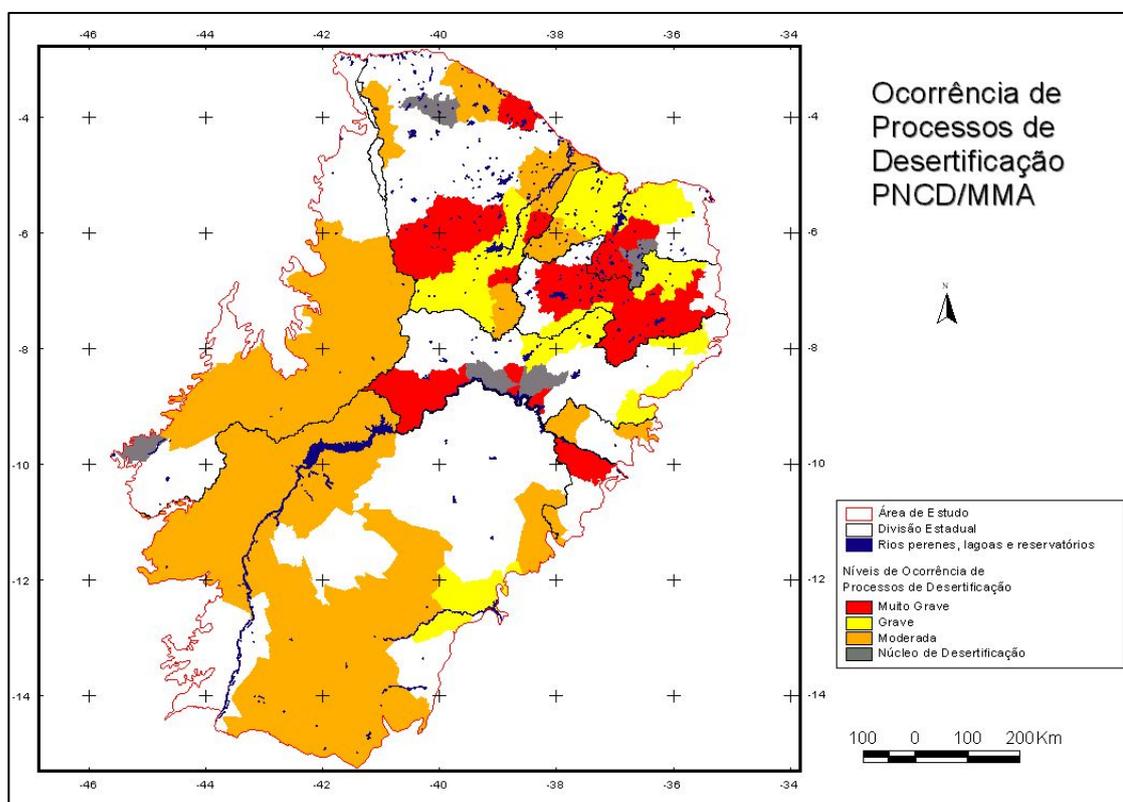


Figura 6 - Mapa de Ocorrência de Desertificação no Brasil. Fonte: IBAMA (2003).

OS INDICADORES DE DESERTIFICAÇÃO

Determinar com precisão quais são os indicadores de desertificação não é uma tarefa fácil, devido, por um lado, à falta de consenso entre os pesquisadores no âmbito mundial e, por outro, às diversas particularidades regionais. O assunto, porém, reveste-se de fundamental importância, pois os critérios adotados serão primordiais na delimitação das regiões desertificadas e, conseqüentemente, no estabelecimento de ações que darão suporte às medidas de prevenção, reabilitação e recuperação das áreas degradadas, por parte do poder público e da sociedade civil organizada, além de definir a prioridade geográfica de maior urgência de intervenção no combate à desertificação.

O processo de desertificação pode ser caracterizado como um ciclo vicioso, onde “suas causas também são seus efeitos” (ARAÚJO *et al.*, 2002). O fenômeno se inicia com a degradação crescente da cobertura vegetal para suprir, essencialmente, demandas energéticas (carvão vegetal) da população ou aberturas de novas áreas para pastagem. A partir deste início, com o curto regime de chuvas irregulares e torrenciais típico do semi-árido nordestino, começa a erosão nas áreas atingidas, que por sua vez causa a diminuição da capacidade de retenção de água pelos solos e a conseqüente redução de biomassa, uma vez que menores aportes de matéria orgânica chegam ao solo. No processo, a vegetação se torna cada vez mais rala e pobre em biodiversidade e porte, favorecendo a radiação solar que, por sua vez, disseca ainda mais o solo e acelera a erosão, aumentando a aridez, e retroalimentando um processo de “simplificação ecológica, onde a ação do homem tem tido papel fundamental”.

Detalhando suas causas, o IBAMA (2003) lista os principais agentes considerados desencadeadores da desertificação:

- Expansão e intensificação de uso agrícola sobre terras secas, não respeitando sua capacidade de suporte;
- Redução dos períodos de pousio dos campos de cultivo ou pastagem, não atendendo o tempo necessário à sua recomposição;
- Utilização de técnicas de irrigação mal dimensionadas, não dispendo de adequado sistema de drenagem ou baseando-se na utilização de águas de qualidade duvidosa;
- Intensa coleta ou corte de plantas para alimentos, fins medicinais, energéticos, de construção civil ou assemelhados, reduzindo o material genético;
- Desmatamento indiscriminado, especialmente atingindo grandes extensões, encostas, nascentes, áreas de solo incipiente ou pobre;

- Queimadas, implementadas periódica e sistematicamente desassociadas à utilização de técnicas de manejo ou controle;
- Sobrepastoreio, ignorando a capacidade de suporte do ambiente;
- Mineração, realizada à parte de um sistema de manejo e recuperação dos recursos;
- Falta de políticas de uso da terra, para proceder ao zoneamento das áreas e disciplinar o uso e ocupação dos solos;
- Elevadas concentrações populacionais ou repentinos afluxos migratórios, sobrecarregando os recursos naturais;
- Falta de ajustes das atividades antrópicas às naturais flutuações do ambiente;
- Forças internacionais que estimulam a superexploração dos recursos; entre outros.

Por sua vez, considerando os aspectos climáticos, hidrogeológicos, morfodinâmicos, edáficos, fitogenéticos, zoogenéticos e antrópicos, resultam da desertificação as seguintes conseqüências (IBAMA, 2003):

- Redução da precipitação atmosférica e do episódico fornecimento de água ao solo;
- Redução de reservas hídricas;
- Elevação do lençol freático;
- Mudanças no macro e microclima;
- Aumento da aridez;
- Salinização dos solos e dos recursos hídricos;
- Exposição dos solos;
- Compactação dos solos;
- Impermeabilização dos solos;
- Acúmulo de substâncias tóxicas nos solos;
- Surgimento e movimentação de dunas;
- Atividade e aceleração de processos de erosão hídrica e eólica;
- Perda de nutrientes e microorganismos do solo;
- Mudanças no padrão de drenagem;
- Assoreamento de rios, reservatórios, áreas úmidas e sistemas marinhos;
- Mudanças na composição da vegetação;

- Redução das populações;
- Risco à extinção de espécies;
- Redução da biodiversidade (vegetal, animal e da paisagem);
- Colonização por invasoras;
- Redução da viabilidade de energéticos florestais;
- Desaparecimento da fauna nativa;
- Redução da viabilidade de materiais naturais de uso ou importância cultural;
- Perda de rebanhos;
- Perda de produtividade agrícola;
- Importação de produtos básicos;
- Mudanças nos sistemas de produção;
- Empobrecimento da população;
- Desestruturação da sociedade;
- Abandono de terras;
- Êxodo rural;
- Perda do conhecimento tradicional das áreas abandonadas;
- Fomento da instabilidade política na região;
- Redução das condições de saúde;
- Emigração;
- Aumento das tensões sociais em áreas receptoras de migrantes;
- Criação de bolsões de pobreza;
- Aumento da dependência de benefícios do Estado; entre inúmeros outros.

Vasconcelos Sobrinho (1978) formulou as primeiras tentativas científicas no Brasil de determinar indicadores para os processos de desertificação, ao defender que “a desertificação é um fenômeno de sistemas no qual intervêm o clima, os solos, a flora, a fauna e o homem”, sendo causada pela fragilidade dos ecossistemas frente à pressão excessiva exercida pelas populações humanas ou às vezes pela fauna autóctone, perdendo produtividade e capacidade de recuperação autônoma.

Em 1991, Ferreira *et al.* (1994) sugeriram 19 indicadores de desertificação, a partir das proposições de Rodrigues *et al.* (1992) feitas em 1982, baseando-se no critério de “presença/ausência” ao nível de microrregião. Segundo Araújo *et al.* (2002), esta forma de análise “linearizou o efeito dos indicadores, desconsiderando seus pesos e suas classes de intensidade ou frequência”, pois muitos indicadores apresentavam ambivalência, sobreposição e/ou interação, comprometendo o modelo defendido pelos autores. Ao basear a análise em dados censitários e bibliográficos, o modelo deixou a desejar pela ausência de dados de campo que evidenciassem a dinâmica dos indicadores.

Outra questão falha na determinação destes indicadores de desertificação, também evidenciada por Sampaio e Sampaio (2002), diz respeito à escala dos dados, muitas vezes restritos a microrregiões consideradas “homogêneas”, quando, na verdade, as tendências de comportamento espacial dos dados são desprezadas, mesmo considerando-se como unidade administrativa de trabalho o município. Assim, a precisão da análise cai, pois como localizar aqueles dados que não seguem fronteiras políticas, como, por exemplo, o desmatamento? Técnicas de Processamento Digital de Imagens em Sensoriamento Remoto esclarecem a questão ao permitir, por exemplo, o registro da energia eletromagnética refletida pelos alvos terrestres em resolução espacial compatível com as escalas desejadas.

Com o propósito de uniformizar os procedimentos de identificação e monitoramento dos processos de desertificação, Matallo (1999) propôs uma extensa e criteriosa metodologia que agrupa os indicadores em dois grandes grupos: Situação (Quadro 1) e Desertificação (Quadro 2). Esta classificação representa um marco referencial de consenso entre os pesquisadores da atualidade.

Como Indicadores de Situação, estão agrupados aqueles indicadores voltados aos dados sociais, econômicos e climáticos. Uma vez que o antropismo é determinante para a degradação ambiental, os dados sócio-econômicos caracterizariam áreas de risco à desertificação, assim como os indicadores de precipitação, insolação e evapo-transpiração – todos constantemente monitorados segundo métodos adequados. No outro grupo, como Indicadores de Desertificação propriamente ditos, estariam os indicadores ambientais: índices de vegetação, solos e recursos hídricos. Segundo o autor, os indicadores devem ser usados em combinação, “pois nenhum deles pode, sozinho, prover as informações necessárias para o diagnóstico da desertificação” (MATALLO, 1999). Apreende-se deste modelo a complexidade e, mais que a multidisciplinaridade, uma transdisciplinaridade do estudo dos processos de desertificação. São necessários diversos estudos regionais e locais, em escalas apropriadas e compatíveis, levando-se em consideração a grande diversidade do semi-árido brasileiro. Neste contexto, Matallo (1999) concluiu que “o sistema de indicadores existentes, ainda que insuficientes e necessitando de desenvolvimentos, são os únicos instrumentos disponíveis para a compreensão do problema”.

Indicadores de Situação	Definição	Unidade de medida	Método	Periodicidade
Clima				
Precipitação	Quantidade de chuva que cai numa determinada região num certo período de tempo.	mm/dia/mês/ano	Coleta em estações meteorológicas	Diário
Insolação	Nº de horas diárias (duração) e intensidade de radiação total, o que permite que se calcule a evapo-transpiração potencial.	Horas/ano	Coleta em estações meteorológicas	Diário
Evapo-transpiração	É a perda de água para a atmosfera, na forma de vapor. O seu conhecimento, associado com o ganho de água por meio da precipitação, permite determinar a disponibilidade hídrica de uma região.	mm/dia/mês/ano	Coleta em estações meteorológicas	Diário
Sociais				
Estrutura de Idades	Indicador dos efeitos da desertificação sobre a população humana local. Pode ser expressa como a relação entre o nº de crianças, homens, mulheres e velhos em relação à população total.	% de homens, mulheres, crianças e velhos em relação à população total.	Censo demográfico	Decenal
Taxa de Mortalidade Infantil	Nº de mortes de crianças, com menos de um ano, para cada mil nascidas vivas.	Óbitos/1000	Censo e Pesquisa hospitalar	A cada 10 anos para o censo e 2 anos para a pesquisa hospitalar
Nível Educacional	Nº de anos com educação formal.	Pessoas/nº de anos de frequência à escola	Pesquisa educacional	Decenal ou quinquenal
Econômico				
Renda Per Capita	Expressa a média de rendimentos por hab, permitindo verificar o nível de vida.	US\$ por hab por mês ou ano	Pesquisa amostral domiciliar	A cada 2 anos
Outro	Ocupação do solo agrícola por tipo de cultura (permanente, temporária, pastos nativos, pastos plantados, matas nativas).	Área/tipo de cultura	Censo Agropecuário	Decenal

Quadro 1 - Indicadores de Situação: Social, Econômica e Climática. Fonte: Matallo (1999).

Indicadores de Desertificação	Definição	Unidade de medida	Método	Periodicidade
Biológicos				
Cobertura Vegetal	Porcentagem de uma determinada área com cobertura vegetal nativa. As mudanças da cobertura vegetal original são os primeiros indícios da ocupação humana. Sua importância fundamental está na proteção que exerce sobre o solo contra os efeitos erosivos. Sua eliminação ou diminuição, acompanhadas de técnicas inadequadas de uso e manejo dos solos, permite que se iniciem e acelerem os processos de desertificação.	% de cobertura vegetal nativa em relação à área total	Imagens orbitais	A cada 5 anos; anual ou a determinar.
Estratificação da Vegetação	Nº de estratos existentes numa determinada área. Em geral, os processos de desertificação uniformizam a vegetação em termos de estratos e nº de espécies. As áreas mais degradadas têm um único estrato.	Nº de estratos	Pesquisa de campo por amostra de território	A determinar
Composição específica	Espécies nativas existentes na área. Por extinção ou eliminação natural do sistema, as espécies tendem a diminuir com o tempo. Isto se relaciona com o antropismo e os métodos inadequados de manejo.	Nº de espécies	Pesquisa de campo por amostra de território	A determinar
Espécies indicadoras	Espécies associadas ao fenômeno de degradação de um ecossistema. Existem espécies que indicam o processo de empobrecimento do solo, seja por perda de fertilidade, por erosão ou salinização.	Nº de espécies	Pesquisa de campo por amostra de território	A determinar
Físicos				
Índice de Erosão	Identifica o processo de desagregação e transporte de sedimentos pela ação da água ou dos ventos. Permite identificar os locais com maiores índices de degradação.	Não tem unidade específica. Sua gradação indica áreas "Muito grave", "Grave" e "Moderada".	Imagens orbitais	A cada 5 anos
Redução de disponibilidade hídrica	Redução da disponibilidade efetiva de recursos hídricos de superfície e/ou subterrâneos.	Vazão e nível dos lençóis subterrâneos	Monitoramento hídrico	Anual ou a determinar

(continuação da tabela da página anterior)

Ind. Agrícolas				
Uso do solo agrícola	Ocupação do solo agrícola por tipo de cultura (permanente, temporária, pastos nativos, pastos plantados, matas nativas).	Área/tipo de cultura	Imagens orbitais	A cada 5 anos
Rendimento dos Cultivos	Quantidade de um determinado produto colhido por unidade de área. Existem parâmetros conhecidos para a produtividade das culturas nos vários tipos de clima.	kg/ha	Pesquisa Agrícola	A cada 1 ou 2 anos
Rendimento da Pecuária	Quantidade média de produção de carne e derivados para cada animal (por tipo de rebanho)	hab/km ²	Coleta de informação sobre a produção animal	A cada 1 ou 2 anos
Outro				
Densidade Demográfica	Razão do n° de habitantes por km ² . Pode ser aplicado a município, microrregião ou estado. Dada as condições de semi-aridez, as condições dos solos, a disponibilidade de água da região e a capacidade de suporte da mesma, adotou-se como fator de pressão sobre o meio ambiente, a densidade igual ou superior a 20 hab/km ² . As informações são coletadas de dados censitários.	hab/km ²	Censo	Decenal

Quadro 2 - Indicadores de Desertificação. Fonte: Matallo (1999).

Vianna e Rodrigues (1999) propuseram um “Índice Interdisciplinar de Propensão à Desertificação”, construindo uma matriz de variáveis naturais, agrícolas, econômicas, demográficas e sociais, diretamente relacionadas com o fenômeno. Aplicando um modelo estatístico multivariado, os autores elaboraram um índice para detecção de desertificação no Ceará, baseado nos indicadores propostos pela Convenção sobre Desertificação da ONU. Utilizaram uma formulação matemática fundamentada em 65 variáveis que representassem propensão à desertificação. Entretanto, devido à escala do problema na vasta região em estudo, o método deixa de observar as variações espaciais mencionadas por Sampaio e Sampaio (2002), ao considerar a unidade de pesquisa por município, excluindo, por exemplo, as possibilidades de dados espectrais e temporais oriundos das imagens orbitais.

Pelas facilidades de Análise Espacial com dados advindos de imagens de satélite, Accioly *et al.* (2001) afirmam que “um dos indicadores da desertificação é a redução da cobertura de plantas perenes”, aliado à degradação dos solos em áreas com menor cobertura vegetal. Segundo os autores, estas duas condições provocam o aumento do albedo das superfícies sujeitas à degradação.

Portanto, no contexto desta pesquisa, referente aos indicadores de desertificação, observou-se que:

- a) O consenso das referências bibliográficas indica as reais possibilidades de extração de informações pertinentes à detecção de processos de desertificação através de imagens de satélite;
- b) A complexidade dos indicadores propostos e as reais condições de aquisição de dados no âmbito de uma pesquisa acadêmica no Brasil não permitem uma abrangência universal dos indicadores propostos;
- c) Uma combinação de indicadores de desertificação pode trazer uma valiosa contribuição à pesquisa científica na região em estudo, a partir da manipulação e análise dos dados disponíveis e significativos para a escala e área de estudo proposta;
- d) A urgência que o problema requer frente aos novos desafios para a sociedade brasileira, especialmente no campo do desenvolvimento sustentável, justificam a aquisição, modelagem e tratamento dos dados do maior número possível dos indicadores propostos pelos autores.

Uma vez que os solos predominantes na área de estudo têm características semelhantes quanto à fragilidade (erosão) e deficiência em matéria orgânica (SUDENE, 1975; EMBRAPA, 1999), considerou-se para a detecção de desertificação na área de estudo os seguintes indicadores, da classificação proposta por Matallo (1999) e que são essenciais à compreensão do fenômeno na Região de Xingó:

a) Indicadores de Situação:

- Precipitação Pluviométrica

b) Indicadores de Desertificação:

- Cobertura Vegetal
- Estratificação da Vegetação
- Uso do Solo Agrícola
- Densidade Demográfica

A metodologia consistirá, então, em formular um índice de detecção de áreas desertificadas ou passíveis de desertificação, baseando-se nos critérios acima mencionados e modelados através das técnicas de Processamento Digital de Imagens orbitais, integradas a um Sistema de Informação Geográfica, conforme será apresentado posteriormente.

O DOMÍNIO DA CAATINGA

Descrição Geográfica

A característica típica de dispersão da vegetação no domínio do semi-árido, predominando as espécies arbustivas e o substrato herbáceo, permitindo facilmente a passagem dos raios solares, induziu os habitantes primitivos da região a denominá-la de caatinga (Figura 7), isto é, “mata clara”, em tupi-guarani.



Figura 7 - A biodiversidade da Caatinga na Reserva Ecológica de Xingo-AL. Fonte: Moura (2003).

O Nordeste brasileiro tem em torno de 80% de sua extensão classificada como semi-árida, possuindo cerca de 34 milhões de hectares com Caatinga (Figura 8) e expandindo-se pelos nove estados que compõem a região (REIS, 1984). Os restantes 20% são formados, basicamente, pela mata Atlântica, cerrados e zonas de coqueirais. “A Caatinga, seu principal componente, além de rigorosamente atingida pela seca, sofre um processo de devastação provocado pelo próprio homem”. Portanto, as tecnologias que permitam mapear os processos de desertificação revestem-se de fundamental importância para a proteção das áreas naturais ainda existentes e, também, para a recuperação de áreas degradadas do meio ambiente.

Segundo Lins e Albuquerque (2001), em relação à área, os estados da região têm mais de 50% de seu território inserido no semi-árido, com exceção de Minas Gerais (9,4%) e Alagoas (42,8%). O Censo 2000 evidenciou a mudança na estrutura zonal da população, indicando que a maioria da população (56,5%) passou a viver nas áreas urbanas, exceto no Piauí, onde a população rural é de 53,5% (IBGE, 2003).

Podem-se obter diversos conceitos de regionalização, prevalecendo, entretanto, aqueles que preservam a noção de “um conjunto de lugares contíguos, similares ou relacionados entre si, segundo critério previamente definido” (LINS; ALBUQUERQUE, 2001).

Assim, para uma melhor compreensão da área de domínio da Caatinga, adotaram-se os critérios referentes ao clima, relevo, solo, hidrografia e vegetação para uma melhor apropriação das características deste ecossistema.

Clima

Segundo Andrade-Lima (1981), o clima na região é tropical-quente e seco ou semi-árido do tipo BShs'w', na classificação de Köppen, ou Xerotermomediterrâneo quente e seco acentuado e Termomediterrâneo de seca média, de acordo com a classificação de Gaussen.

Caracteriza-se pela forte insolação, baixa nebulosidade, elevadas taxas de evaporação, temperatura constante e relativamente alta, além de um regime de chuvas marcado pela escassez, irregularidade e concentração das precipitações num curto período de aproximadamente três meses (LINS; ALBUQUERQUE, 2001). As chuvas são convectivas e ocorrem sob a forma de fortes aguaceiros de rápida duração, o que favorece a erosão dos solos pelo rápido escoamento e baixa taxa de infiltração dos solos, agravando as condições de umidade das plantas.

Durante o fenômeno do El Niño, no Pacífico Sul, ocorrem as secas prolongadas na região (LINS; ALBUQUERQUE, 2001).

Em média, a precipitação pluviométrica na região situa-se entre 350 e 800 mm/ano, porém, a elevada taxa de evapo-transpiração potencial (2.000 mm/ano), combinada com uma insolação média de 2.800 h/ano, caracteriza o alto índice de aridez observado em toda a extensão das caatingas. As médias mensais de temperatura situam-se entre 23° e 27°C, com umidade relativa do ar em torno de 50% (SUDENE, 1983). Na estação chuvosa, entretanto, pode ocorrer grande variação de temperatura entre o dia e a noite (ANDRADE-LIMA, 1981).

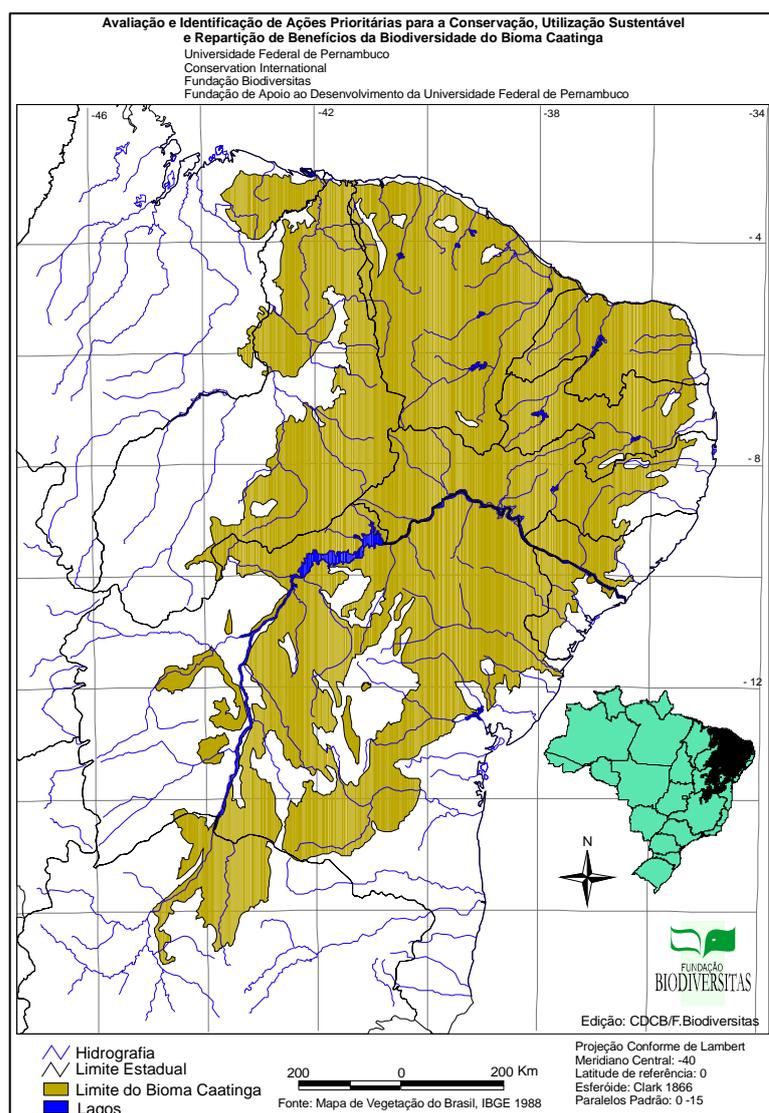


Figura 8 - O domínio da Caatinga no Nordeste brasileiro. Fonte: UFPE (2003).

Relevo

Predomina o relevo aplainado, suavemente ondulado nos pediplanos e pedimentos sertanejos, “com maciços e *inselbergs* residuais, bem como escarpas de falhas e cristas estruturais, além de formas tabulares de *cuestas*, nas áreas sedimentares” (LINS; ALBUQUERQUE, 2001). Neste aspecto, a drenagem é pouco encaixada em vales largos e de vertentes pouco inclinadas, pouco favorecendo a barragem dos rios, exceto pelo rio São Francisco, principalmente nas regiões de *canyons* entre Delmiro Gouveia-AL e Pão-de-Açúcar-AL. Entretanto, algumas construções de pequenas barragens têm sido executadas

em boqueirões superimpostos por cursos d'água em determinadas cristas residuais, favorecendo a perenização de rios na região para minimizar os efeitos das secas. No estado de Alagoas, contudo, pode ocorrer um relevo forte ondulado e montanhoso, como em Olho D'Água do Casado, com pequenos afloramentos de arenito do período Siluriano (SUDENE, 1975) em áreas sedimentares.

Solos

Basicamente, predominam no semi-árido os solos com maior teor de areia na parte sedimentar do Arenito Paleozóico e, na feição argilosa associada com silte e areia, no Cristalino do Pré-Cambriano. Estes podem ser pedregosos, pobres em matéria orgânica, mas com regular teor de cálcio e potássio (Quadro 3). Segundo Lins e Albuquerque (2001), “os solos rasos e pedregosos são derivados principalmente de rochas cristalinas, praticamente impermeáveis, nas quais as possibilidades de acumulação de água no subsolo se restringem às zonas fraturadas”, dependendo, na maior parte, do relevo.

Hidrografia

Devido ao regime limitado de precipitação pluviométrica, aliado à reduzida capacidade de retenção de água pelos solos rasos na região do semi-árido brasileiro, o regime dos rios é basicamente temporário, atingindo o ponto de esgotamento no mês subsequente ao término da estação chuvosa, ficando, assim, de 100 a 200 dias secos ao ano. Exceção se faz ao rio São Francisco que é perene durante todo o ano, embora os índices de vazão venham decaindo nos últimos anos, de acordo com registros sistemáticos da CHESF (2001), propiciando, inclusive, uma grave crise no fornecimento de energia elétrica para o Nordeste, como verificado em 2001.

Assim, constata-se que a hidrografia na região é, essencialmente, formada por rios intermitentes, de cursos retilíneos em leitos rasos e rochosos, muitas vezes preenchidos com material arenoso em estreitas faixas de aluvião (LINS; ALBUQUERQUE, 2001), destacando-se as bacias do São Francisco, do Parnaíba, do Nordeste oriental, de Sergipe e da Bahia.

Solo	Localização*	Características básicas**
Latossolo Amarelo	Topos e vertentes de relevo suave ondulado	Não hidromórfico, com argila de atividade baixa, fortemente ácidos e de baixa fertilidade natural, possuem perfis bem diferenciados, com profundidade variando de 20 cm a 1 metro.
Latossolo	Tabuleiros baixos estreitos	Não hidromórficos, baixo conteúdo de minerais primários, inexistência de argila natural, elevado grau de estabilidade dos agregados, alta resistência ao intemperismo e à erosão devido a baixa mobilidade da fração argila, normalmente profundos ou muito profundos (> 2 metros).
Luvissolo Crômico Órtico	Vertentes íngremes de entalhes e relevo suave ondulado	Não hidromórfico, com argila de atividade alta, alta fertilidade natural, por apresentar na sua composição mineralógica elevados teores de minerais primários, fontes de nutrientes para as plantas; moderadamente profundos a rasos (variando de 30 a 90 cm), textura variando abruptamente de arenosa para argilosa; altos níveis de degradação ambiental.
Neossolo Litólico	Topos das cristas e relevo plano	Pouco desenvolvido raso a muito rasos, com um horizonte A diretamente sobre a rocha (R) ou sobre materiais da rocha em grau bastante avançado de intemperização; existência de algumas culturas de subsistência (milho e feijão), algodão e palma forrageira; devido às limitações fortes a muito forte de água, pedregosidade, rochiosidade e pequena profundidade têm pouca utilização para a agricultura; muito suscetíveis à erosão, sobretudo nas áreas de relevo acidentado, sendo possíveis de utilização apenas pelos sistemas agrícolas primitivos com uso de implementos manuais.
Afloramento Rochoso	Encostas íngremes e relevo plano	Podem ser de origem sedimentar ou cristalina. São rochas expostas em processo intemperismo.
Neossolo Regolítico	Baixas vertentes e topos de relevo tabular das áreas sedimentares	Pouco desenvolvidos, arenosos, às vezes com cascalho ou cascalhentos, muito profundos a moderadamente profundos, muito porosos, apresentam teores médios a altos de minerais primários facilmente decomponíveis; a drenagem está em função da profundidade do fragipan e da rocha, podendo variar de moderada a excessiva, mas são normalmente bem drenados; estrutura maciça moderadamente coesa ou muito coesa, de consistência dura quando seco; ocupam grandes extensões do trópico semi-árido, sendo utilizados em culturas de ciclo curto (mandioca, milho, feijão, algodão herbáceo, palma forrageira), cajueiros e pastagens.
Neossolo Quartzarênico	Relevo plano na base das encostas íngremes com afloramento rochoso	São basicamente formados por grãos de quartzo. São solos bem drenados de origem sedimentar utilizado principalmente para o cultivo de feijão e milho e de <i>Anacardium occidentale</i> (caju).

Quadro 3 - Solos predominantes na Caatinga. Fonte: Adaptado de Lins e Albuquerque (2001), SUDENE (1975) e EMBRAPA (1999).

Vegetação

Predomina na região do semi-árido brasileiro o ecossistema de caatinga, onde a vegetação pode ser de porte arbóreo com altura do dossel maior que 10 metros e diâmetro ao nível do peito maior que 20 cm (Figuras 9 e 10) ou arbustivo com árvores esparsas,

possuindo um porte médio de 2,5 metros de altura e arvoretas com mais de 3 metros, e diâmetro ao nível do peito não ultrapassando mais que 10 cm (Figura 11). Na área concentram-se mais arbustos eretos e ervas ruderais que florescem no período chuvoso, secando em seguida (ANDRADE-LIMA, 1981). As espécies vegetais são lenhosas, decíduas e espinhentas, com elevado grau de xerofilismo (LINS; ALBUQUERQUE, 2001), muitas delas são das famílias *Malvaceae*, *Caesalpinaceae*, *Mimosaceae*, *Fabaceae*, *Bromeliaceae*, *Euphorbiaceae* e *Cactaceae* (SUDENE, 1975).

A vegetação de Caatinga possui características fisiológicas e anatômicas que impedem ao máximo a perda d'água ex: o caule suculento das Cactáceas, a cutícula espessa das Bromeliáceas, as túberas aquíferas de *Spondias tuberosa* (umbu) Anacardiáceas (ANDRADE-LIMA, 1972; BAUTISTA, 1988) e raízes bem desenvolvidas, grossas e penetrantes, para aumentar a adaptação às condições de semi-aridez da região (LINS; ALBUQUERQUE, 2001).

Segundo Andrade-Lima (1981), a vegetação de Caatinga cresce em diferentes tipos de solos, de acordo com a profundidade, fragilidade e composição arenosa, florescendo na estação chuvosa, principalmente as herbáceas e escavando-se no solo durante a estação seca. Entretanto, duas ou três espécies podem manter suas folhas verdes, como a *Ziziphus joazeiro* Mart. (juazeiro) e a *Maytenus rigida* Mart. (bom nome).

Como dito, de um modo em geral, a caatinga apresenta diferenças fisionômicas quanto ao porte (arbóreo, arbóreo-arbustivo e arbustivo) e a densidade (densa, pouco densa e aberta). Na caatinga de densidade aberta ou pouco-densa a penetração de raios solares permite o desenvolvimento do substrato herbáceo, com grande dispersão de indivíduos. Entretanto, devido ao menor ou maior grau de xerofilismo (relacionado com o grau de aridez onde ocorre), a vegetação também pode ser classificada em Caatinga hipoxerófila e hiperxerófila (SUDENE, 1975).

A caatinga hipoxerófila é menos seca que a caatinga hiperxerófila, pois se situa numa região de clima menos seco, na faixa bioclimática entre 120 a 150 dias biologicamente secos (db). As faixas bioclimáticas foram construídas a partir de dados meteorológicos da SUDENE (pluviométricos e de temperatura) da série de 1912 a 1985, associados à altitude, geologia, morfologia e solos, assim podem-se comprovar as áreas úmidas e como se reflete na vegetação (ASSIS, 2000). Suas espécies mais conhecidas são: *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (catingueira), *Senna splendida* (Vogel) Irwin & Barneby (canafístula), *Erythrina velutina* Willd (mulungu) e *Anadenanthera columbrina* Benth. (angico), dentre outras. Esta é a vegetação mais atingida pela destruição ambiental, antropismo, onde se destacam as

seguintes classes de solos: Neossolo Regolítico, Planossol Háplico, Luvisolo Crômico Órtico e Neossolos Litólicos.

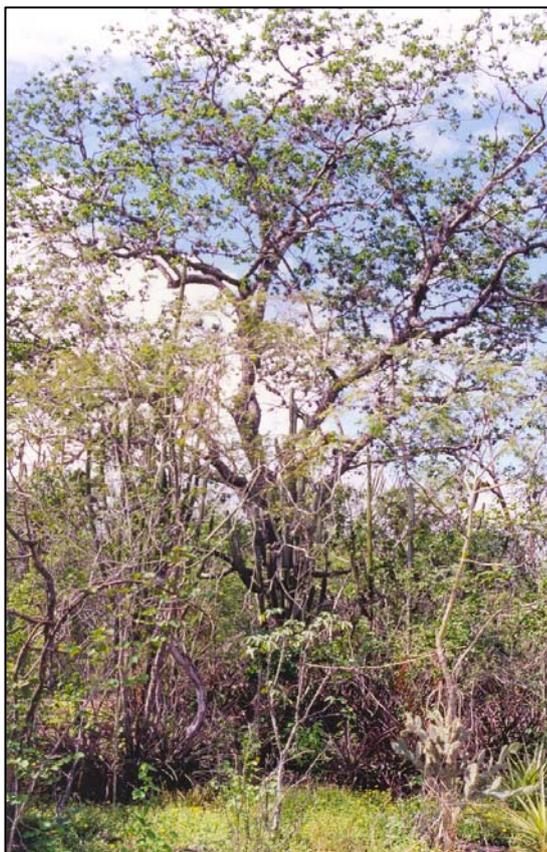


Figura 9 - Caatinga Arbórea aberta, Reserva Ecológica de Xingo-AL. Fonte: Moura (2003).



Figura 10 - Caatinga Arbórea densa, Reserva Ecológica de Xingo-AL. Fonte: Moura (2003).



Figura 11 - Caatinga Arbustiva pouco-densa, Reserva Ecológica de Xingo-AL.
Fonte: Moura (2003).

Por outro lado, a caatinga hiperxerófila se apresenta mais seca, estando inclusa na faixa bioclimática de 150 a 180 dba (ASSIS, 2000), constituindo-se em uma vegetação típica do semi-árido, predominando na região do São Francisco e do Sertão (SUDENE, 1975) Tem pequeno porte, arbustiva ou arbustivo-arbórea, onde se destacam as seguintes espécies: *Aspidosperma pyrifolium* Mart. (pereiro), *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (catingueira), *Pilosocereus gounellei* Weber. (xique-xique), *Sideroxylon obtusifolium* (Roem & Schult.) (quixabeira) e *Maytenus rigida* Mart. (bom nome), dentre outras. Nesta vegetação predominam os solos Neossolo Regolítico, Neossolo Litólico, Planossol Solódico e Luvisolo Crômico Órtico.

Existe ainda uma outra classe de caatinga: de várzea e mata ciliar com plantas aquáticas ex: *Eichornia paniculata* (Mart.) Solms e *Echinodorus grandiflora* (Cham. et Schlecht.) Micheli, que possui fisionomia semelhante à caatinga hipoxerófila, arbustiva e pouco densa, manifestando-se nas margens e pequenas ilhas do rio São Francisco, especialmente nos municípios de Belo Monte-SE e Pão-de-Açúcar-AL.

Concluindo, o Trópico do Semi-árido brasileiro, sob o ponto de vista ambiental, possui um sistema dinamicamente equilibrado, formado por plantas, clima, geologia morfologia e solos, cujas espécies vegetais adaptaram-se à escassez de água, predominando os solos delgados e pouco desenvolvidos, exigindo manejo agropecuário adequado à sua capacidade de suporte.

O DESAFIO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO SEMI-ÁRIDO NORDESTINO

Água, ar, solo, fauna e flora são os recursos naturais dos quais depende toda a vida no planeta. Nas últimas décadas, entretanto, a preocupação com a questão ambiental tem se intensificado, à medida que a sociedade vem tomando consciência de que não se podem explorar arbitrariamente esses recursos naturais.

Ao longo da História, praticamente todas as principais civilizações dependiam essencialmente dos produtos da biomassa para sua vida material: “alimentos, ração animal (como é o caso até hoje), e também combustível, fibras para vestimentas, madeira para construção de abrigos e mobiliário, plantas curativas” (SACHS, 2000). A questão não é retroceder aos modos ancestrais de vida, mas sim apropriar-se dos conhecimentos adquiridos ao longo de experiências ancestrais no trato com os ecossistemas, aliando-se às ciências de ponta para, enfim, promover o novo paradigma do “biocubo”, baseado na biodiversidade, biomassa e biotecnologia (Figura 12). Isto requer uma abordagem holística e interdisciplinar, onde todos devem objetivar o uso e aproveitamento dos recursos da natureza, uma vez que as atividades econômicas estão indissoluvelmente associadas ao ambiente natural.

Segundo o Relatório Brundtland (1987) da ONU, o desenvolvimento sustentável “responde às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer as suas próprias necessidades”, transcendendo a conservação intacta do capital físico, onde “os resultados, e não os meios, devem ser sustentáveis, a não ser que os recursos ambientais que servem como matéria-prima sejam valorizados por si próprios” (CUÉLLAR, 1997), como no caso da Reserva Ecológica de Xingó.

Dessa forma, o desafio do desenvolvimento sustentável consiste, basicamente, em esclarecer como a moderna civilização da biomassa conseguirá cancelar a enorme dívida social histórica, e ao mesmo tempo, reduzir a dívida ecológica. SACHS (2000) menciona o fato de que “o uso produtivo não precisa necessariamente prejudicar o meio ambiente ou destruir a diversidade”, pois a aplicação das modernas ciências pode desenvolver sistemas de produção artificiais, análogos aos ecossistemas naturais, adaptados às diferenças agroclimáticas e sócio-econômicas e altamente produtivos. Assim, a relevância social, a prudência ecológica e a viabilidade econômica são os três pilares do desenvolvimento sustentável.

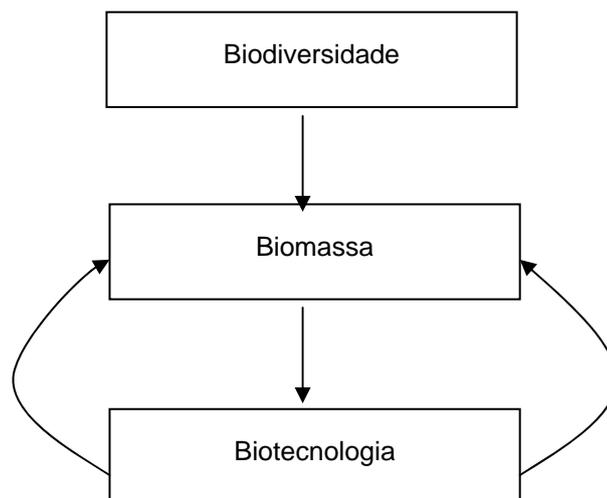


Figura 12 - O paradigma do "Biocubo". Fonte: Adaptado de SACHS, 2000.

No caso brasileiro, o clima tropical apresenta uma vantagem competitiva natural, pois permite produtividades maiores em relação às zonas temperadas. Algumas atividades agrícolas, como a fruticultura irrigada e a piscicultura em tanques-rede do sertão do São Francisco, por exemplo, têm comprovado esta vantagem particular do semi-árido nordestino. Claro que é necessário ter cuidado com os frágeis ecossistemas locais, observando os limites de carga do bioma Caatinga.

Entretanto, a simples conservação da natureza não pode ter exclusivamente a opção de "não-uso" dos recursos naturais, mas sim uma busca pela harmonia com as necessidades das comunidades que habitam esses ecossistemas, onde o simples crescimento dê lugar ao desenvolvimento econômico. Embora o desenvolvimento sustentável seja evidentemente incompatível com "o jogo sem restrições das forças do mercado", necessário se torna implementar estratégias de economia de recursos urbanos e rurais em atividades "ecoeficientes" (reciclagem, aproveitamento de lixo, conservação de energia, água e recursos, infra-estruturas, dentre outras), respeitando a diversidade cultural. Neste contexto, Morin (2000) admite que "a Humanidade deixou de constituir uma noção apenas biológica e deve ser, ao mesmo tempo, plenamente reconhecida em sua inclusão indissociável na biosfera".

Ao ampliar o tema para o DLIS, observa-se que "quando se fala em desenvolvimento fala-se, portanto, em melhorar a vida das pessoas (desenvolvimento humano), de todas as pessoas (desenvolvimento social), das que estão vivas hoje e das que viverão amanhã (desenvolvimento sustentável)", segundo Franco (2000).

Assim, a estratégia para o desenvolvimento sustentável no semi-árido brasileiro consiste em reunir o conhecimento científico disponível e aplicá-lo de forma sensível à

questão ambiental, especialmente devido a fragilidade e lenta restauração da caatinga, não esquecendo as necessidades históricas e urgentes de crescimento econômico destas populações, baseando-se no “ecodesenvolvimento”. Como afirmou SACHS (2000), “já é tempo de nos darmos conta de que a miséria sertaneja não é uma fatalidade geográfica”.

REFERÊNCIAS

- ACCIOLY, L.; OLIVEIRA, M.; SILVA, F.; BURGOS, N. Avaliação de mudanças no albedo do núcleo de desertificação do Seridó através de imagens do Landsat TM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2001, p. 549-556.
- ANDRADE, M. C. **A Problemática da Seca**. Recife, PE: Líber, 1999. 94 p.
- ANDRADE-LIMA, D. **Um pouco de ecologia para o Nordeste**. Recife, PE: UFPE, 1972.
- ANDRADE-LIMA, D. The caatingas dominium. **Revista Brasileira de Botânica**, n. 4, p. 149-153, 1981.
- ARAÚJO, A.; SANTOS, M.; MEUNIER, I.; RODAL, M. **Desertificação e Seca**. Recife: Nordeste, 2002. 63 p.
- BAUTISTA, H. P. Espécies arbóreas da caatinga: sua importância econômica. In: SIMPÓSIO SOBRE A CAATINGA E SUA EXPLORAÇÃO RACIONAL, 1988, Feira de Santana. **Anais...** Feira de Santana, 1988. 215 p.
- BRASIL, GOVERNO DO. **Desertificação – III Conferência das Partes da Convenção das Nações Unidas**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/Prática, 1999. 23 p.
- BRASIL, GOVERNO DO. **Desertificação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2003. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/redesert/desertbr.html>>. Acesso em 19/09/03.
- CHESF. **A história do Rio São Francisco**. Recife: CHESF, 2001. Disponível em <<http://www.chesf.gov.br>>. Acesso em 11/10/03.
- CUÉLLAR, J. (Organizador). **Nossa diversidade criadora**. Campinas: Papyrus/UNESCO, 1997. 416 p.
- EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA, 1999. 412 p.
- FAO. **Desertification**. Disponível em <<http://www.fao.org/desertification/default.asp?lang=en>>. Acesso em 12/10/03.
- FERREIRA, D. G.; MELO, H. P.; NETO, F. R. R.; NASCIMENTO, P. J. S.; RODRIGUES, V. A Desertificação no Nordeste do Brasil: diagnóstico e perspectivas. In: CONFERÊNCIA NACIONAL E SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DA DESERTIFICAÇÃO, 1994, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 1994.
- FOLHA ON LINE. **ONU discute desertificação e seca durante reunião em Cuba**. Disponível em <<http://www.folhaonline.com.br>>. Acesso em 18/09/2003.
- FRANCO, A. **Por que precisamos de Desenvolvimento Local, Integrado e Sustentável**. Brasília: Agora, 2000.
- IBAMA. **Desertificação no Brasil**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2003. Disponível em <<http://www.ibama.gov.br>>. Acesso em 22/09/03.

- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 1991 Agregado por Setores Censitários**, Região Nordeste. Rio de Janeiro: IBGE, 2003. v. 2. CD-ROM
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA **Censo Demográfico 2000 Agregado por Setor Censitário dos resultados do universo – Vol. 3 Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia**. 2^a. Edição. Rio de Janeiro: IBGE, 2003. CD-ROM
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malha de setor censitário rural digital do Brasil – situação 2000**. v. 3. Rio de Janeiro: IBGE, 2003. CD-ROM
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA **Base de informações municipais 4**. Rio de Janeiro: IBGE, 2003. CD-ROM
- JORNAL DO COMMERCIO. **Nada brota no solo salino de Cabrobó**. Recife, 14/11/99, Caderno Especial.
- LINS, M.; ALBUQUERQUE, C. **Tecnologias para reduzir a pobreza no semi-árido**. Salvador: UFBA, 2001.
- MATALLO, H. A desertificação no mundo e no Brasil. In: SCHENKEL, C. S.; MATALLO, H. (org.). **Desertificação**. Brasília: UNESCO, 1999. p. 9-25.
- MORIN, E. **Os sete saberes necessários à educação do futuro**. São Paulo: Cortez; Brasília: UNESCO, 2000. 118 p.
- MORIN, E. **Saberes globais e saberes locais**. Rio de Janeiro: Garamond, 2000. 76 p.
- RODRIGUES, V.; MATALLO JÚNIOR, H; LINHARES, M. C.; GALVÃO, A. L. C.; GORGÔNIO, A. S. Avaliação do quadro da desertificação no Nordeste: diagnóstico e perspectivas. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE IMPACTOS DE VARIAÇÕES CLIMÁTICAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL EM REGIÕES SEMI-ÁRIDAS. Fortaleza, 1992. **Anais...** Fortaleza, 1992
- REIS, M. Conservação dos Ecossistemas do Nordeste Brasileiro. In: SIMPÓSIO SOBRE A CAATINGA E SUA EXPLORAÇÃO RACIONAL, 1984, Feira de Santana. **Anais...** Feira de Santana: EMBRAPA-DDT, 1984. 361 p.
- SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2000. 96 p.
- SAMPAIO, E.; SAMPAIO, Y. **Desertificação**. Recife: EDUFPE, 2002. 85 p.
- SUDENE. **Levantamento exploratório de solos do Estado de Alagoas**. Recife: SUDENE, 1975. 523 p.
- SUDENE. **Levantamento exploratório de solos do Estado de Sergipe**. Recife: SUDENE, 1975. 505 p.
- SUDENE. **Processos de desertificação no Nordeste**. Recife: Ministério do Interior, 1983.
- VASCONCELOS SOBRINHO, J. **Metodologia para identificação de processos de desertificação: manual de indicadores**. Recife: SUDENE, 1978. 18 p.
- VIANA, M.; RODRIGUES, M. Um índice interdisciplinar de propensão à desertificação (IPD): instrumento de planejamento. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 30, n. 3, p. 264-294, jul.-set. 1999.