



## EVOLUÇÃO DE UMA TOPOSEQUÊNCIA NAS CONDIÇÕES DE SEMIARIDEZ DE IRAUÇUBA-CE

Jacqueline Pires Gonçalves LUSTOSA  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Dept<sup>o</sup> Departamento de Ciências Sociais  
Universidade Federal de Campina Grande  
e-mail: [Jacque.gaya@gmail.com](mailto:Jacque.gaya@gmail.com)  
<http://lattes.cnpq.br/1478623832069430>

José Gerardo Beserra de OLIVEIRA  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> Dept<sup>o</sup> Biologia da Universidade Federal do Ceará  
e-mail: [jgboliv@gmail.com](mailto:jgboliv@gmail.com)  
<http://lattes.cnpq.br/2957496007530627>

**Resumo:** O município de Irauçuba localiza-se no setor norte do estado do Ceará, entre as latitudes 3° 35' e 4° 44' S e as longitudes 39° 38' e 39° 63' W. Suas características fisiográficas estão diretamente relacionadas com seu clima semiárido, que influencia a gênese e o desenvolvimento dos solos e de suas características físicas e químicas decorrentes das deficiências hídricas próprios das condições de aridez. O objetivo desse trabalho foi compreender a ocorrência de nódulos ferruginosos no interior de um solo cujas características diferem dos solos decorrentes de uma pedogênese mecânica que predominam na área. Os resultados dessa pesquisa, conduzida empregando-se a Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, evidenciam a existência de uma topossequência em que os solos de seu setor a montante foram originados por processos de uma pedogênese que favoreceu a formação de nódulos ferruginosos no interior de suas matrizes e que não ocorreram com os solos do setor a jusante, nos quais a pedogênese foi mecânica. A ocorrência desses nódulos pode indicar que no passado prevaleceram condições climáticas mais úmidas atuantes na área de estudo. A geometria do setor a jusante da topossequência sugere que ele se originou sob essas condições de maior umidade, com nódulos ferruginosos. As características dos horizontes inferiores indicam que eles foram formados *in situ*, sob as condições do clima atual semiárido, sendo recobertos por camadas superficiais originados a partir de material alóctone proveniente da erosão superficial do setor montante, processo em que aconteceu sob condições de deficiência hídrica necessária que não favoreceu a formação dos nódulos.

**Palavras-chave:** Topossequência. Semiaridez. Nódulos ferruginosos. Irauçuba.

## EVOLUTION OF A TOPOSEQUENCE IN THE CONDITIONS OF SEMIARIDITY IN IRAUÇUBA-CE

**Abstract:** The municipality of Irauçuba is located in the northern sector of the state of Ceará, between the latitudes of 3° 35' and 4° 44' S and the longitudes 39° 38' and 39°

63'W. Its physiographic characteristics are directly related with the semiarid climate, which influences the genesis and development of soils and its physical and chemical characteristics deriving from hydric deficiencies from the aridity conditions. The objective of this work was to comprehend the occurrence of ferruginous nodules in the interior of a soil of which characteristics differ from the soils whose mechanical pedogenesis predominate in the area. The results of this research, conducted by using Structural Analysis of Pedological Cover, evidenced the existence of a toposequence in which the soils of its upstream sector were originated by processes of pedogenesis which favoured the formation of ferruginous nodules in the interior of their matrixes and that did not occur with the soils of the downstream sector, where the pedogenesis was mechanical. The occurrence of these nodules may indicate that, in the past, more humid climatic conditions acted in the studied area. The geometry of the downstream sector of the toposequence suggests that it was originated under these conditions of greater humidity, with ferruginous nodules. The characteristics of inferior horizons indicate that they were formed *in situ* under the conditions of actual semiarid climate, being covered by superficial layers originated from the allochthon material deriving from the superficial erosion of the upstream sector, a process that happened under the conditions of necessary hydric deficiency that did not favour the formation of nodules.

**Key Words:** Toposequence. Semiaridity. Ferruginous Nodules. Irauçuba.

### ÉVOLUTION D'UNE TOPOSÉQUENCE DANS LES SEMI ARIDEZ CONDICTIONS À IRAUÇUBA-CE

**Résumé:** La municipalité de Irauçuba est située au Brésil dans l'État du Ceará, entre les latitudes 35 3 'et 4 44' S et longitude 39 38 'et 39 63' O. Les caractéristiques géomorphologiques sont directement liées à son climat semi-aride, ce qui influe sur la genèse et le développement des sols et des caractéristiques physiques et chimiques de l'eau, résultante des défaillances hydriques, typiques en raison d'aridité. Le but de cette étude était de comprendre l'apparition de nodules ferrugineux dans un sol dont les caractéristiques diffèrent des sols résultant d'une pédogenèse mécanique qui prédominent dans la région. Les résultats de cette recherche, étudié par l'Analyse Structurale de la Couverture Pédologique, démontrent l'existence d'une toposéquence dans les sols de leur secteur en amont ont été causés par un processus de pédogenèse qui ont favorisé la formation de nodules ferrugineux à l'intérieur de leur siège et cela ne se produit pas avec les sols du secteur aval, dans lequel pédogenèse était mécanique. L'apparition de ces nodules peut indiquer que, les conditions climatiques passées étaient plus humides dans la zone d'étude. La géométrie du secteur aval de la toposéquence suggère qu'elle était formée dans des conditions de fort humidités, avec nodules ferrugineux. Les caractéristiques des horizons inférieurs indiquent qu'ils ont été formés *in situ* dans les conditions du climat actuel semi-aride, étant recouverts par des couches de surface proviennent de matériaux allochtones dans le secteur amont de l'érosion de surface, un processus qui s'est déroulé dans des conditions de défaillance hydrique requise qui n'étaient pas favorables à la formation de nodules.

**Mots-clés:** Toposéquence semi-aride. Nodules ferrugineux. Irauçuba.

## INTRODUÇÃO

A paisagem de áreas semiáridas é formada por um conjunto complexo de processos determinados principalmente pelo clima. O fator climático, através dos seus elementos chuva, temperatura e circulação atmosférica, desencadeiam processos exógenos responsáveis pela formação de quadros naturais típicos do clima em que foram desenvolvidos.

Desse modo, pode-se entender a fisionomia da paisagem semiárida a partir de uma relação de equilíbrio entre as condições pedobioclimáticas. Essas relações devem ocorrer num processo em que as condições climáticas influenciam a gênese e o desenvolvimento do solo e de suas características físicas e químicas que, juntamente com a ação do próprio clima, determinam a instalação de uma cobertura vegetal capaz, ecologicamente, de desenvolver-se em solos com deficiências hídricas próprios das condições de aridez. Assim, as condições pedológicas e bióticas imprimem na paisagem uma organização em equilíbrio com o clima.

Nesse contexto o município de Irauçuba-CE, apresenta características físicas e biológicas resultantes da ação de seus componentes ambientais e que decorrem da interação entre litologia, solo, cobertura vegetal e condições climáticas de semi-aridez. A forte radiação solar na área produz temperaturas elevadas que alcançam valores médios anuais em torno de 28°C e evapotranspiração potencial superior a 1650 mm/ano. A combinação da baixa pluviometria, em torno de 550 mm/ano, com a alta evapotranspiração potencial resulta num déficit hídrico acentuado, expresso por um índice efetivo menor do que - 49,9 e que promove a formação de solos litodependentes, com baixo grau de aprofundamento de seus perfis.

O presente trabalho teve como objetivo principal tentar interpretar os processos de formação dos solos do distrito de Missi, Município de Irauçuba, com base no estudo do clima, relevo e litologia, associados ao de transformações pedológicas, supondo-se que a convergência entre eles e suas características, sobretudo as climáticas, determinam as características morfológicas, físicas e químicas da cobertura pedológica a partir de uma pedogênese mecânica. No distrito de Missi ocorrem solos relativamente desenvolvidos, nos quais são encontrados nódulos ferruginosos em suas matrizes. Este fato pode evidenciar a ocorrência de possíveis condições climáticas de maior umidade

que possibilitaram o desenvolvimento de processos hidrolíticos capazes de complexar o ferro para formação desses nódulos.

Para conduzir este estudo, que estabelece a relação entre a evolução dos solos e as condições climáticas atuais e do passado, adotou-se a Análise Estrutural da Cobertura Pedológica empregada por Boulet (1982) integrada ao estudo das variáveis ambientais da área.

## **PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

A Análise Estrutural da Cobertura Pedológica (BOULET,1982) integrada às variáveis ambientais, baseia sua investigação nos diferentes níveis de organização dos solos a partir do estudo em topossequências. Esse estudo consiste em examinar os perfis da topossequência na vertente escolhida em três trincheiras: uma no topo, uma no meio e outra na base e, depois, fazer as observações intermediárias necessárias para identificar, não só as sucessões verticais susceptíveis de serem observadas nos perfis (nível de observação), mas, sobretudo, estudar as variações laterais. Para isso, foi feita uma seleção em unidades representativas do modelado (bacias de drenagens, interflúvios etc.). A escolha da área foi acompanhada de interpretações da carta topográfica, mapas geológico, geomorfológico e pedológico, fotografias aéreas, imagens de satélite e de reconhecimento detalhado do terreno.

A investigação da cobertura pedológica iniciou-se com a escolha das áreas para a implantação das topossequências. Para isto foram utilizadas imagens Landsat 5, compatíveis a uma escala de 1:100.000, fotografias aéreas na escala de 1:39.000 do Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS), carta topográfica 1:100.000 (SUDENE, 1982), mapa de solos do Município de Irauçuba, na escala de 1:500.000, com base em Jacomine (1973) e um minucioso reconhecimento do terreno. As observações das características do relevo, dos tipos de solos e da cobertura vegetal foram importantes para a delimitação das áreas propícias à implantação da topossequência.

Inicialmente, três trincheiras foram abertas, uma a montante, uma no meio e outra a jusante da vertente escolhida. Na medida que apareciam diferenças entre as trincheiras, outras eram abertas. A tradagem foi utilizada para procurar os limites entre

as organizações. Encontrados estes limites novas trincheiras eram abertas para descrição morfológica e coleta de material para análises

A partir da descrição detalhada da geometria das organizações e das características morfológicas do material dos solos, fez-se a coleta de amostras friáveis e indeformadas para análises em laboratório (granulométricas, química, mineralógica e micromorfológica), sendo coletadas, também, amostras de rochas para a confecção de lâminas petrográficas.

As amostras indeformadas foram coletadas sob a forma de monólitos retirados da parede das trincheiras, devidamente orientados em relação ao topo dos perfis, principalmente na transição entre diferentes organizações pedológicas. Esses monólitos foram catalogados e embalados para não sofrerem deformações ou destruições da estrutura original durante o transporte até o laboratório.

Os procedimentos de laboratório consistiram na elaboração e descrição de lâminas delgadas de solos e petrográficas e de análises granulométricas, mineralógicas e de química total. A terminologia empregada por Bullock (1999) foi usada para descrição das lâminas, utilizando-se microscópio óptico com polarizador e objetivas que variaram entre 2,5X a 50X .

Os resultados obtidos com o conjunto dessas análises permitiram o conhecimento dos processos atuantes na cobertura pedológica e de suas relações diretas com as condições climáticas da área de estudo.

## **ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Os estudos da topossequência permitiram identificar, na escala da paisagem, um sistema de solos que denominamos “sistema Argissolo com nódulos ferruginosos” (Figura 1), que difere dos sistemas de solos litodependentes dos Luvisolos e Planossolos que predominam na área.

A setorização do sistema Argissolo indica:

- No setor a montante do sistema Argissolo, com nódulos ferruginosos, pode-se observar dois tipos de materiais: um em pequenos blocos, que não apresentam quaisquer traços de endurecimento e outro em nódulos ferruginosos que são endurecidos. Apesar

de não serem identificadas no nível macroscópico as relações entre essas duas formações, pode-se inferir que a presença dos minerais da rocha nos pequenos blocos e no interior dos nódulos indica, a nível microscópico, serem formados a partir da rocha matriz, como pode ser deduzido da análise da Figura 2.

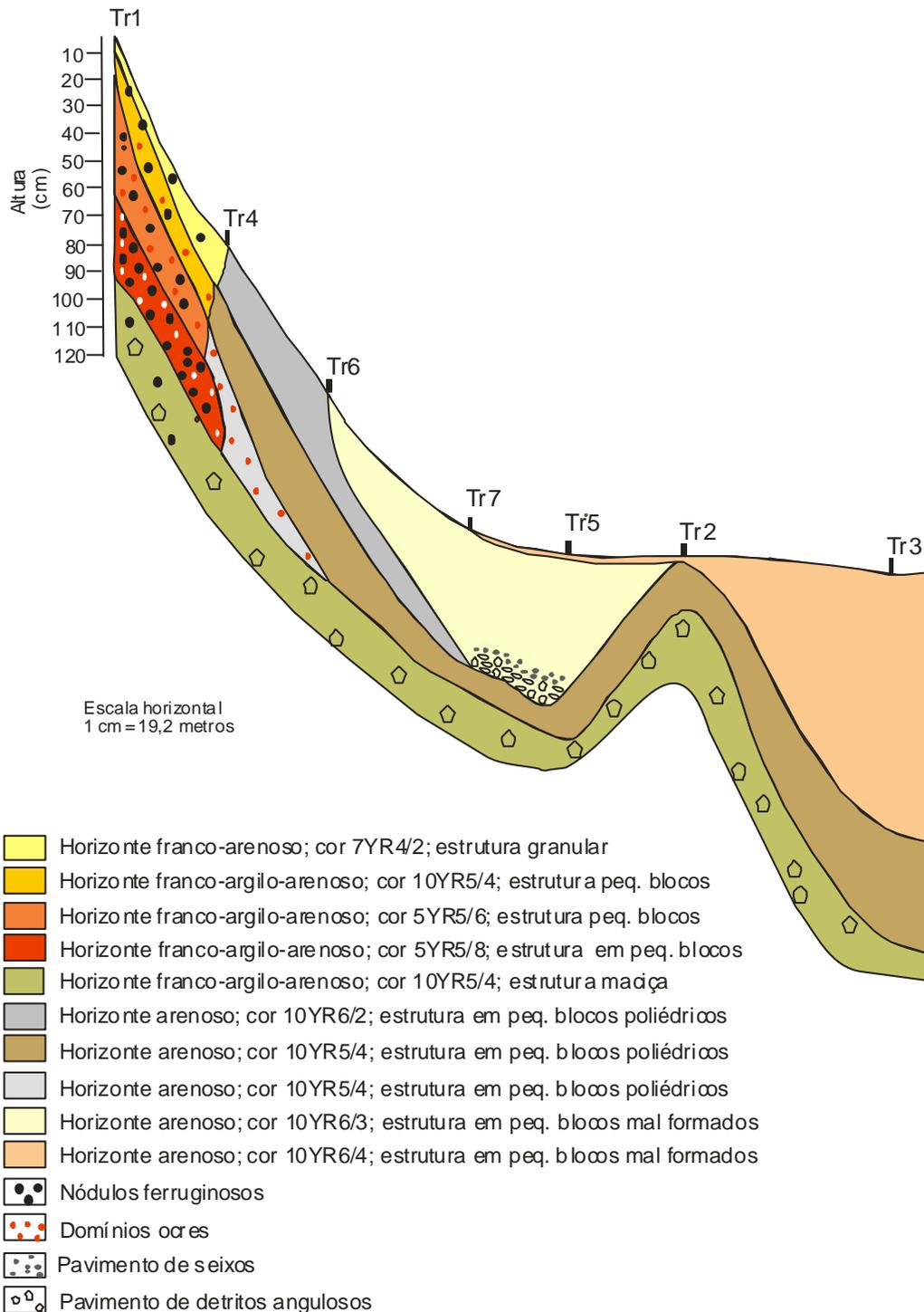


Figura 1 – Geometria da topossequência do sistema Argissolo com nódulos ferruginosos.

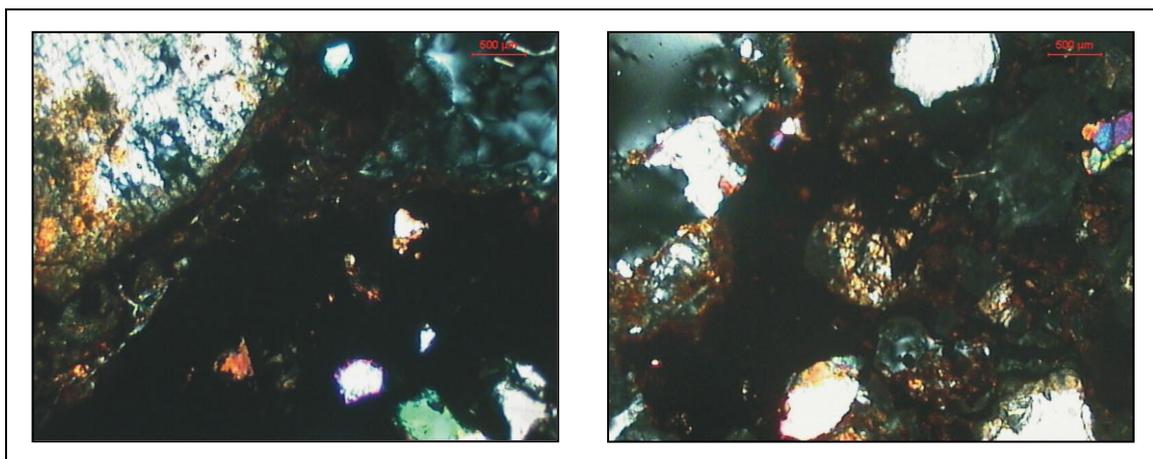


Figura 2 - Fotomicrografias do interior dos nódulos ferruginosos

- As transições verticais graduais de cor, textura e nas camadas das unidades do domínio ferruginoso mostram uma diferenciação do perfil em relação ao mesmo material de origem.

- A análise granulométrica indica um alto teor da fração areia grossa em todo o perfil, o que causa alta porosidade que pode levar à perda da fração argila e a uma segregação do ferro, mas que não gera condições favoráveis à formação de nódulos, processo que requer redução de permeabilidade.

- O desaparecimento gradual dos nódulos, lateralmente, assim como na direção da superfície, analisado microscopicamente, corrobora a hipótese de que a fase ferruginosa se encontra em processo de “deferruginização” que é mantido pelas condições de umidade do atual clima semiárido, já que a formação desses nódulos decorre de processos hidrolíticos comandados por um clima mais úmido.

De forma geral, nessa topossequência, pode-se observar quatro tipos de formações: (1) com estrutura em pequenos blocos mal formados que não apresentam traços de endurecimento; (2) com nódulos ferruginosos no setor montante; (3) com estrutura maciça e consistência extremamente dura e (4) com muitos fragmentos de rocha no setor jusante, onde as formações caracterizam-se por apresentar horizontes arenosos de deposição.

Apesar de não se poder precisar, no nível macroscópico qual a relação entre essas formações, pode-se fazer algumas inferências quanto à origem e o desenvolvimento dos nódulos:

- O fato de haver nódulos nos horizontes da trincheira 1 (Tr1) indica que houve um desenvolvimento vertical dessa cobertura, o que é visto atualmente apenas

no setor montante onde, entretanto, há diminuição desses nódulos, tanto em tamanho como na quantidade, até desaparecerem no horizonte superficial. Isto parece indicar que esses nódulos atualmente não se formam mas se destroem. Também, o fato de não haver continuidades desses nódulos e dos materiais avermelhados no sentido de jusante, mas apenas pontuações ocre e domínios ferruginosos reforça essas inferências;

- No passado o nível do lençol freático pode ter sido mais alto que o atual, condição que permitiu a formação dos nódulos;
- As condições do clima mais úmido que favoreceram a erosão e transporte do material da superfície que não aprofundou-se ao horizonte nodular, daí não terem sido eles transportados para o setor a jusante;
- Um processo pedogenético, diferente daquele ligado à oscilação do lençol, permitiu a individualização do ferro, levando-o à nodulação;
- O fato de haver semelhança dos traços dos nódulos litorreliquiários dos horizontes superiores com os nódulos preservados dentro do horizonte de alteração apóia a hipótese do desenvolvimento vertical da cobertura.

Com relação à morfologia do setor jusante é possível supor que a partir da trincheira 2 (Tr2), instala-se outro sistema pedológico que parece estar associado à forma do relevo que permite a ocorrência de processos deposicionais. Essa hipótese é reforçada pela classe textural de seus horizontes superiores semelhantes ao material de superfície do setor a montante.

## **DISCUSSÃO E CONCLUSÕES**

Os resultados dos estudos da topossequência levaram à formulação de hipóteses segundo as quais ela evoluiu com a formação de dois setores em discordância genética e de funcionalidade: o setor a montante, formado *in situ*, e o setor a jusante com características pedogenéticas que atestam a sua origem a partir de dois processos, um que se origina *in situ* as camadas inferiores, e outro que forma os horizontes superficiais originados a partir de material alóctone.

A trincheira 1 (Tr1) do setor a montante apresenta características de uma evolução *in situ*, marcada pela presença reliquiar de nódulos ferruginosos. Esses

nódulos podem evidenciar a ação de mecanismos de pedogênese química peculiares de clima mais úmido do que o atual. Estudos comparativos relacionando os materiais que ocorrem a montante e aqueles que recobrem o setor a jusante, assim como a inexistência de nódulos ferruginosos neste setor, conduzem a uma interpretação que diverge de uma evolução totalmente *in situ* e leva a supor que houve, também, uma pedogênese a partir de processos de erosão e deposição do material do setor a montante. Estes processos podem estar relacionados à variação climática que possibilitou a evolução morfopedogenética dos horizontes superficiais da cobertura de jusante, a partir do material erodido e transportado do setor a montante, sem formação dos nódulos ferruginosos. O fato de não terem sido encontradas relíquias da fase ferruginosa neste setor pode significar que os nódulos ferruginosos não se desenvolveram ou que esses testemunhos foram destruídos.

Assim, a evolução dessa topossequência estaria relacionada ao evento paleoclimático que, segundo Mabessone (1975), atingiu o Nordeste brasileiro. De acordo com esse autor, no Terciário, durante o Plioceno-Pleistoceno, vigoraram condições climáticas úmidas interrompidas por período de aridez e que, posteriormente, evoluíram para um clima semiárido.. Pode-se, então, sugerir que o domínio nodular, observado na parte montante da vertente, é o mais antigo, e sua formação teria ocorrido no período de clima mais úmido. O setor a jusante, com material superficial idêntico ao dos horizontes superiores de montante, mas sem os nódulos, seria mais recente, tendo evoluído em condições de semiaridez posteriores, significando ser a ferruginização com formação de nódulos o processo pedogenético dominante que levou à formação do solo da trincheira 1 (setor montante). Este solo, anteriormente mais espesso, tem sido retrabalhado pela erosão e por deferruginização, processos que o conduziram à atual condição de desequilíbrio.

Dessa maneira, pode-se entender a evolução dessa topossequência da seguinte forma: a trincheira 1 do setor a montante com nódulos ferruginosos se formou sob condições climáticas mais úmidas do que as atuais. No desenvolvimento de seus horizontes atuaram processos químicos que permitiram maior aprofundamento do perfil de solo e a ferruginização. Em determinado momento dessa evolução, houve a passagem do clima úmido para o seco. Com o aumento da aridez se estabelece na área uma vegetação mais aberta que possibilitou a instalação de um sistema de erosão capaz de remover os horizontes superficiais da topografia elaborada em clima mais úmido.

Então, a cobertura pedológica na trincheira 1 rebaixou-se, sendo removido o seu topo para depositar-se no setor a jusante, conservando, contudo, a organização de seus horizontes e suas estruturas nodulares, que são mantidas como relíquias (Figura 3).

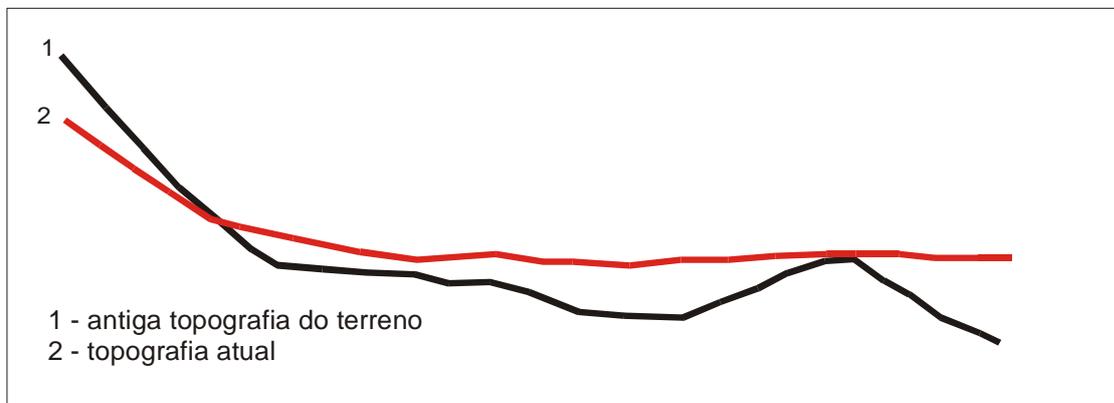


Figura 3: Evolução da geometria da topossequência decorrente da variação do clima

Os resultados das análises estruturais do setor a montante mostram em síntese que:

1 – A atuação de uma pedogênese mais antiga comandada por um clima mais úmido é evidenciada pela morfologia dos solos, que exibe diminuição dos nódulos, tanto em quantidade como em tamanho, em direção à superfície e pelas pontuações ocre nos materiais de jusante, confirmando que esses nódulos não se formam nas atuais condições climáticas, nas quais eles são destruídos. Este fato é apoiado em estudo micromorfológico, que mostra descolorações periféricas dos nódulos as quais podem ser entendidas como decorrentes da remoção e remobilização do ferro por processo de deferruginização.

2 - A área de estudo possui uma história pedogenética atual incipiente e que evolui com o desenvolvimento de horizontes arenosos. Isto é comprovado na análise micromorfológica pela presença de grãos minerais com estrutura petrográfica preservada, indicando uma baixa decomposição química da rocha. A baixa umidade no ambiente, que não propicia a alteração química, é indicada pela alta rugosidade das paredes internas dos canais (vazios) que demonstra a pouca movimentação de água no solo. O predomínio do fundo matricial composto por um esqueleto quartzoso é próprio dessa evolução atual.

Os resultados das análises estruturais do setor a jusante mostram em síntese:

1 – A instalação de sistema pedológico associado à ocorrência de processos deposicionais. Essa hipótese é confirmada pelas classes texturais de seus horizontes superiores semelhantes às da superfície do setor a montante.

2 – A presença de grãos minerais com estrutura petrográfica semelhante aos encontrados no setor a montante;

3 – Ausência de nódulos ferruginosos.

Como pode ser visto os resultados da análise estrutural da topossequência apoiam as hipóteses formuladas no estudo da interação clima-relevo-solo de que o solo do setor a montante foi formado a partir de uma pedogênese mais química favorecendo a formação de nódulos. Com a instalação de um clima mais seco, este passou a comandar uma nova pedogênese, pelo desgaste desse setor e a consequente formação das camadas superficiais do setor a jusante a partir da deposição do material de montante. O setor de jusante evoluiu pedologicamente em equilíbrio com as condições climáticas atuais.

## REFERÊNCIAS

BOULET, R., CHAUVEL, A. HUMBEL, F. X., LUCAS. **Analyse structurale et cartographie en pédologie. I- Prise en compte de l'organisation bidimensionale de la couverture pédologiques: les études de topsequences et leurs principaux apports à la connaissance des sols.** Cah. ORSTOM, Sér. P., vol. XIX, n. 4, 1982.

BOULET, R., CHAUVEL, A. LUCAS, Y. **Les système de tranformation en pédologie.** In: **Association Française pour l'études do sols**, Livre Jubilaire do Cinquentenare. Paris, 1984.

FRITSCH, E. BOCQUIER, G., DOSSO, M. HUMBEL, F. X. **Les système transformants d'une couverture ferrallitique de Guyane Française. Analyse d'une formation supergène mode de representation.** Cah. ORSTOM, Sér. Pédl., vol. XXII, n. 4, 1986

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE. **Carta topográfica** – Folha Irauçuba: escala 1:100.000. SUDENE, Rio de Janeiro, 1981.

MABESOONE, J. M; CASTRO, C. **Desenvolvimento geomorfológico do Nordeste Brasileiro.** Boletim do Núcleo Nordeste da Sociedade Brasileira de Geologia. 3: 3-5 (1975).

JACOMINE, P K. T., et Al . **Levantamento Exploratório - Reconhecimento de Solos do Estado do Ceará.** Recife: DPP, Ag//DNPEA/DRN/SUDENE/DRN,.2 vol., Boletim Técnico nº 28, 1973,