

# O ESCOAMENTO PLUVIAL E FLUVIAL NO TRÓPICO SEMI-ÁRIDO DO NORDESTE BRASILEIRO

Antonio Giacomini Ribeiro\*

---

## RESUMO

O conceito de semiaridez é discutido sob diferentes enfoques e, em seguida aplicado ao espaço semi-árido do Nordeste Brasileiro. As conseqüências geomorfológicas do impacto pluvial concentrado também são analisadas e catalogadas, para este ambiente semi-árido.

**PALAVRAS-CHAVE:** escoamento pluvial, escoamento fluvial, impacto pluvial concentrado, Nordeste Brasileiro, paisagem semi-árida, geologia, clima, solos, geomorfologia e vegetação.

---

## THE PLUVIAL AND FLUVIAL DRAINAGE IN THE SEMI-ARID TROPIC OF BRAZILIAN NORTHEAST

### ABSTRACT

The concept of semi-aridity is discussed from different points of view and later on it is applied to the semi-arid space of Brazilian northeast. The geomorphologic consequences of the concentrated pluvial impact are also analysed and catalogued for this semi-arid environment.

**KEY-WORDS:** Pluvial drainage, fluvial drainage, concentrated pluvial impact, Brazilian northeast, semi-arid landscape, geology, climate, soil, geomorphology and vegetation.

---

## 1. PROPOSTA DE TRABALHO

O objetivo do presente estudo é discutir as relações entre o escoamento pluvial e o escoamento fluvial sob condições de clima semi-árido, no Nordeste do Brasil.

Em primeiro lugar coloca-se a questão da semi-aridez, discutida não em termos unicamente climáticos, mas através de critérios ambientais mais amplos. Assim, serão aqui abordados os elementos que constituem o ambiente das paisagens semi-áridas nordestinas, destacando-se as relações hídricas que se verificam tanto como condicionantes do referido ambiente, como conseqüência deste.

Em seguida serão detalhadas as etapas que se desenvolvem desde o início do impacto pluvial até o escoamento da água através do canal fluvial, além das conseqüências geomorfológicas das atividades efetuadas pelos diferentes estágios do escoamento superficial.

## 2. O AMBIENTE SEMI-ÁRIDO

Enfocando o aspecto climático da semi-aridez, adotar-se-á, neste trabalho, a definição obtida através da relação entre a evapotranspiração potencial e a precipitação realmente ocorrida durante um certo período de tempo. Quando a evapotranspiração potencial apresenta-se mais elevada que a precipitação, verifica-se o clima seco,

---

\*Professor do Departamento de Geografia da UEM-Área de Geografia Física

com diferentes graus de intensidade. Um dos indicadores mais utilizados é aquele de Thornthwaite (1948), expresso pela relação:

$$I_m = \frac{100 \cdot EXC - 60 \cdot DEF}{EP}$$

sendo:

- Im — índice de umidade
- EXC — excedente hídrico
- DEF — deficiência hídrica
- EP — evapotranspiração potencial

Os valores positivos correspondem aos climas úmidos e os negativos, aos climas secos, em todas suas nuances, segundo a tabela que se segue, de Carter e Mather (1966):

Tipo Climático	Índice de Umidade	
Superúmido	.....	> 100
Úmido	.....	20 a 100
Úmido a Subúmido	.....	0 a 20
Subúmido a seco	.....	-33,3 a 0
Semi-árido	.....	-66,6 a -33,3
Árido	.....	< -66,6

Butcher e Thornes (1978) apresentam como característica fundamental na identificação do ambiente semi-árido, a presença do canal efêmero, subordinado a uma dinâmica ambiental altamente variável no tempo e no espaço, como aqueles que caracterizam os aguaceiros, a rede de drenagem, a baixa transmissividade hídrica no sentido aquífero - canal e as altas cargas de sedimentos, tanto em suspensão, como de fundo, envolvidos no escoamento ao longo do próprio canal.

McCullagh (1978), levando em conta a morfogênese, identifica o ambiente semi-árido através das relações entre as chuvas e a vegetação. "Para os propósitos geomorfológicos o clima semi-árido pode ser definido dentre as duas maneiras que se seguem: aquele onde se verifica uma ou duas estações secas durante o ano, quando a vegetação perde as folhas, ou aquele onde a precipitação é suficiente para manter o solo coberto pela vegetação durante o tempo todo. A importância disto é que o efeito laqueador realizado pelas raízes e a proteção contra o impacto dos pingos da chuva proporcionado pelas gramíneas e pela cobertura vegetal em geral, não está presente na maior parte da superfície, durante boa parte do ano. A chuva e o vento tornam-se capazes de atacar o solo diretamente e a erosão correspondente é mais efetiva".

Outro enfoque a respeito da composição do ambiente semi-árido é fornecido por Benchétrit, Cabot e Durand - Dastès (1971), que realçam a preponderância dos processos mecânicos sobre os químicos (termoclastia), a importância dos solos esqueléticos, do escoamento superficial difuso e do vento, este para as regiões mais áridas.

Para melhor esclarecer o problema da caracterização do ambiente semi-árido, é importante o depoimento de Souza (1981), geógrafo e pesquisador de larga vivência no Sertão do Nordeste. "Os processos morfogenéticos são, em primazia, de natureza mecânica; a drenagem superficial é constituída por cursos de água dotados de intermitência sazonal; os solos apresentam espessuras ínfimas, com grande freqüência de chãos pedregosos; as disponibilidades de água no solo são deficitárias na maior parte do ano".

Ainda o autor supra-citado, ao referir-se aos processos engendrados pelo clima e pela hidrologia de superfície" estendendo-se mais detalhadamente ao escrever: "Sua atuação está na dependência da semi-aridez do clima e, particularmente das irregularidades e concentração das chuvas e das elevadas alternâncias térmicas entre os dias e as noites. A primazia da desagregação mecânica das rochas durante a prolongada estação seca, como conseqüência da desigual dilatação e concentração dos minerais, é bem um reflexo dos valores elevados da amplitude das temperaturas diuturnas. Por outro lado, as variações umidade-secura, durante o ano, aliadas a uma precária proteção à superfície por parte da vegetação caducifólia, fortalece o desempenho do escoamento superficial derivado de chuvas torrenciais. Justifica-se então o adelgaçamento do manto de alteração das rochas, bem como a grande freqüência de lajedos e chãos-pedregosos. Por tais razões as depressões sertanejas são submetidas à morfogênese mecânica. Além disso, acrescenta-se o fato da rede de drenagem possuir uma capacidade de entalhe irrisória que se reflete na ocorrência de largos setores de topografias conservadas. Desenvolvem-se então, rampas suavemente inclinadas em direção aos fundos de vales, que se constituem em pedimentos funcionais, em perfeita consonância com as condições atuais e subatuais".

### 3. OS ELEMENTOS FÍSICOS DA PAISAGEM NORDESTINA

Uma visão sistemática dos elementos mais marcantes da paisagem árida do Nordeste será apresentada a seguir, com dados de observação de campo, associados àqueles retirados da bibliografia.

O clima semi-árido do Nordeste brasileiro caracteriza-se pelas elevadas temperaturas durante o ano inteiro, inclusive com amplitudes térmicas anuais pouco significativas, e pela concentração temporal das precipitações, em menos de quatro meses por ano, com início e término incertos, mas sempre durante o verão-outono do Hemisfério Austral.

A gênese das chuvas no Nordeste do Brasil foi recentemente estudada por Reis (1976), Nimer (1977) e Ribeiro Gonçalves (1981), que concluíram estar as chuvas da região comandadas por quatro sistemas de perturbação, a saber: a Frente Polar Atlântica (FPA), a Convergência Intertropical (CIT), as Ondas de Este (EW) e as Ondas de Oeste (WW).

A FPA marca sua presença em território nordestino principalmente durante os meses de inverno, com maior capacidade de geração de chuvas nos Estados da Bahia (porção litorânea), Sergipe e Alagoas. Nimer (1977) a denomina de Corrente Perturbada de Sul, que provoca chuvas intermitentes durante dias seguidos, que diminuem de intensidade em direção ao interior. Raramente ultrapassa o Estado de Pernambuco.

Sua eficácia pluvial não é muito significativa, apesar de provocar um ligeiro resfriamento à sua passagem. Serra (1945) coloca o nordeste do país como região de frontólise, durante o inverno.

A CIT é representada pela convergência dos Alísios, em superfície, cujo eixo oscila sazonalmente, acompanhando o equador térmico da Terra. Zona de elevado aquecimento equatorial, caracteriza-se pela presença de um cinturão de baixas pressões, onde o processo de evaporação é muito intenso sob severas condições de insolação e aquecimento. A principal área fonte da umidade ciclada pelo sistema de circulação é o oceano de onde a umidade é remanejada em direção ao continente. A temperatura dos oceanos é muito importante na definição do montante de água a ser evaporada; assim, quando as águas do Atlântico, durante o inverno-primavera Austral, na faixa equatorial, estão menos quentes que o habitual, prevê-se uma estação chuvosa pouco intensa no sertão nordestino, pois o equador térmico da Terra não se desloca em direção ao sul, como seria normal.

As chuvas provocadas pelo sistema de circulação da CIT caracterizam-se pela sua forte intensidade e pela sua prolongada duração; são aguaceiros pesados provocadores de inundações geralmente catastróficas. Os Estados mais afetados pela sua atuação são aqueles mais setentrionais, como Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco.

A Zona da Mata Nordestina é freqüentada, durante o inverno, e secundariamente no outono, por correntes perturbadas que se deslocam de este para oeste, como pseudo-frente. Além da Zona da Mata, os brejos de altitudes, no Sertão, também são afetados pela presença umidificadora deste sistema de circulação que gera chuvas pesadas no litoral, principalmente no período da tarde. As precipitações geradas por este sistema de circulação estão intimamente associadas ao sistema orográfico da Zona do Agreste e do Sertão, uma vez que este provoca a ascensão mecânica de um volume de ar potencialmente instável, carregado de umidade trazida do Oceano Atlântico.

As ondas de Oeste são interpretadas como expansão do ar continental amazônico, notadamente nos meses mais quentes do ano, sobre o Brasil Central, avançando sob a forma de linhas de instabilidade (calhas induzidas), que se deslocam no sentido oeste-este, atingindo o setor da Bahia, sul do Piauí, oeste de Pernambuco e do Ceará. Caracteriza-se pelo forte impacto pluvial, com aguaceiros concentrados no espaço e no tempo. Sua gênese associa-se à evolução da FPA, que aspira o ar quente continental, que traz consigo a umidade reciclada pela vegetação amazônica.

Os sistemas atmosféricos geradores de chuvas no Trópico Semi-árido possibilitam o aparecimento de episódios pluviais de alta intensidade, durante o curto período chuvoso, típico do ambiente semi-árido.

São cerca de 800.000 km<sup>2</sup> do território da Região Nordeste que se enquadram na categoria de clima semi-árido, apresentando índice de umidade entre -33,3 a -66,6; área denominada regionalmente como Zona do Sertão e, para efeito político-administrativo, o Polígono das Secas.

As elevadas temperaturas e a escassez de água condicionam um ambiente específico, que apresenta paisagem característica e coerente com os processos biológicos, pedogenéticos, hidrológicos e morfológicos atuantes no Sertão.

A litologia aflorante na área do Trópico Semi-Árido revela a ação de intensos processos erosivos que contribuíram para o desenvolvimento de vastas superfícies pediplanadas e a conseqüente formação de bacias sedimentares que também ocupam grandes áreas. Inicialmente, o primeiro passo a ser realizado, no sentido de se constituir a estrutura das paisagens do Nordeste, é a identificação da litologia aflorante e, em seguida, o entendimento de seu arranjo estrutural.

Este peso significativo que se atribui aos elementos geológicos da paisagem sertaneja, prende-se ao fato de que, em função da presença constante de solos rasos e pouco desenvolvidos, justamente por causa das condições de semi-aridez, as condições de escoamento das águas superficiais (pluviais e fluviais) estão, muitas vezes, na dependência desse fator.

As áreas sedimentares mais recentes ocupam as várzeas fluviais e, por extensão, a desembocadura destes mesmos cursos de água, formando setores de deposição flúvio-marinha, resultantes de remanejamento atual e subatual de material arenoso e silteoso. Os eventos erosivos do Terciário deixaram como herança sedimentar os amplos depósitos argilo-arenosos que ocorrem formando tabuleiros ao longo de todo litoral, denominados de Grupo Barreiras. Nas áreas mais secas do litoral desenvolvem-se, sobre os sedimentos do Grupo Barreiras (terciário), campos de dunas, que podem estar estabilizadas e recobertas pela vegetação (paleodunas) ou em plena mobilização, sob ação quase que constante dos ventos alísios. Ainda no que diz respeito à sedimentação recente (pós-Terciária), destacam-se as coberturas colúvioeluviais, estudadas por Bigarella e Andrade (1964), de idade miopleistocênica, ocorrendo em setores isolados, mas sempre no contato entre os sedimentos do Grupo Barreiras e o embasamento cristalino. Os autores as consideram superfícies de peneplanização mais recentes que o Grupo Barreiras, que atingiram inclusive o próprio, retrabalhando-o. Ainda algumas ocorrências sedimentares localizadas no interior, contemporâneas ao Grupo Barreiras foram agrupadas sob sua égide, como é o caso da Formação Serra dos Martins, Formação Faceira e Formação Moura (Gomes, 1981). O recente mapeamento da geologia regional do Estado da Bahia (Inda e Barbosa, 1978) denominou de Terciário e Quaternário Detrítico os depósitos eluvionares arenosos de cor avermelhada, que recobrem extensas áreas aplainadas do interior da Bahia e que aparecem geralmente com espessura média de 2 metros.

Os depósitos sedimentares de idade paleo-mesozóica, no Sertão, preenchem bacias intracratônicas e apresentam-se hoje em situação topográfica que caracteriza uma inversão de relevo: as superfícies constituídas pelas rochas do embasamento foram progressivamente pediplanadas e esvaziadas, proporcionando a elevação das bacias sedimentares, mais resistentes aos processos morfoclimáticos vigentes durante o Terciário. Destacam-se a Bacia Sedimentar do Araripe, com a Formação Cariri (basal), e o Grupo Araripe (Formações Missão Velha, Santana e Exu); a Bacia Sedimentar do Parnaíba, com as Formações Serra Grande, Pimenteirias, Cabeças, Longá, Piauí e Itapecuru; Bacia Sedimentar de Tucano-Jatobá, destacando-se a Formação Marizal e os Grupos Maçacará e Brotas. Ainda devem ser mencionadas a Cobertura Tabular Mesozóica do Bordo Oriental do Urucuia (F. Urucuia) e a bacia epicontinental Potiguar, com o Grupo Apodi (Formação Açú e Jandaíra).

As rochas calcárias assumem papel importante na composição das paisagens semi-áridas interiores. Os calcários mais antigos pertencem aos Grupos Una e Bambuí, datados do Proterozóico Superior, inseridos no Supergrupo São Francisco. O Grupo Bambuí se estende desde Minas Gerais, através da calha do Rio São Francisco, sendo parcialmente recobertos por sedimentos mais recentes. As rochas do Grupo Una localizam-se na região Central da Bahia, sendo dividido pelas Formações Bebedouro e Salitre. A chapada do Apodi é sustentada por calcários datados do Cretáceo Médio/Superior, aflorando por cerca de 21.500 km<sup>2</sup>, entre os Estados do Ceará e Rio Grande do Norte, em pleno sertão semi-árido (Gomes, 1981). Os sucessivos e recentes retrabalhamentos a que foram submetidos os calcários dos Grupos Bambuí e Una, originaram material fino calcário-terroso que se encontra recobrimdo, com delgada capa, os terrenos das bacias hidrográficas dos rios Verde, Salitre e Jacaré. Trata-se da Formação Caatinga, de idade Quaternária.

As litologias mais antigas, constituídas principalmente de rochas mais duras do embasamento, distribuem-se preferencialmente, pelas áreas deprimidas que sofreram longos processos de denudação, conduzindo a extensas superfícies pediplanadas, denominadas, genericamente, de Superfície Sertaneja. Também são marcantes nas áreas do embasamento os portentosos blocos residuais (Serras do Baturité, Uruburetama, Baixa Verde, Taquaritinga do Norte e Meuroca) e os planaltos dissecados em franco processo de retrabalhamento. Uma característica típica que se associa a este conjunto de rochas antigas é a marca dos eventos tectônicos que atingiram este setor da Plataforma Brasileira, chegando inclusive a reorganizar amplas estruturas regionais, como aquelas do maciço do Espinhaço, Chapada da Borborema, da fossa Cretácea do nordeste da Bahia, dentre as mais importantes.

As relações entre as características geológicas, lato senso, e os processos de escoamento pluvial no Nordeste, foram parcialmente tratadas por Tricart e Cailleux (s/d) que, após ressaltarem a fraca pedogênese, dizem que "a importância da disposição estrutural das rochas é de tal ordem, que o escoamento alimenta uma drenagem unicamente superficial, que se dirige rapidamente para fora da região. Assim, as condições de semi-aridez são acentuadas e a utilização da área torna-se mais difícil. O bombeamento cristalino da plataforma alimenta um intenso escoamento divergente, que se concentra numa série de cursos de água, ganhando rapidamente as diversas áreas úmidas e subúmidas adjacentes. A infiltração é muito fraca e as reservas subterrâneas quase nulas. A maior parte das precipitações se escoam e se perdem, por evaporação a princípio e, em seguida, pela drenagem, para fora da região. Este fato geológico contribui para dar ao Nordeste Brasileiro um aspecto nitidamente mais árido que aquele referente a sua pluviometria, relativamente elevada (350 a 1.000 mm)".

Os autores supra citados, conforme pode-se notar, referem-se unicamente às áreas do embasamento cristalino, deixando de lado as superfícies representadas pelas rochas sedimentares, principalmente aquelas de natureza arenítica e calcária. Entre o impacto das gotas da chuva e o conseqüente escoamento superficial difuso ou em lençol (splash e sheet wash) deve ocorrer o molhamento dos primeiros centímetros do solo, para que esta delgada camada torne-se saturada, dando condições para a realização do escoamento pluvial. Entretanto, se nas áreas de embasamento, a saturação da

epiderme do solo se verifica rapidamente, pela sua própria constituição, geralmente argilo-siltosa, o mesmo não ocorre nas áreas onde o substrato arenítico se faz presente: as taxas de infiltração são muito elevadas, alimentando os aquíferos subterrâneos. No caso particular da litologia calcária as taxas de infiltração também são elevadas, o que é atestado pela perenidade da drenagem fluvial que aí se verifica.

Um primeiro padrão na composição das paisagens semi-áridas no Nordeste Brasileiro pode ser estabelecido segundo o comportamento hídrico das litologias aflorantes. A sua economia de água reflete diretamente na manutenção da vegetação serotânea.

A vegetação natural, a caatinga (estepe, segundo a nova classificação da Fitogeografia Brasileira, proposta pelo Projeto RADAMBRASIL - Jordy Filho e Salgado, 1981), apresenta-se com árvores de aspecto xerófito, lenhoso e decidual, em geral espinhosas, entremeadas de plantas suculentas, com tapete herbáceo estacional. São características marcadamente dependentes do clima, onde as deficiências hídricas são muito severas, revelando processos adaptativos a estas condições, como também as folhas pequenas; muitas vezes providas de espinhos e de xilopódios (órgão subterrâneos destinados à reserva hídrica).

Tricart e Cailleux (s/d) abordam a vegetação do Sertão do Nordeste com especial ênfase ao tipo de cobertura vegetal protetora que oferece ao impacto pluvial e à incidência dos raios solares, aspectos de especial significado geomorfológico: "esta formação é essencialmente arbustiva e fechada. Entretanto, nas regiões mais secas ou nas mais degradadas ela apresenta-se muito aberta (taxa de cobertura de 20% próximo a Patos, na Paraíba), se bem que as aberturas sejam causadas, acima das condições pluviométricas, pela degradação pelo homem, que utiliza a caatinga como pastagem há mais de três séculos.

Podem-se distinguir na caatinga três estratos: um estrato arborescente, muito difuso, com árvores de 8 - 10 m, de madeira dura, apresentando certas cactáceas características, como o faxeiro e o mandacaru, ambos pertencentes ao gênero *Cereus*. Vem, em seguida, e com todas as transições, um estrato arbustivo muito mais compacto, de 2 a 4 m de altura, com grande variedade de espécies. Aí encontram-se também cactáceas, de porte arbustivo, como o xique-xique, que forma tufos muito fechados. O estrato herbáceo é reduzido e pouco variado. As gramíneas são raras, dominando as Euphorbiáceas e as Malváceas.

Nas partes mais secas, a vegetação da caatinga dispõe-se essencialmente em moitas, de maneira pontual, assumindo uma fraca taxa de cobertura, em verdade muito mais fraca nas partes mais áridas ou nas mais degradadas. Próximo da cidade, o superpastoreio, sobre solo rochoso, pode fazer descer a taxa de cobertura a 5% ou menos. As moitas são geralmente formadas por um grupo de arbustos, na verdade uma árvore dominando arbustos, sob os quais abrigam-se as plantas arbustivas e herbáceas. Tal sociabilidade parece resultar em vantagem de um microclima assim formado. Onde o solo é arenoso e permite a formação de reservas de água, a caatinga aparece como uma associação fechada (fossa Cretácea do Estado da Bahia), conservando os mesmos estratos; mas o estrato de arbustos de 0,5 - 1,0 m de altura é muito denso, ocorrendo poucas ervas anuais. Desde que aumente a umidade, a caatinga torna-se igualmente fechada, com eliminação progressiva das cactáceas, espécies de luz. As grandes cactáceas,

como o facheiro, são as últimas a desaparecer. Assim, passa-se para uma espécie de savana arbustiva, o campo cerrado, que reina sobre enormes extensões do Brasil, mas que não é mais uma formação típica das regiões secas.

Na caatinga, a pobreza do estrato herbáceo, a rarefação das gramíneas, a disposição freqüente de plantas agrupadas e a taxa de cobertura geralmente medíocre, em verdade muito fraca, asseguram uma forte morfogênese mecânica. Os afloramentos rochosos e os solos são submetidos a fortes variações térmicas, além de que o escoamento e a erosão pluvial encontram condições favoráveis, ao passo que o vento é dificultado pela pequena dimensão das áreas descobertas e pela considerável altura da maioria das plantas. Por outro lado, a predominância dos arbustos e moitas, com sua relativa densidade, favorece os animais não cavadores. As covas são muito mais raras que nas formações vegetais ricas em gramíneas e não participam do grande conjunto morfogenético".

#### **4. O ESCOAMENTO SUPERFICIAL COMO COMPONENTE DAS PAISAGENS SEMI-ÁRIDAS DO NORDESTE BRASILEIRO**

As características dos elementos físicos e antrópicos são fundamentais para a composição do quadro paisagístico do Trópico Semi-Árido, enfocados através da relação dinâmica entre os seus elementos, que reagem dialeticamente entre si, no sentido de formar um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução, definido geograficamente como paisagem (Bertrand, 1971). Entretanto, para efeitos práticos, existe a necessidade de se estabelecer parâmetros e critérios racionais para o entendimento da dialética entre os elementos da paisagem.

A experiência e a prática têm demonstrado que as variações objetivas das estruturas, e mesmo da dinâmica das paisagens semi-áridas nordestinas estão em estreita dependência do elemento hídrico, que flui através das massas sólidas, condicionando o potencial ecológico regional. Assim, torna-se de grande importância o equacionamento das relações entre o fluxo hídrico e os elementos componentes da paisagem. O entendimento da seqüência escoamento pluvial/fluvial, concorrendo para a organização e estruturação da paisagem semi-árida, poderá ser um importante indicador dos estados das referidas paisagens.

O caráter esporádico do escoamento nas regiões semi-áridas, torna problemático seu estudo, uma vez que não é possível manter, permanentemente, uma rede de observação hidrológica nestas áreas. Também deve-se levar em conta a metodologia empregada no tratamento dos dados hidro-climatológicos eventualmente obtidos, já que o estudo do escoamento nas regiões semi-áridas não pode ser feito da mesma forma que se faz nas regiões úmidas. Tricart e Cailleux (s/d) tratam do assunto com propriedade: "Nas regiões úmidas o coeficiente de escoamento é calculado, em uma bacia, comparando-se o volume das precipitações no decorrer de um longo período, sobre a mesma bacia, com aquele das águas drenadas no mesmo período. As médias são normalmente estáveis em várias dezenas de anos. Por ocasião de uma enchente, calcula-se o coeficiente de escoamento para curtos períodos, comparando-se o volume drenado durante a enchente e aquele da alimentação de água (precipitação + eventual derretimento de neve) que haja ocorrido. Nas regiões secas poder-se-á fazer as médias de

longos períodos, mas estas não expressarão o fato principal: o caráter esporádico do escoamento. Melhor será, portanto, calcular o coeficiente de escoamento separadamente para cada enchente. Sob um certo ponto de vista, os riscos de erro serão menores que em outros climas. Nas regiões que possuem solos profundos, com efeito, convencionase computar ao escoamento verdadeiro, superficial, um escoamento a pequena profundidade, subsuperficial, que se verifica na massa do solo e nas formações de alteração ou na sua base, no contato com a rocha, em lugares menos permeáveis, e que reaparece no sopé das vertentes, em nascentes, algum tempo após o aguaceiro. No ambiente seco este escoamento é negligenciável, devido à pouca espessura do solo e sua pequena capacidade de absorção”.

Nas regiões semi-áridas, a partir da precipitação pluviométrica, pode-se definir uma seqüência, ao longo do tempo, dos movimentos da água no solo. Inicialmente, o impacto das gotas da chuva diretamente sobre o solo (splash), já constitui importante agente de transformação nas paisagens semi-áridas. A pobre proteção vegetal oferecida pela caatinga, que carece de estrato herbáceo facilita este mecanismo, que remove e remove uma grande quantidade de partículas da parte superficial do solo. A intensidade das chuvas, em geral verdadeiros aguaceiros, provoca a compactação de delgada camada superficial, através deste impacto pluvial.

Evans (1980) acentua que a erosividade da chuva depende do tamanho das gotas e da velocidade do vento. Ainda o referido autor faz menção às conseqüências geomorfológicas do impacto pluvial, destacando:

a) *O despregamento e a dispersão das partículas do solo*, sendo que 2/3 da energia cinética da gota da chuva é gasto na formação da “cratera de impacto” e na movimentação inicial das partículas do solo. O impacto da gota é mais efetivo quando o solo está recoberto por uma delgada película de água e o máximo de dispersão das partículas de solo ocorre quando a profundidade da água, que está sobre o solo, é aproximadamente do mesmo diâmetro das gotas da chuva. A velocidade do vento atua como uma força adicional lateral ao impacto pluvial;

b) *Compactação da superfície do solo*, sob o efeito do impacto das gotas da chuva e da dispersão das partículas do solo, ocorre a sua compactação e posterior formação de uma crosta superficial. Esta crosta freqüentemente é constituída de duas partes: uma camada superior muito fina (0,1 mm) e não porosa, outra com cerca de 5 mm, carregada de partículas pesadas, não removidas;

c) *a infiltração da água da chuva* nos solos encrostados é muito lenta, favorecendo a formação de poças d’água nas depressões do terreno, por onde, por coalescência, se inicia o processo de escoamento em lençol (sheet wash).

Apesar da importância do impacto direto das gotas da chuva sobre o solo, este não possui capacidade para remover as partículas desagregadas mecanicamente para muito longe. Assim, sua contribuição limita-se principalmente ao fornecimento de partículas à posterior remoção.

Um momento de grande importância, entre o impacto das gotas da chuva e o escoamento em lençol, é a saturação do horizonte superficial do solo, aqui denominado de *molhamento superficial*. As superfícies dotadas de crostas de compactação, em função de seu papel impermeabilizante, atingem o molhamento superficial rapi-

damente, tornando muito estreito o tempo decorrido entre o início da precipitação e o empocamento da água e, conseqüentemente, o escoamento superficial tem logo seu início.

O *escoamento pluvial* (rain wash) divide-se em duas fases: a primeira, logo após o molhamento superficial do solo, é o *escoamento em lençol* (sheet wash) e, posteriormente o *escoamento concentrado em sulcos*, ravinas e vossorocas (rill wash e gullies).

O escoamento em lençol verifica-se através de um fluxo laminar gravitacional, coalescendo as poças formadas nas depressões do terreno, com lâmina d'água sempre inferior ao diâmetro das gotas da chuva, de acordo com Palmer, apud Evans (1980). O impacto da chuva sobre o fluxo do escoamento em lençol é importante, pois provoca turbulência no fluxo laminar, aumentando então sua capacidade de transporte, principalmente do material em suspensão.

Experiências em laboratórios e observações de campo (Evans, 1980), mostraram que a velocidade do fluxo em lençol pode variar de 1,5 - 4,0 a 30,0 centímetros por segundo. Velocidades de 16 centímetros por segundo são suficientes para erodir partículas de diâmetro de 0,3 mm e velocidades inferiores a 2 centímetros por segundo já conseguem carregar partículas em suspensão.

A passagem do escoamento em lençol para o escoamento concentrado começa com a hierarquização do fluxo laminar, com o aumento de sua velocidade e, principalmente, com a transformação do fluxo laminar em fluxo turbulento.

O escoamento em lençol constitui um efetivo processo erosivo (Evans, 1980), recobrimdo toda vertente, em contraste com o escoamento concentrado, que se confina a pequenas áreas, mas com efeitos mais visíveis e marcantes na paisagem (sulcos, ravinas e vossorocas), pois tem capacidade de remover um maior volume de solo por unidade de área. Entretanto, a longo prazo, o escoamento em lençol é mais significativo, em termos erosivos (perda de microelementos).

Segundo Ellison, apud Evans (1980), o escoamento concentrado é caracterizado quando a velocidade do fluxo atinge velocidade superior a 30 centímetros por segundo e o fluxo torna-se turbulento. São condições para que se inicie também o entalhamento linear (ravinação) na superfície do solo. O incremento do gradiente hidráulico pode ser produzido por um número elevado de razões, como um aumento da declividade da vertente, um aumento da intensidade da chuva, ou devido ao excessivo molhamento superficial e à concentração de poças ao longo da vertente.

A seqüência do escoamento superficial ora apresentada é perfeitamente aplicável ao semi-árido nordestino. Tricart (1959) apresenta, resumidamente, outra interpretação ao escoamento pluvial, aplicável à área de interesse:

— *"zona de enxurrada quase total e imediata*, constituída pelos inselbergs e pequenos maciços sertanejos, com fortes declives nas encostas, quase sempre destituídos de solo. As águas pluviais exercem um trabalho intenso de corrosão, configurada no desenvolvimento de caneluras;

— *zona de enxurradas difusas*, onde as águas se escoam sem concentração de detritos finos com o material de maior calibre permanecendo na superfície ou sofrendo transporte a curta distância;

— zona de concentração das enxurradas, a jusante da anterior, ocorrendo então a formação de sulcos e ravinas, com a possibilidade de um maior entalhe da superfície”.

A passagem do escoamento pluvial para o escoamento fluvial, no Sertão Semi-Árido, se faz quando o escoamento intermitente passa a ser realizado em canais que possam, pelo menos, exercer o papel de base local e receber contribuição hídrica subsuperficial durante, pelo menos, uma parte do tempo.

A hidrologia superficial do Nordeste Semi-Árido caracteriza-se fundamentalmente pela descontinuidade do escoamento, que se manifesta no tempo e no espaço (Tricart e Cailleux, s/d). No tempo, resulta da quase ausência da alimentação freática e da irregularidade do regime das chuvas. Os cursos de água intermitentes são alimentados pelo escoamento superficial, eminentemente descontínuo. No espaço, a descontinuidade é maior nas áreas mais secas, estando mais ligados às variações fisiográficas. Nas áreas sedimentares de relevo plano, a infiltração no próprio leito fluvial associada à evaporação, induzem, freqüentemente, à interrupção do fluxo fluvial, principalmente quando a intensidade da chuva for fraca.

A intensidade da dinâmica do leito fluvial é uma das características marcantes do escoamento fluvial no ambiente semi-árido, refletindo diretamente na morfologia regional.

“A permanente construção do leito fluvial deve-se ao brusco crescimento da enchente e à rapidez da progressão da onda de enchente. Os cursos de água são muito carregados de detritos, pois a chegada da frente da enchente favorece uma ação de arrancamento muito intenso, sendo mais eficaz quando o leito estiver juncado de material móvel de todas as dimensões. Esta grande carga sólida associada à subida brusca da vazão, em um leito que deve se readaptar a cada enchente, reflete uma intensa erosão. Esta se traduz no acúmulo de material móvel ao longo do leito e no escavamento das margens” (Tricart e Cailleux, s/d).

No caso nordestino, como a drenagem superficial é exorréica, o material fino, argilo-siltoso, é levado para fora da região, sendo que o material grosseiro passa a entulhar os talwegues, promovendo o levantamento dos leitos, com a conseqüente diminuição da velocidade do fluxo das águas, que se espraiam na direção as margens, em canais anastomosados sobre um leito entremeado de bancos de areia. Observações de Tricart e Cailleux, s/d assinalam que “a tendência nítida, a cada enchente, é o alargamento do leito fluvial em rochas móveis, iniciando a formação de um leito com canais coalescentes entre margens abruptas, constituídas de rochas duras e coerentes”.

Os médios e baixos cursos de água do Sertão, que possuem nascentes na própria área semi-árida, apresentam inconfundíveis características de evolução morfológica recente, conforme pode-se verificar no perfil da figura 1. O leito arenoso é constituído de material grosseiro recente e trazido pelo escoamento concentrado através das vertentes. Neste pacote de areias inconsolidadas, de alta porosidade e elevada transmissividade, armazena-se razoável potencial hídrico, que se escoou subsuperficialmente. Este leito arenoso pode estar em contato direto com as rochas do embasamento, em estreita subordinação estrutural, ou sobreposto a depósitos argilosos mais antigos, que suportam densos carnaubais, que funcionam, excepcionalmente, como várzea alta, e são inundadas por ocasião de episódios pluviais de extrema intensidade.

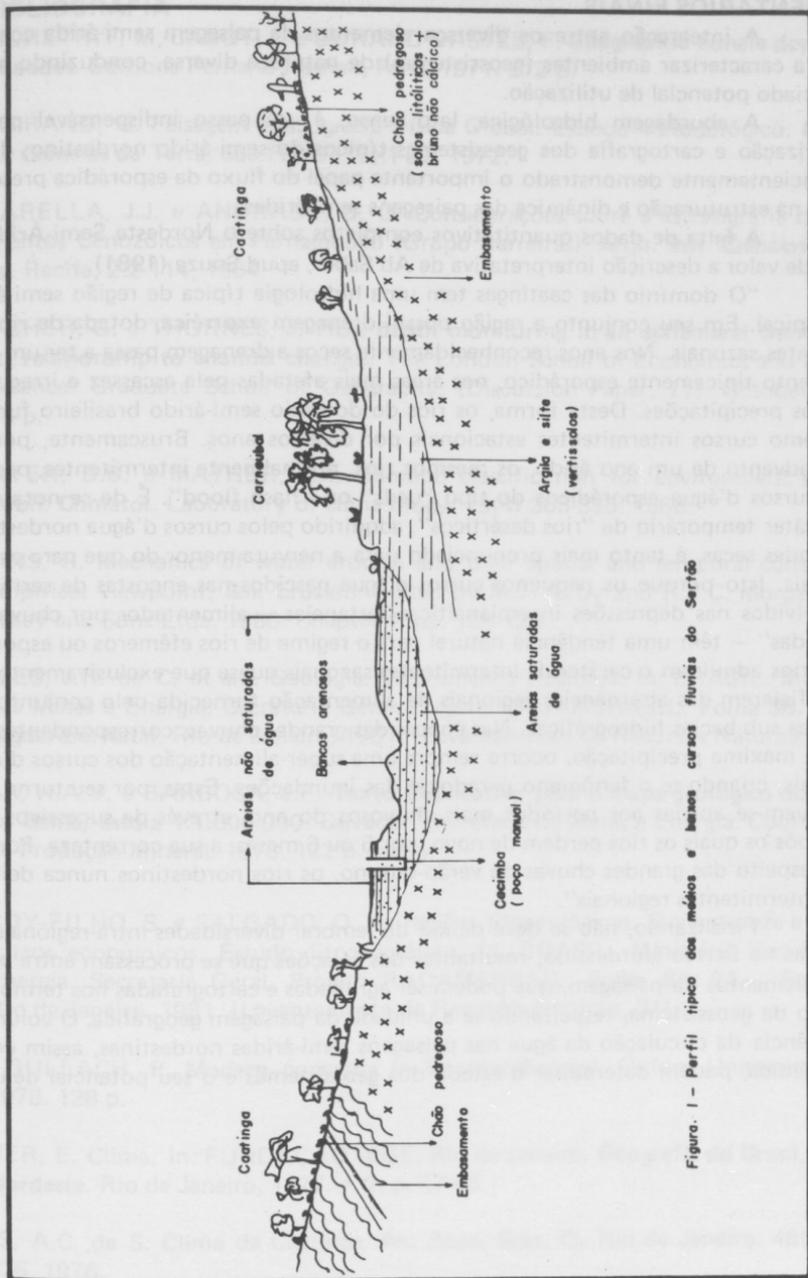


Figura. 1 - Perfil típico dos médios e baixos cursos fluviais do Sertão

## 5. COMENTÁRIOS FINAIS

A integração entre os diversos elementos da paisagem semi-árida concorrem para caracterizar ambientes (geossistemas) de natureza diversa, conduzindo a um diferenciado potencial de utilização.

A abordagem hidrológica, lato senso, é um passo indispensável para a caracterização e cartografia dos geossistemas típicos do semi-árido nordestino, desde que suficientemente demonstrado o importante papel do fluxo da esporádica presença de água na estruturação e dinâmica das paisagens semi-áridas.

À falta de dados quantitativos completos sobre o Nordeste Semi-Árido, é de grande valor a descrição interpretativa de Ab'Saber, apud Souza (1981).

"O domínio das caatingas tem uma hidrologia típica de região semi-árida intertropical. Em seu conjunto a região possui drenagem exorréica, dotada de rios intermitentes sazonais. Nos anos reconhecidamente secos a drenagem passa a ter um funcionamento tipicamente esporádico, nas áreas mais afetadas pela escassez e irregularidade das precipitações. Desta forma, os rios do domínio semi-árido brasileiro funcionam como cursos intermitentes estacionais por diversos anos. Bruscamente, porém, com o advento de um ano árido, os mesmos rios, normalmente intermitentes, passam como cursos d'água esporádicos do tipo "ueds" ou "flash flood". É de se notar que este caráter temporário de "rios desérticos", adquirido pelos cursos d'água nordestinos nas grandes secas, é tanto mais pronunciado para a nervura menor do que para os rios principais. Isto porque os pequenos cursos d'água nascidos nas encostas de serras ou desenvolvidos nas depressões interplanálticas sertanejas — alimentados por chuvas de "trovoadas" — têm uma tendência natural para o regime de rios efêmeros ou esporádico. Os rios adquirem o caráter de intermitentes sazonais quase que exclusivamente por se beneficiarem das alternâncias regionais da alimentação fornecida pelo conjunto das pequenas sub-bacias hidrográficas. Nas épocas das grandes chuvas, correspondentes aos anos de máxima precipitação, ocorre sempre uma super-alimentação dos cursos d'água principais, criando-se o fenômeno paradoxal das inundações. Estas, por seu turno, circunscrevem-se apenas aos períodos mais chuvosos do ano, através de sucessivos 'picos', após os quais os rios perdem de novo, por 5 ou 6 meses, a sua correnteza. Portanto, a despeito das grandes chuvas de verão-outono, os rios nordestinos nunca deixam de ser intermitentes regionais".

Finalizando, não se deve deixar de lembrar diversidades intra-regionais encontradas no Sertão Nordestino, resultantes das relações que se processam entre os diversos elementos da paisagem, que podem ser agrupadas e cartografadas nos termos do conceito de geossistema, respeitando-se a unidade da paisagem geográfica. O volume e a frequência da circulação da água nas paisagens semi-áridas nordestinas, assim como sua dinâmica, podem determinar o estado dos geossistemas e o seu potencial de utilização.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- BENCHETRIT, M; CABOT, J. e DURAND-DASTÉS, F. *Géographie zonale des régions chaudes*. Éditions Fernand Nathan, Paris, 1971. 272 p.
- BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global. Esboço Metodológico. *Caderno de Ciências da Terra*. São Paulo (13):1-27, 1972.
- BIGARELLA, J.J. e ANDRADE, G. O. Considerações sobre a estratigrafia dos sedimentos Cenozóicos em Pernambuco (Grupo Barreiras). *Arqu. Inst. Ciências da Terra*. Recife, 2:2-114, 1964.
- BUTCHER, G. e THORNES, J. **Flow depth monitoring in an ephemeral channel and its relationship to channel changes**. The London Scholl of Economics and Political Science. Graduate Scholl of Geography. (Discussion Paper, 71). October, 1978. 26 p.
- CARTER, D.B. e MATHER, J.R. Climatic classification for environment biology. *Publi. Climatol*. Laboratory of climatology. 19(4):305-395. 1966.
- EVANS, R. Mechanics of water erosion and their spatial and temporal controls: an empirical viewpoint. *Soil Erosion*. Edited by M.J. Kirby and R.P.C. Morgan. John Wiley and Sons Ltda. 1980. Chapter 4. pp. 109-128.
- GOMES, J.R. de C. et alii. Geologia. Mapeamento Regional. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SB. 24/25 - Jaguaribe/Natal**. Rio de Janeiro, 1981. (Levantamento de Recursos Naturais, 23).
- INDA, H.A.V. e BARBOSA, J.F. **Texto Explicativo para o mapa geológico do Estado da Bahia, escala 1:1.000.000**. Salvador. Secretaria de Minas e Energia. Coordenação de Produção Mineral. 1978. 122 p. mapa.
- JORDY-FILHO, S. e SALGADO, O. As regiões fitoecológicas. Sua natureza e seus recursos econômicos. Estudo fitogeográfico. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SA. 24 - Fortaleza**. Rio de Janeiro, 1981. (Levantamento de Recursos Naturais, 21).
- MC GULLACH, P. **Modern concepts in Geomorphology**. Oxford University Press, 1978. 128 p.
- NIMER, E. Clima. In: FUNDAÇÃO IBGE, Rio de Janeiro. **Geografia do Brasil, Região Nordeste**. Rio de Janeiro, 1977. v. 2, p. 47-83.
- REIS, A.C. de S. Clima da Caatinga. *An. Acad. Bras. Ci.* Rio de Janeiro. 48(2):325-335, 1976.

RIBEIRO, A.G. e GONÇALVES, R. do N. Uso Potencial da Terra. In: Brasil. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SA. 24 - Fortaleza.** Rio de Janeiro, 1981. (levantamento de Recursos Naturais, 21).

SOUZA, M.J.N. de. **Geomorfologia e Condições Ambientais dos Vales do Aracáú-Coreaú (Ceará).** Universidade de São Paulo, 1981. (Tese de Doutorado). Edição do autor.

TRICART, J. **As Zonas Morfoclimáticas do Nordeste Brasileiro.** Livraria Progresso, Salvador, 1959. 15 p.

TRICART, J. e CAILLEUX, S. **Le Modelé des Régions Sèches.** Centre de Documentation Universitaire. Paris. (s/d). 2 v.