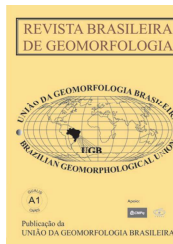


www.ugb.org.br  
ISSN 2236-5664

## Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 21, nº 4 (2020)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i4.1940>



### SOLOS CARBONÁTICOS E A DESERTIFICAÇÃO NO MÉDIO CURSO DA BACIA DO RIO SALITRE, BAHIA

### CARBONATE-AFFECTED SOILS AND DESERTIFICATION IN THE MIDDLE COURSE OF THE SALITRE RIVER BASIN, BAHIA

**Márcio Lima Rios**

*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano – IFBaiano*

*Estrada da Igara km 04, Senhor do Bonfim, Bahia. CEP: 48970-000*

*ORCID: 0000-0002-5032-0390*

*E-mail: marciogeog@gmail.com*

**Vilma Lúcia Macagnan Carvalho**

*Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais*

*Av. Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte, Minas Gerais. CEP: 31.270-901. Brasil*

*ORCID: 0000-0002-5193-3164.*

*E-mail: vlmc@ufmg.br*

**Fabio Soares Oliveira**

*Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais*

*Av. Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte, Minas Gerais. CEP: 31.270-901. Brasil*

*ORCID: 0000-0002-1450-7609*

*E-mail: fabiosolos@gmail.com*

#### Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):

17/05/2020

Aceito (Accepted):

05/09/2020

#### Palavras-chave:

Semiárido Brasileiro; Erosão dos Solos; Horizontes Cálcicos; Compartimentos Geomorfológicos, Processo de Desertificação.

#### Keywords:

Brazilian semiarid; soil erosion; calcic horizons; geomorphological compartments, desertification process.

#### Resumo:

A desertificação no semiárido brasileiro está associada a níveis avançados de degradação das terras, na qual a deterioração persistente dos solos e a destruição das caatingas constituem expressões marcantes. Condicionantes locais, como a crescente exposição de solos, pode constituir fator que amplia os riscos de desertificação. Este estudo analisou as relações entre os solos carbonáticos e uma possível desertificação em curso na bacia do rio Salitre, no semiárido seco da Bahia. O estudo foi realizado tendo como recorte os dois compartimentos de relevo que caracterizam a área de estudo, denominados platô carbonático e depressão de fundo de vale. Foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto para delimitação temporal da exposição dos solos, comparando os anos de 1950 e 2019. A distribuição da cobertura pedológica numa vertente perpassando os dois compartimentos foi analisada para dimensionar a organização morfológica dos solos, que também foram caracterizados em laboratório a partir de suas propriedades físicas e químicas (com destaque para o conteúdo de carbonato de cálcio equivalente). Os resultados apontaram que na área do platô carbonático há maior cobertura vegetal e os solos são, do ponto de vista pedogenético, mais

evoluídos, mais estáveis e mais resistentes à erosão. Já na depressão de fundo de vale, há quase 70% de solo exposto (crescente nas últimas décadas) sobre condições morfológicas bastante instáveis, com forte remoção do *solum* e sobre materiais altamente friáveis, de elevada alcalinidade e teores de carbonato de cálcio equivalente que superam 500 g kg<sup>-1</sup>. Estas condições trazem implicações que dificultam a recuperação das caatingas na área da depressão, revelando uma persistente e evolutiva exposição dos solos, que sugere um quadro de alto risco de desertificação.

### Abstract:

Desertification in the Brazilian semiarid is associated with advanced land degradation levels, with the deterioration of soils and native vegetation (dry forest, locally named Caatingas). Soil exposure increases the risk of desertification. This study analyzed the relationship between carbonate-affected soils and possible desertification in the Salitre River basin's medium course, dry semiarid of Bahia state, in two relief compartments, called carbonate plateau and valley bottom depression. Remote sensing techniques were used for temporal delimitation of soil exposure, comparing the 1950 and 2019 years. The distribution of pedological coverage on a slope was analyzed to measure the soil morphological organization, which were also analyzed in the laboratory from their physical and chemical (with emphasis on the equivalent calcium carbonate) properties. The results showed a greater vegetation cover and more developed and stable soils in the carbonate plateau. In the valley bottom depression, 70% of exposed soil (growing in the last decades) occur under very unstable morphogenetic conditions, with strong removal of *solum* and on highly friable materials, of high alkalinity and levels of equivalent calcium carbonate that exceed 500 g kg<sup>-1</sup>. These conditions make it difficult to recover the caatingas in the depression area, revealing persistent and evolutionary soil exposure, suggesting a high risk of desertification.

### Introdução

A desertificação é um dos mais graves problemas socioambientais da atualidade. A Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação–UNCCD entende desertificação como um processo de degradação das terras em regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultantes de vários fatores, entre eles as variações climáticas e as atividades humanas (UNITED NATIONS, 1994). O mesmo documento esclarece que o processo envolve a redução da produtividade biológica ou econômica das terras agrícolas, pastagens e da vegetação nativa causados pela deterioração das propriedades físicas, químicas e biológicas ou econômicas do solo e a destruição da vegetação por períodos prolongados.

Apesar de algumas ambiguidades, diversos são os estudos publicados na literatura internacional que adotam a definição de desertificação da UNCCD, como Avni (2005); Huang e Siegert (2006); Salvati *et al.* (2015); Khanamani *et al.* (2017) entre outros. Estudos desenvolvidos no Brasil, como o Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (BRASIL, 2004), Souza e Oyama (2011); Perez-Marín *et al.* (2012); Nascimento (2013); Vieira *et al.* (2015); CGEE (2016), focados no semiárido brasileiro, também partem da definição da UNCCD.

O fato de a desertificação estar associada ao termo

degradação das terras, mesmo que especificado para terras secas (regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas), gera significativa generalização de condições e processos associados à desertificação, o que certamente amplia a complexidade conceitual. Entretanto, o termo “degradação extrema” das terras (solo, cobertura vegetal e biodiversidade) com perda da capacidade produtiva (SÁ *et al.*, 2010), denotando avançado ou severo estágio de degradação (SINGH e AJAI, 2019), pode ser utilizado para caracterizar o processo de desertificação. A degradação no contexto da desertificação também pode estar associada ao desaparecimento irreversível de algumas espécies vegetais, esgotamento definitivo dos cursos d’água superficiais (ALVES *et al.*, 2009), grande exposição de solos e a exacerbação dos processos de erosão (PEREZ-MARIN *et al.*, 2012), ou ainda quando a resiliência e a capacidade adaptativa da terra estão comprometidas (BAARTMAN *et al.*, 2007). Sampaio *et al.* (2003) consideram a erosão como a mais irreversível das deteriorações, porque destrói o solo, elemento base para a sustentação da vida no local, ampliando significativamente o risco de desertificação.

Para o reconhecimento do fenômeno da desertificação é fundamental considerar a complexa interação entre a intensidade no uso das terras e a fragilidade das condições naturais. A desertificação constitui processo desencadeado por múltiplos fatores naturais e antro-

pogênicos (LI *et al.*, 2009; D'ODORICO *et al.*, 2013; KARAMESOUTI *et al.*, 2018). Por isso é necessária a avaliação conjunta das condições biofísicas e socioeconômicas que levam a sua ocorrência (BAARTMAN *et al.*, 2007; SALVATI *et al.*, 2015).

No semiárido brasileiro, os elementos do meio físico vinculados às características dos solos frente à erosão (PEREZ-MARIN *et al.*, 2012), extremos climáticos intensos com secas prolongadas de um lado e chuvas intensas e concentradas do outro (MARENCO *et al.*, 2011), além de certas condições morfodinâmicas e hidrológicas (CGEE, 2016), configuram fragilidades e alto potencial de risco a processos de degradação, contribuindo muitas vezes para a ampliação da susceptibilidade à desertificação. Especificamente sobre os solos, diversos condicionantes naturais associados as suas propriedades morfológicas, físicas e químicas podem explicar sua maior ou menor resiliência, motivo pelo qual se tornam componentes espaciais importantes nos estudos da desertificação.

No médio curso do rio Salitre no semiárido seco do Estado da Bahia, uma paisagem profundamente degradada vem se desenvolvendo nos últimos anos. A área está em um contexto regional cárstico carbonático (Formação Caatinga), numa depressão de fundo de vale com baixa densidade de cobertura vegetal (caatinga degradada) e extensas manchas com solos expostos e ocorrência de feições indicadoras de intenso processo erosivo. A exposição dos solos no domínio das rochas carbonáticas é substancialmente superior em comparação com áreas sob outros condicionantes litológicos na mesma bacia, como os quartzitos do alto curso, ainda que essa última apresente maiores declividades. A erosão dos solos na área sob calcário tem levado à perda quase total da produtividade das terras, o que acende o sinal vermelho da desertificação.

Solos carbonáticos apresentam peculiaridades que refletem sua fragilidade diante de mudanças ambientais (TANG *et al.*, 2019). Clima com déficit de umidade associado a ambiente com rochas carbonáticas são condições favoráveis à formação destes solos, o que ocorre através da acumulação/precipitação de carbonato de cálcio secundário e a formação de horizontes cálcicos e/ou petrocálcicos. Bigarella (1996); Oliveira (2008) apontam, que no contexto brasileiro, as áreas do semiárido são as mais propícias a conter tais solos, ainda que não exclusivas. Kampf e Curi (2012) reiteram esse fato, explicando que a precipitação de carbonatos só pode ser viável diante de um contexto ambiental com déficit hídrico, onde o volume de água é insuficiente para a dissolução e posterior

lixiviação completa dos carbonatos.

Ainda que profundamente estudados em diversas regiões áridas e semiáridas do planeta, o comportamento dos solos carbonáticos em áreas com possíveis processos de desertificação em curso é pouco conhecido. O interesse por compreender a relação entre tais solos, suas propriedades físicas e químicas, e a desertificação, levou à proposição deste estudo, cujo objetivo foi investigar o papel dos solos carbonáticos na intensificação do risco à desertificação no médio curso da bacia do Rio Salitre, semiárido seco da Bahia.

## **2. Materiais e métodos**

### **2.1 Área de estudo**

A área em risco de desertificação está localizada no norte do Estado da Bahia, município de Campo Formoso, no médio curso da sub-bacia hidrográfica do rio Salitre, drenada por rios intermitentes e efêmeros dentro da bacia do Rio São Francisco. A área está situada entre as comunidades rurais de Salgadinho e Abreus (FIGURA 1), respectivamente 75 e 85 km à noroeste da sede do município de Campo Formoso.

Dois compartimentos geomorfológicos podem ser observados na área de estudo (FIGURA 1). O primeiro constitui um extenso platô carbonático (pc), que abarca a maior parte no médio curso da bacia, com declividades inferiores a 3%, estendendo-se por aproximadamente 30 km no sentido oeste-leste, transversal ao rio Salitre. Este compartimento possui litologias formadas por calcretes da Formação Caatinga e calcários da Formação Salitre (PENHA, 1994; AULER, 1999) com afloramentos pontuais de diamictitos da Formação Bebedouro e metarenitos da Formação Morro do Chapéu (REIS *et al.*, 2018).

O segundo compartimento é representado por uma estreita depressão de fundo de vale (dfv), área rebaixada que secciona o platô carbonático, morfológicamente formado pela incisão fluvial realizada pelo rio Salitre sobre as rochas da Formação Caatinga (AULER, 1999). No interior dessa depressão se verifica declividades mais acentuadas, variando entre 4 e 30% e drenagem fluvial encaixada (FIGURA 1). A variação altimétrica está entre 460m no fundo do vale à aproximadamente 530m na borda do platô. O espaço delimitado constituiu um polígono, que foi capaz de incluir a área morfológicamente rebaixada. A litologia nessa área inclui, além de calcretes, tufos calcários (travertinos) (AULER, 1999; AULER e SMART, 2001; CRISTALLI, 2006).

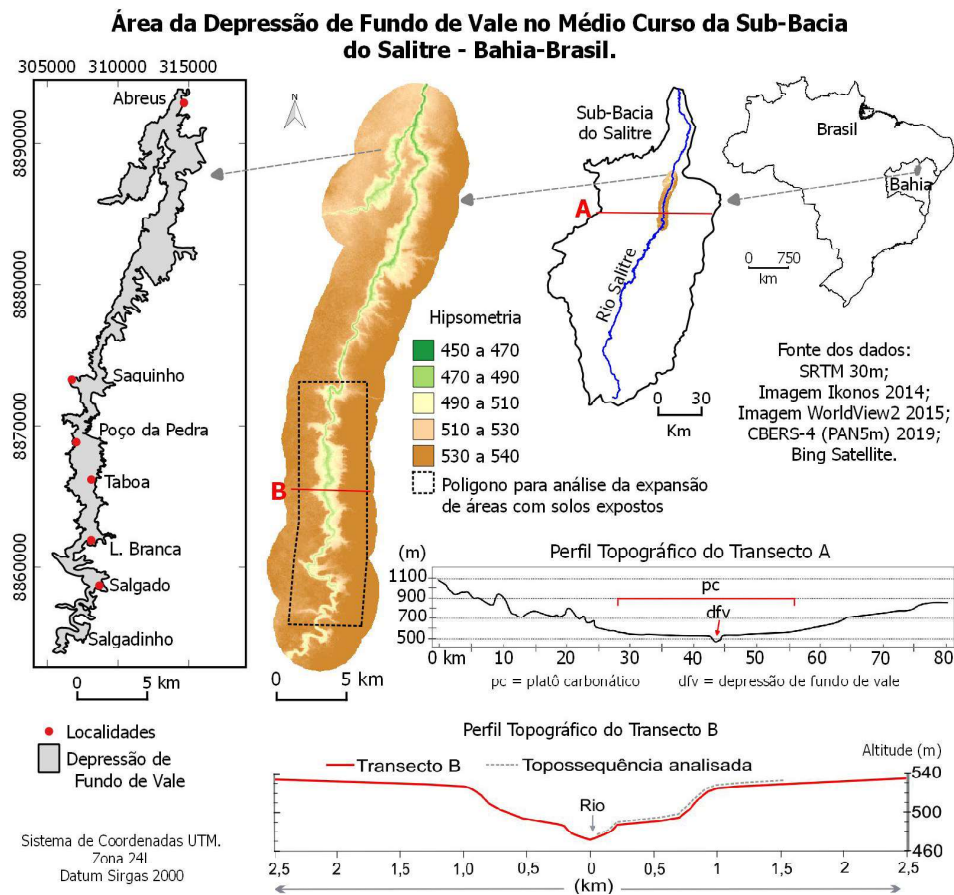


Figura 1 – Área da depressão de fundo de vale no contexto da Sub-Bacia do Salitre no Estado da Bahia-Brasil: delimitação da área, hipsometria e perfis topográficos que situam a topossequência estudada.

Do ponto de vista climático, a área se enquadra, dentro da classificação de Köppen-Geiger, como BSh, isto é, clima semiárido quente. A média de temperatura gira em torno dos 27°C e o potencial de evapotranspiração em torno de 1900 mm/ano de acordo com dados da Estação Meteorológica Salitre (EMBRAPA, 2020). De acordo com os dados de duas estações pluviométricas na margem do rio Salitre - Estação São Tomé (período entre os anos de 1964 e 1994) e Estação Junco (período entre os anos de 1976 e 2006), o índice pluviométrico na área é de 402 mm/ano na primeira, e 440 mm/ano na segunda (ANA, 2019). Este índice de chuva aponta para um dos lugares mais secos do nordeste brasileiro.

Vale destacar também a grande concentração pluviométrica e a longa estiagem anual, com seis a oito meses consecutivos com índice inferior a 3mm/mês, e 50% das chuvas concentradas em dois meses do ano, sempre situados entre novembro e abril (ANA, 2019). É possível identificar vários eventos torrenciais, com chuvas acima de 40mm/dia, e meses com 150mm/mês (EMBRAPA, 2020). Portanto, pensar dos baixos índi-

ces pluviométricos e estiagens anuais, os poucos eventos chuvosos são significativamente intensos.

## 2.2 Procedimentos metodológicos

Os procedimentos adotados buscaram investigar a relação entre os solos carbonáticos e a desertificação em diferentes dimensões escalares, incluindo: (1) a análise espaço-temporal da exposição dos solos e relação com a cobertura vegetal, utilizando um recorte espacial representativo que inclui os compartimentos pc e dfv, em dois momentos: 1950 e 2019; (2) o estudo da distribuição da cobertura pedológica numa vertente que perpassa os dois compartimentos e das propriedades físicas e químicas dos solos.

### 2.2.1 Análise espaço-temporal da exposição dos solos carbonáticos

A exposição dos solos carbonáticos e a distribuição da cobertura vegetal foram avaliados numa área

representativa que abrange ambos os compartimentos, pc e dfv, delimitada entre as comunidades de Saquinho e Salgado, totalizando 87,5 km<sup>2</sup> (FIGURA 1). Estes aspectos foram analisados em dois momentos, 1950 e 2019, compreendendo alterações na condição da superfície em quase 70 anos. O primeiro momento representou a data das fotografias aéreas mais antigas encontradas para o recorte espacial estudado, representando a espacialização da cobertura vegetal antes da intensa ocupação agropecuária do médio Salitre. O segundo momento representa a condição atual da cobertura vegetal e exposição dos solos, correspondente a imagem de satélite (com resolução de 5m) mais atualizada e disponível para o local.

Para analisar o contexto atual, foi utilizada classificação supervisionada pixel a pixel pelo método da Máxima-Verossimilhança (MENESES e SANO, 2012) de uma imagem CBERS-4 PAN5 (Câmera Pancromática e Multiespectral com 5m de resolução espacial) datada de 16 julho de 2019, período inicial da estação seca. Os procedimentos foram realizados no ambiente do software QuantumGis 2.18, organizada em duas classes: solo exposto e cobertura vegetal.

Para o ano de 1950, foram utilizadas fotografias aéreas na escala 1:25.000 (SUVALE, 1953), todas abrangendo o mesmo trecho e período do ano. As referidas fotografias foram digitalizadas e classificadas seguindo o mesmo método e as mesmas classes descritas no parágrafo anterior. Este procedimento foi realizado com supervisão da fotointerpretação estereoscópica (LOCH, 2001), Imagens Ikonos (1 m - agosto de 2014) e Worldview-2 (0,50cm - maio de 2015); e imagens do Bing Satellite. Um Modelo Digital de Elevação confeccionado a partir de informações SRTM de 30m (USGS, 2014), também no QGIS, foi utilizado como base altimétrica.

Adicionalmente, fotografias aéreas de 1964 na escala de 1:60.000 (ACGS, 1964) foram consideradas para ampliar a discussão, mesmo que não incluídas na análise quantitativa, devido à incompatibilidade da escala.

Foram realizados trabalhos de campo para a validação das áreas delimitadas nas imagens, utilizando receptor GPS de navegação. Também foram reconhecidas em campo as principais tipologias de feições erosivas, utilizando procedimentos simples de identificação (ZUQUETTE *et al.*, 2007). No interior das feições, a certificação sobre a natureza carbonática do material erodido foi realizada através da:

- Análise morfológica nas paredes das voçorocas e vertentes, apontando a existência de fendilamentos, presença de nódulos carbonáticos, além das cores dos materiais.

- Testes em amostras das formações superficiais, utilizando solução de HCl 10% para verificar efervescência “forte” nos materiais, possibilitando confirmação da exposição de solos com forte presença de carbonatos, de acordo com Santos *et al.* (2015).

Além disso, foram realizadas entrevistas com 10 moradores das comunidades de Saquinho, Salgado, Lagoa Branca, Taboa e Poço da Pedra, buscando validar as alterações observadas nas imagens e obter novas informações sobre as modificações de uso e cobertura dos solos. Foram selecionadas pessoas com muitos anos residindo em cada localidade (mais de 4 décadas), e que estavam disponíveis para a entrevista. Um campo prévio serviu de base para seleção dos moradores.

### 2.2.2 Sequência de solos na vertente

Os resultados dos estudos nas imagens e os primeiros trabalhos de campo serviram de base para escolha da vertente onde foi desenvolvido o estudo da distribuição lateral da cobertura pedológica (BOULET *et al.*, 1982). A vertente está localizada próximo à comunidade de Taboa, a 70 km (noroeste) da sede do município de Campo Formoso-BA.

A seção topográfica da vertente foi obtida através de um MDE elaborado com dados de um imageamento por VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado), tipo Multirrotor (Drone Multirrotor). O voo foi realizado em 4 de março de 2019, com altura de 120 metros, com resolução de 3.84 cm/pix, cobrindo uma área de 0,63Km<sup>2</sup>. O mosaico das imagens, o processamento, a confecção do MDE e das curvas de nível (com equidistância de 1 metro) foram realizadas no ambiente do software Global Mapper. Os pontos de controle foram gerados através de receptores GNSS L1/L2, utilizando método estático pós-processado.

Foram realizadas observações exploratórias com tradagens e em exposições da cobertura em paredes ou taludes das incisões erosivas ao longo da vertente selecionada. Foram observadas as variações de cor e textura, buscando reconhecer as variações laterais da cobertura. Com base nesse levantamento prévio, foram definidos 10 pontos para a abertura de trincheiras (3) e/ou aproveitamentos das exposições já existentes (7). As seções verticais dos perfis foram descritas conforme Santos *et al.* (2015), e sua interpolação para a composição da cobertura pedológica foi realizada seguindo os procedimentos sugeridos por Boulet *et al.* (1982). Amostras deformadas dos horizontes foram coletadas para análises químicas e físicas.

### 2.2.3 Análises físicas e químicas dos solos

A análise física foi contemplada pela granulometria utilizando o método da pipeta (DONAGEMMA *et al.*, 2011), no Laboratório de Geomorfologia do Instituto de Geociências (IGC) da UFMG. Como os solos estudados são carbonáticos (amostras com alto pH) foi necessário utilizar na análise granulométrica o hexametáfosfato de sódio como dispersante.

Das análises químicas, três foram realizadas no Laboratório de Geomorfologia do IGC/UFMG: pH, carbono orgânico (C org) e equivalente de carbonato de cálcio, seguindo procedimentos indicados por Teixeira *et al.* (2017). O equivalente de  $\text{CaCO}_3$  foi extraído a partir de ataque à amostra com excesso de solução padrão de HCl e titulação do excesso de ácido com solução de NaOH padrão (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

Outras análises químicas, como quantificação dos teores de  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{H}^+$  (complexo sortivo do solo), foram realizadas no Laboratório de Análise de Solos (LASO) do Instituto Mineiro de Agropecuária (IMA).  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  foram extraídos com solução de KCl  $1 \text{ mol L}^{-1}$ , já o  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$  a partir de extração com solução Mehlich<sup>-1</sup> (TEIXEIRA *et al.*, 2017). Os dados

serviram de base para indicar a Soma de Bases (Valor S), a CTC (Valor T) e a percentagem da Saturação por Bases (V%). Os solos foram classificados até o quarto nível categórico de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS *et al.*, 2018).

## 3. Resultados

### 3.1 Exposição dos solos carbonáticos e a cobertura vegetal

Foram verificadas significativas alterações na distribuição entre cobertura vegetal e exposição de solos em um intervalo de aproximadamente sete décadas. Em 1950, 86% da área total apresentava cobertura vegetal (predominantemente caatinga heperxerófila) e 14% de solo exposto. Em 2019, a cobertura vegetal (caatinga e cultivos agrícolas) foi reduzida para 51%, com considerável crescimento da exposição dos solos para 49% (FIGURA 2). Considerando os compartimentos pc e dfv, ambos mostram o mesmo comportamento. Embora as diferenças entre 1950 e 2019 sejam maiores em pc, com perda de 42% de área vegetada comparada a uma perda de 38% em dfv, é no fundo de vale que se observa uma maior exposição de solos no atual cenário.

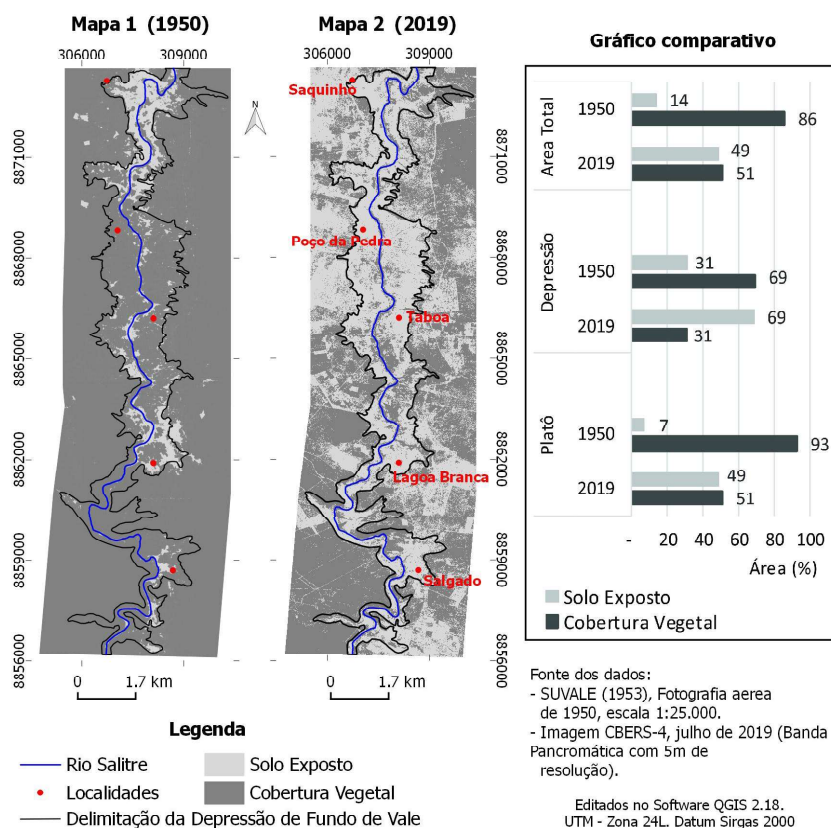


Figura 2 - Análise comparativa das áreas de solo exposto e cobertura vegetal referentes aos anos de 1950 e 2019 nos dois compartimentos geomorfológicos do médio curso da bacia do rio Salitre – Bahia.

### 3.2 Feições erosivas em áreas de solos expostos

Uma variedade tipológica de feições erosivas pode ser identificada nas áreas associadas à exposição dos solos na bacia do Rio Salitre, principalmente no com-

partimento dfv. Destacam-se: voçorocas e ravinas (fotos a, b); pedestais (fotos c, d, e); cicatrizes de movimentos de massa (e, f); e raízes expostas por processos erosivos (foto f) (FIGURA 3).

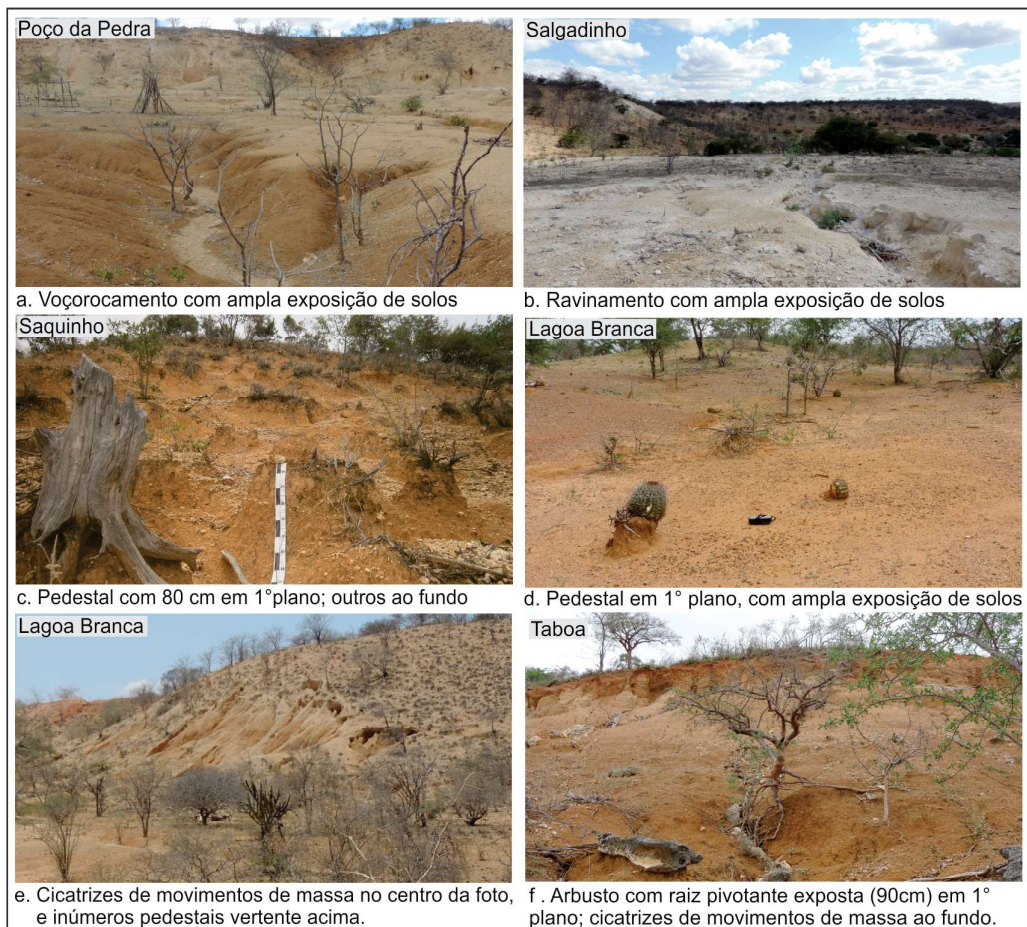


Figura 3 – Exposição das formações superficiais com feições de remoção de solos em diversas localidades na depressão de fundo de vale no médio curso da bacia do rio Salitre. Cada foto apresenta no canto superior esquerdo sua localização e logo abaixo discrimina a feição enfatizada.

As feições erosivas lineares (ravinas e voçorocas) apresentam crescimento remontante, iniciadas em áreas próximas ao canal do rio e progredindo em direção ao degrau que separa os dois compartimentos. Por esse motivo, concentram-se no compartimento dfv, ainda que algumas se propaguem para o platô. As larguras das feições erosivas lineares variam entre 50 centímetros a aproximadamente 12 m, com comprimentos que podem chegar a 1.000 m, de acordo com Rios *et al.* (2020). As maiores e mais profundas feições estão sendo tratadas aqui como voçorocas unicamente pela dimensão, de acordo com Guerra (2003); Poesen *et al.* (2003), e não por aspectos morfogenéticos que considerem a participação do escoamento subsuperficial na sua gênese e afloramento do nível freático.

Também foram observados pedestais (ANH *et al.* 2014), que são feições indicativas de elevada erodibilidade

de dos solos, sendo que os inúmeros pedestais existentes na área de estudo podem atingir até 80 cm de altura e estão presentes em diversas partes do compartimento dfv.

As cicatrizes de movimentos de massa e a exposição de raízes constituem, igualmente, feições claras e evidentes da remoção dos horizontes superficiais do solo. As cicatrizes estão localizadas no talude que forma o degrau entre os dois compartimentos geomorfológicos, área de maior declividade (20 – 35%), sendo o material erodido disperso ao longo da rampa entre o talude e a planície de inundação do rio Salitre. Outras feições erosivas, como as ravinas, seccionam esse material. As raízes expostas estão espalhadas principalmente no compartimento dfv, e ocorrem na base de plantas arbustivas e arbóreas, típicas da caatinga. A queda de árvores pela perda de sustentação é um fenômeno muito frequente na área de estudo.

### 3.3 Topo-litosequência de solos

A vertente apresenta aproximadamente 1 km de extensão, com declividades que variam de 2 a 35%. Os maiores valores estão associados ao degrau que separa os compartimentos pc e dfv. A distribuição lateral da cobertura pedológica revelou uma topo-litosequência de solos, cuja representação é apresentada na Figura 4.

A Formação Caatinga ocorre na porção mais alta da sequência, no interior do platô carbonático, e no intervalo entre o degrau que separa os compartimentos e ao longo de toda a rampa na dfv. No primeiro caso, trata-se de um calcrete maciço, endurecido, de coloração creme-claro, com micronódulos litificados. Na

depressão, o calcrete é variado, ora mais coeso, ora mais intemperizado, pulverulento, de cor esbranquiçada. Entre esses dois tipos, ocorrem rochas da Formação Bebedouro, principalmente arenitos de textura média e blocos residuais de diamictitos.

Os horizontes pedológicos se associam aos materiais sotopostos e caracterizam quatro tipos de transição na cobertura pedológica. Na porção mais alta, sobre calcretes mais coesos, ocorrem horizontes (A+B) de cor bruno-amarelo-escuro, com caráter hipocarbonático. Sobre os arenitos ocorrem horizontes avermelhados, igualmente hipocarbonáticos. A transição entre ambos é abrupta e coincide com o contato entre os materiais de origem.

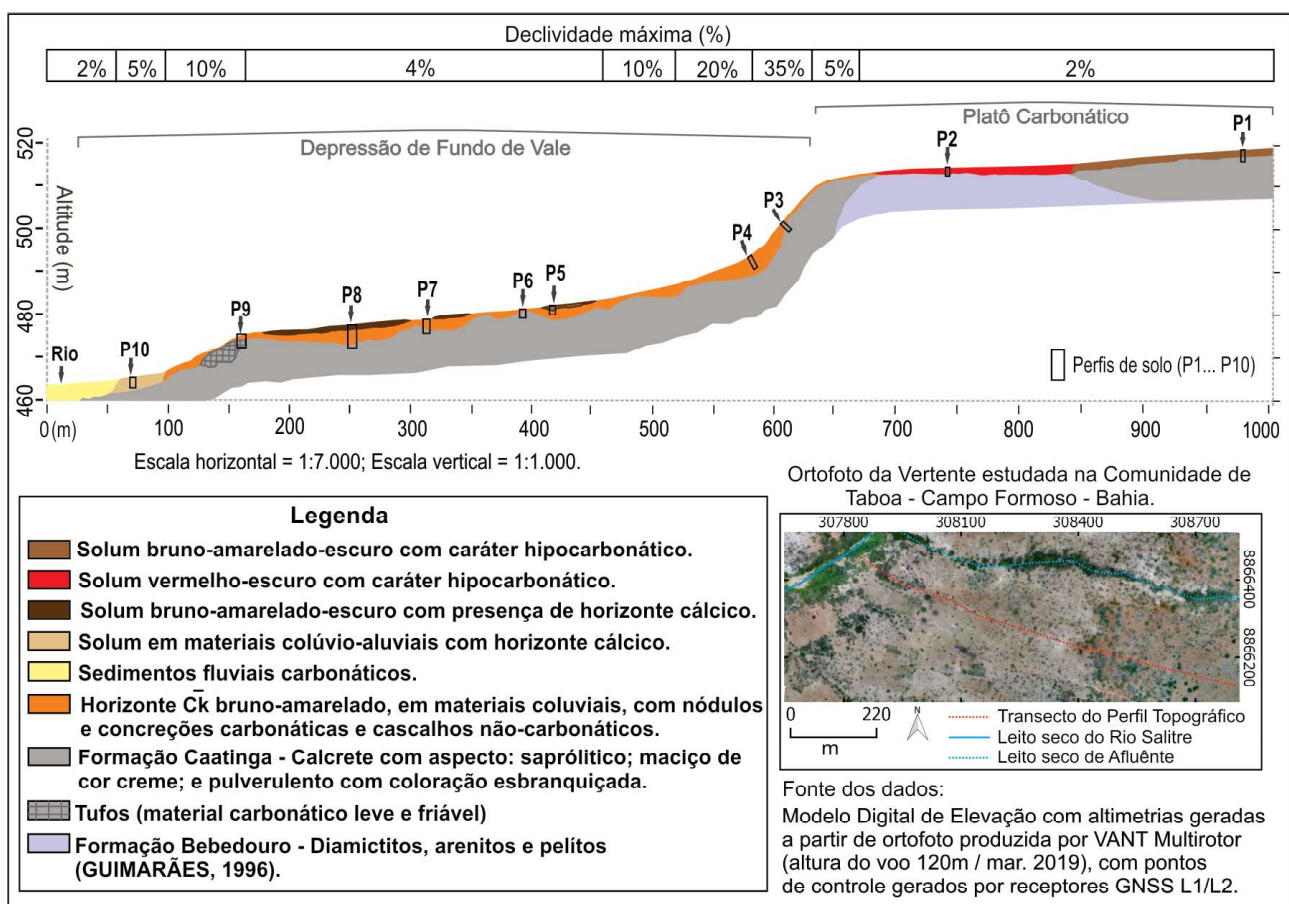


Figura 4 - Topo-litosequência de solos com a distribuição lateral da cobertura pedológica, e respectivos perfis verticais descritos, em uma vertente na localidade de Taboa, município de Campo Formoso, médio curso da bacia do rio Salitre – Bahia.

O calcrete intemperizado e o material sobreposto a ele no compartimento dfv compreendem um horizonte Ck (C com acumulação de carbonato de cálcio secundário) que marca uma descontinuidade, considerando que além de materiais finos, nódulos e concreções carbonáticas, esse horizonte também contém fragmen-

tos grossos não carbonáticos, como seixos quartzosos semelhantes àqueles observados nos blocos residuais de diamictito a montante. Esse horizonte Ck está diretamente exposto na superfície ou sobreposto por um solum de cor bruno-amarelo-escuro, com a presença de nódulos carbonáticos.



Um pequeno degrau separa a rampa e a área imediatamente afetada pelo canal do rio Salitre. Neste degrau afloram materiais carbonáticos acinzentados leves e friáveis, semelhante ao que foi descrito na região como tufos calcários (CRISTALLI, 2006). Após, ocorrem solos associados a sedimentos carbonáticos finos, ora misturados com materiais não carbonáticos, e com argilas de alta atividade, cuja presença é evidenciada pelo alto grau de fissuramento da superfície.

### 3.4 Propriedades morfológicas e físicas dos solos

Dos 10 perfis de solos estudados, dois (P1 e P2) estão localizados no compartimento pc, e os demais (P3 a P10) no compartimento dfv. Fisicamente (Tabela 1), os perfis do compartimento pc possuem os menores valores de cascalho/calhau de toda a sequência ( $< 70 \text{ g kg}^{-1}$ ), além dos mais baixos valores da relação silte/argila, sendo, respectivamente, 0,44 e 0,39 nos horizontes Bik1 (P1) e Bik2 (P2). Ainda que provenientes de materiais de origem distintos, a textura nestes perfis é semelhante, sendo principalmente franco-argiloarenosa, com mais de  $500 \text{ g kg}^{-1}$  de areia, e valores baixos de silte, principalmente para Bik1 (P1) com  $135 \text{ g kg}^{-1}$  e Bik2 (P2) com  $137 \text{ g kg}^{-1}$ . Além disso, são os perfis mais cromados. Em P1 a cor varia de bruno-amarelado a bruno-amarelado-escuro, com matiz 10YR, e em P2 a cor varia de vermelho-escuro e o vermelho-escuro-acinzentado, com matiz 10R.

No compartimento dfv, a morfologia dos perfis é bastante variável, com diversos deles apresentando apenas horizonte C aflorando (P3, P4, P6, P7 e P9), e alguns com sequência de horizontes B/C (P8) ou sequência completa de horizontes A/B/C (P5 e P10). A maior semelhança morfológica é a presença de horizontes com elevada influência de carbonatos, indicados com o sufixo "k". São eles: Ck1 (P3); Ck1, Ck2, Ck3 (P4); Ak, Bik, BCK (P5); Ck1 (P6); Ck1 e Ck2 (P7); Bik; Ck1 e Ck2 (P8). Considerando as propriedades morfológicas e físicas influenciadas pelos materiais de origem e processos pedogenéticos associados ao relevo, estes perfis podem ser organizados da seguinte forma: um grupo composto pelos perfis P3 a P9, e o P10.

Entre os perfis P3 a P9, há significativa distinção morfológica entre os horizontes superficiais brunados e os horizontes esbranquiçados, presentes na base dos perfis. A transição entre ambos é plana e abrupta, discordante da declividade da vertente. Considerando os horizontes

brunados, nos perfis P3, P4 e P5 eles são ligeiramente pedregosos ( $< 1\%$  da massa do solo), em P6 pedregoso (entre 3 e 15%), e em P7, P8 e P9 muito pedregosos (15 a 50%). Essa pedregosidade é formada por cascalhos subarredondados não carbonáticos, compostos principalmente por rochas siliciclásticas. No sentido P3 – P9, observa-se um aumento do conteúdo de silte, chegando a  $692 \text{ g kg}^{-1}$  no P6-2Ck2, por exemplo. Esses cascalhos estão acomodados na forma de depósitos não estratificados e mal selecionados, sugerindo depósitos coluviais. As cores brunadas são mais escuras (bruno-amarelado escuro) na superfície quando ocorre a presença dos horizontes A e/ou B. Se apenas o horizonte C está presente, as cores brunadas são mais claras, com matiz 10YR (bruno-amarelado). A textura da terra fina varia de franco, francoargilosa a francosiltosa, sem nenhuma tendência entre os horizontes, tanto nos perfis quanto ao longo da sequência. Em quase todos os solos no intervalo P3-P9 há predominância de silte e areia, exceto no Bik(P5), que possui, comparativamente, um maior conteúdo de argila.

O tipo de agregado predominante nestes horizontes brunados é bloco subangular com grau de desenvolvimento moderado, consistência seca variando entre dura e muito dura, e friável após umedecimento. Na maioria deles ocorrem nódulos arredondados duros quando secos e firmes quando umedecidos. Essas feições medem entre 10 e 15 mm e apresentam efervescência muito forte após a adição de gotas de HCl 10%. Ocorrem também feições lineares, esbranquiçadas, menos endurecidas, que preenchem poros ou capeiam os agregados. Essas medem entre 1 e 15 mm e apresentam forte reação na presença de ácido.

Os horizontes esbranquiçados da base, especialmente nos perfis P3, P6, P7, P8 e P9, variam de consistência muito dura a extremamente dura e firme, com predominância da coloração bruno muito claro-acinzentado, e com mosqueados brancos, como em 2Crk1 (P3), a horizontes pulverulentos, muito friáveis, com estrutura grãos simples e altamente calcíticos, como em 2Ck2 (P6), 2Ck3 (P7), 2Ck3 (P8), 2Ck3 (P9). Estes últimos possuem reduzido desenvolvimento de cor, predominantemente branco (valor/croma = 8/1), o que é explicado, entre outros fatores, pela grande concentração de  $\text{CaCO}_3$  associados ao reduzido teor de óxidos de ferro. A profundidade em que tais horizontes ocorrem varia ao longo da sequência, estando desde quase expostos na superfície, como em P6, até dois metros de profundidade, como em P8.

**Tabela 1: Análises granulométrica e química dos perfis de solo de uma topossequência estudada na localidade de Taboa - Semiárido do estado da Bahia.**

Horizonte		Frações da Amostra		Granulometria -TF			Silte /Arg	pH H <sub>2</sub> O	Complexo Sortivo							T	TArg	V	CCE	MO
Simb.	Prof.	CC	TF	Areia	Silte	Arg			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SB	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>					
-- cm --		g kg <sup>-1</sup>						cmol kg <sup>-1</sup>							%		-- g kg <sup>-1</sup> --			
<b>P1</b>																				
A	0-4	36	964	521	199	280	0,71	8,4	16,8	1,8	0,72	0,24	19,6	0,1	0,70	20,3	72,5	96	98	15,0
Bik1	4-22	22	978	562	135	303	0,44	8,4	18,0	1,1	0,11	0,14	19,4	0,1	0,68	20,0	66,1	97	99	5,1
Bik2	22-42	67	933	547	144	309	0,46	8,5	17,0	0,9	0,03	0,38	18,3	0,1	0,65	18,9	61,2	97	114	3,2
C <sub>km</sub>	42-85 <sup>+</sup>	752	248	480	255	265	0,97	8,6	15,7	0,8	0,03	0,38	16,9	0,1	0,64	17,6	66,4	96	273	0,5
<b>P2</b>																				
A	0-4	60	940	578	177	245	0,72	8,0	10,7	1,4	1,02	0,22	13,3	0,1	0,7	14,0	57,3	95	75	15,1
Bik1	4-35	44	956	530	146	324	0,45	7,6	8,8	1,6	0,27	0,07	10,7	0,1	1,1	11,8	36,4	91	68	12,4
Bik2	35-65	69	931	515	137	348	0,39	7,6	10,2	1,4	0,09	0,08	11,8	0,1	1,1	12,8	36,9	92	61	4,5
<b>P3</b>																				
C <sub>k1</sub>	0-40	109	891	377	379	244	1,55	8,4	11,2	0,9	0,06	0,36	12,6	0,1	0,7	13,2	54,1	95	598	12,6
C <sub>k2</sub>	40-90	298	702	227	528	244	2,16	8,5	6,1	0,7	0,03	0,60	7,4	0,1	0,6	8,1	33,0	92	820	1,4
2C <sub>rk1</sub>	90-135 <sup>+</sup>	315	685	111	673	216	3,12	8,2	5,2	0,7	0,04	0,92	6,9	0,1	0,6	7,6	35,0	91	924	0,1
<b>P4</b>																				
C <sub>k1</sub>	0-15	116	884	414	281	305	0,92	8,6	11,2	1,2	0,10	0,35	12,8	0,1	0,6	13,4	44,1	95	532	11,5
C <sub>k2</sub>	15-75	118	882	357	313	329	0,95	8,6	10,4	1,1	0,04	0,38	11,9	0,1	0,6	12,6	38,2	95	580	3,6
C <sub>k3</sub>	75-155 <sup>+</sup>	235	765	360	341	298	1,14	8,6	9,5	1,0	0,06	0,39	11,0	0,1	0,6	11,6	39,0	95	688	3,8
<b>P5</b>																				
A	0-4	35	965	376	263	361	0,73	8,5	19,8	1,9	0,46	0,24	22,5	0,1	0,6	23,1	63,9	97	90	12,9
B <sub>ik</sub>	4-45	102	898	362	253	386	0,65	8,6	20,1	1,6	0,04	0,41	22,1	0,1	0,6	22,8	59,0	97	157	8,8
B <sub>Ck</sub>	45-90 <sup>+</sup>	217	783	383	277	340	0,82	8,1	19,0	1,6	0,03	0,41	21,0	0,1	0,6	21,6	63,6	97	234	5,5
<b>P6</b>																				
C <sub>k1</sub>	0-5	201	799	291	449	260	1,72	8,4	19,1	1,6	0,15	0,35	21,2	0,1	0,6	21,9	83,9	97	619	9,4
2C <sub>k2</sub>	5-80 <sup>+</sup>	159	841	203	692	105	6,59	8,9	9,0	0,7	0,04	0,41	10,1	0,1	0,5	10,7	101,6	95	986	1,5
<b>P7</b>																				
C <sub>k1</sub>	0-40	297	703	352	394	254	1,55	8,7	11,7	1,0	0,10	0,39	13,2	0,1	0,6	13,8	54,2	96	760	1,6
C <sub>k2</sub>	40-95	620	380	488	283	229	1,23	8,6	10,9	1,0	0,12	0,37	12,3	0,1	0,6	13,0	56,7	95	805	0,5
2C <sub>k3</sub>	95-130 <sup>+</sup>	405	595	202	654	144	4,55	8,8	17,5	1,8	0,13	0,40	19,8	0,1	0,6	20,4	142,0	97	871	0,1
<b>P8</b>																				
B <sub>ik</sub>	0-40	120	880	454	207	339	0,61	8,5	17,0	1,4	0,15	0,40	19,0	0,1	0,6	19,6	57,8	97	198	9,3
C <sub>k1</sub>	40-120	240	760	300	351	349	1,00	8,5	19,9	1,2	0,05	0,45	21,6	0,1	0,6	22,3	63,8	97	670	6,3
C <sub>k2</sub>	120-200	278	722	305	452	244	1,86	8,1	15,0	1,1	0,09	0,48	16,7	0,1	0,6	17,3	71,2	97	812	1,9
2C <sub>k3</sub>	200-270 <sup>+</sup>	234	766	345	548	106	5,16	8,2	13,0	1,5	0,09	0,74	15,3	0,1	0,5	15,9	149,3	97	988	0,1
<b>P9</b>																				
C <sub>k1</sub>	0-25	218	782	441	333	226	1,48	8,8	13,5	0,7	0,11	0,36	14,6	0,1	0,6	15,3	67,7	96	717	14,8
C <sub>k2</sub>	25-60	201	799	355	436	210	2,08	9,0	13,2	0,8	0,24	0,06	14,3	0,1	0,6	14,9	71,1	96	705	11,1
2C <sub>k3</sub>	60-125 <sup>+</sup>	131	869	328	540	132	4,08	9,0	10,4	0,7	0,04	0,42	11,6	0,1	0,5	12,2	91,9	95	981	5,5
<b>P10</b>																				
A	0-15	210	790	546	217	237	0,92	8,4	12,6	1,4	0,37	0,36	14,8	0,1	0,6	15,4	64,9	96	222	13,7
B <sub>ik1</sub>	15-45	118	882	315	351	334	1,05	8,7	18,4	2,2	0,17	0,39	21,2	0,1	0,6	21,8	65,3	97	208	6,9
B <sub>ik2</sub>	45-95 <sup>+</sup>	78	922	513	153	334	0,46	8,6	13,8	1,8	0,44	0,27	16,3	0,1	0,6	17,0	50,8	96	88	6,6

CC = Calhau e Cascalho; TF = Terra Fina; AG = Areia Grossa; AF = Areia Fina; Arg = Argila; SB = Soma de Bases; T = Capacidade de Troca de Cátions/CTC Total; TArg = Atividade da Argila; V = Saturação por Bases; CCE = Carbonato de Cálcio Equivalente; MO = Matéria Orgânica.

O P10 encontra-se próximo ao rio Salitre (FIGURA 2), e possui nos seus atributos morfológicos e físicos diferenças dos demais que marcam a influência do ambiente fluvial. Os horizontes apresentam irregular variação da textura (TABELA 1), como, por exemplo, altos valores de areia nos horizontes Ak e Bik2 do P10, respectivamente, 546 e 513 g kg<sup>-1</sup>, e valores menores no horizonte Bi<sub>k</sub>1 (315 g kg<sup>-1</sup>), que, por sua vez, apresenta maior conteúdo de silte (351 g kg<sup>-1</sup>) que os demais (Ak com 217 g kg<sup>-1</sup> e Bik2 com 153 g kg<sup>-1</sup>). Outra condição morfológica que diferencia o perfil P10 é a presença de agregados prismáticos, grandes e com alto grau de desenvolvimento, além da presença de fendilamentos verticais generalizados, causados pela expansão e contração de argilas expansivas que, aliadas a consistência pegajosa a muito pegajosa (SANTOS *et al.*, 2018), confere caráter vértico a estes solos.

### 3.5 Propriedades químicas dos solos

As propriedades químicas dos solos são apresentadas na Tabela 1. Todos os solos, independentemente da posição na sequência ou material de origem, apresentam valores elevados de pH em água. No compartimento pc esses valores são um pouco menores, variando entre 7,6 e 8,5. No compartimento dfv os valores são sempre superiores a 8, podendo chegar a 9. O pH reitera o caráter carbonático dos solos (SANTOS *et al.*, 2018), que possuem a predominância do Ca<sup>2+</sup> no complexo sortivo (acima de 70%), com valores extremos de 20,1 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> no horizonte Bi de P5 (TABELA 1). Os teores de Mg<sup>2+</sup> também são elevados, entre 1 e 2 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, representando a segunda maior contribuição no complexo sortivo em todas as amostras analisadas. Sua distribuição é irregular em alguns perfis no compartimento dfv, como em P4, P8, P9 e P10. Esses dois elementos garantem valores muito altos de saturação por bases (> 90%), atribuindo aos solos generalizadamente um caráter hipereutrófico, condizente com outros estudos realizados por Oliveira *et al.* (1998); Naime *et al.* (2007); Ferreira *et al.* (2016); Oliveira *et al.* (2018), entre outros, em solos do semiárido.

Os valores de soma de bases (S) e CTC (T) são elevados em todos os solos da sequência, e mostram a pequena influência da acidez potencial (H<sup>+</sup> e Al<sup>3+</sup>),

condizente, de acordo com Curi e Kampf (2012), com um ambiente significativamente alcalino. Entretanto, tais valores variam entre os perfis, verticalmente e ao longo da vertente. Os maiores valores de CTC são encontrados nos perfis P1, P5, P6, P7, P8 e P10, desenvolvidos sobre materiais carbonáticos e em posição de baixa declividade ( $\leq 5\%$ ). Os perfis P3, P4 e P9, apesar de estarem também sobre material carbonático, estão em declividades  $\geq 10\%$ , e possuem horizontes subsuperficiais com menores valores de soma de bases

Com relação à atividade da argila, os valores encontrados (TABELA 1) indicam atividade da argila alta (entre 27 e 40 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) para os horizontes subsuperficiais de P2, P3 e P4, e muito alta (> 40 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) para todos os outros horizontes em todos os perfis. Estes valores, associados aos aspectos morfológicos descritos anteriormente, como os fendilamentos registrados em campo, apontam para significativa contribuição de argilominerais 2:1 expansivas.

A exceção de P2, os valores de CCE são altos nos solos em todas as posições da vertente, variando entre 580 e 988 g kg<sup>-1</sup> nos horizontes C $\bar{k}$  e 2C $\bar{k}$ ; 234 g kg<sup>-1</sup> no BC $\bar{k}$ (P5); 157 a 198 g kg<sup>-1</sup> nos horizontes Bi $\bar{k}$ ; e 90 g kg<sup>-1</sup> no horizonte A (P5). A média do CaCO<sub>3</sub> equivalente dos horizontes diagnósticos identificados entre os perfis P3 e P9, indica que quanto mais próximo da base dos perfis, maior o conteúdo de carbonato de cálcio equivalente. Os horizontes com valores maiores que 150 g kg<sup>-1</sup> foram enquadrados como horizontes cálcicos de acordo com Santos *et al.* (2018).

### 3.6 Classificação dos solos

P1 e P2 foram classificados, respectivamente, como CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático típico e CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico leptofragmentário. Para os demais, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS *et al.*, 2018), a inexistência do horizonte B posicionaria os solos erodidos que afloram o horizonte C (P3, P4, P6, P7, P9) como NEOSSOLOS LITÓLICOS Carbonáticos típicos, e aqueles que apresentavam horizonte A+B (P5 e P10) ou apenas B (P8), como CAMBISSOLO HÁPLICO Carbonático saprolítico (P5 e P8) e CAMBISSOLO FLÚVICO Carbonático vertissólico (P10).

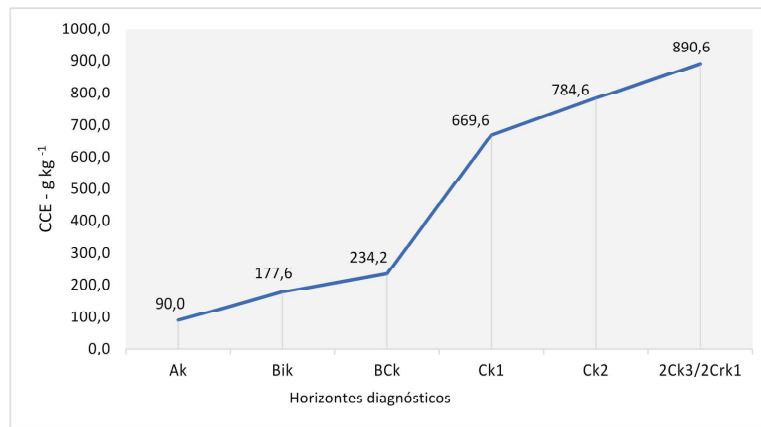


Figura 5 – Valores médios de Carbonato de Cálcio Equivalente (CCE em g kg<sup>-1</sup>) em horizontes diagnósticos nos perfis P3 a P9.

#### 4. Discussão

A relação entre solos carbonáticos e um possível processo de desertificação foi evidenciada pelos resultados obtidos através: (i) da constatação do aumento significativo da exposição dos solos em detrimento da supressão, não reversível, da cobertura vegetal; (ii) da diversidade de feições erosivas associadas às áreas de solos carbonáticos expostos, que testemunham sua erosão ativa; e (iii) de um conjunto de propriedades morfológicas, físicas e químicas que mostram o baixo grau de desenvolvimento dos solos e, conseqüentemente, sua baixa resistência à erosão, principalmente no compartimento dfv. Esses aspectos são discutidos a seguir.

Ainda que a exposição de solos por si só não seja suficiente para apontar altos níveis de degradação das terras, pois em muitos casos a exposição é temporária e está atrelada ao manejo agrícola adotado, ela se incorpora a outros elementos para indicar um processo de desertificação em curso (D'ODORICO *et al.*, 2013), principalmente quando seu desencadeamento ocorreu por intervenções antrópicas e sua aceleração por condicionantes naturais. Em casos como o da bacia do rio Salitre, a exposição dos solos está, em nosso entendimento, denunciando um processo de degradação extrema das terras, onde processos erosivos agressivos estão instalados e em expansão, e onde os horizontes superficiais dos solos já foram removidos e a caatinga encontra limitações para regeneração (FIGURA 3).

No médio curso da bacia do rio Salitre, a grande pressão humana, com o surgimento de localidades (povoados) e maior uso do solo por atividades econômicas, ocorreu a partir do aparecimento e expansão das áreas destinadas a cultivos agrícolas e ou pecuária, além de estruturas representativas de caminhos rurais e estradas.

As três principais atividades implantadas correspondem ao monocultivo do Sisal (*Agave Sisalana*), pecuária de ruminantes de médio porte, como caprinos e ovinos e, nos últimos anos, a agricultura irrigada em pequenas propriedades (BAHIA, 2017). As duas primeiras atividades (atualmente em declínio) foram confirmadas pelos moradores (entrevistados) como as mais importantes da história das localidades investigadas no médio Salitre.

O município de Campo Formoso é o maior produtor de sisal do Brasil, e o vale do Salitre é a principal área de produção (IBGE, 2019). O cultivo e expansão do agave ocorreu na área a partir da década de 1950 (ACIACF, 2019), e cresceu vertiginosamente nas décadas seguintes, tornando-se um importante agente modificador da paisagem, principalmente na retirada da caatinga, com impactos diretos na biodiversidade e na exposição dos solos. Este risco à devastação da cobertura vegetal pelo monocultivo do sisal é apresentado por Evangelista (2011) e Ibarrola-Rivas (2010). O plantio do agave não representa, necessariamente, condicionante para a degradação das terras, mas sim a forma de apropriação das terras e manejo associados a ele, baseados em grandes áreas destinadas apenas a este tipo de cultivo (monocultivo), com a ampla derrubada e queima da vegetação nativa e grande exposição de solos.

Os caprinos e ovinos do vale do Salitre utilizam a caatinga como pasto natural, transitando livremente por extensas áreas em busca de alimento. Áreas de caatinga pressionadas intensivamente por pastejo contínuo desses animais tendem a provocar degradação dos solos, devido ao maior pisoteio, já que eles possuem hábito gregário, isto é, alimentam-se em rebanho, resultado em uma pressão concentrada sobre determinadas áreas (PARENTE e MAIA, 2011). Estes animais se alimentam

de inúmeras espécies de folhas, frutos, sementes, brotos e cascas, podendo causar incremento na mortalidade de espécies lenhosas e remoção das plântulas, impedindo a regeneração vegetal, impactando na produção de serapilheira e na recomposição de espécies da caatinga (GONÇALO FILHO, 2015; FABRICANTE *et al.*, 2017). O superpastejo é certamente um grande entrave no processo de recuperação das áreas degradadas no vale do Salitre. Assim, o monocultivo de sisal com manejo inadequado e a ovinocaprinocultura extensiva, amplamente presente nas últimas décadas, associam-se e contribuem para o desencadeamento e/ou aceleração de processos físicos-ambientais que impactaram na cobertura vegetal e solos.

As condições supracitadas são agravadas significativamente quando os períodos de estiagem são mais duradouros, ou quando o ambiente já se encontra parcialmente degradado, como é o caso da área de estudo. Clima com longos períodos anuais de escassez hídrica (com impacto no ressecamento do solo e na biota), intercalados com eventos torrenciais agressivos (gerados pelos curtos períodos chuvosos), associados às maiores declividades topográficas, potencializam a energia cinética das enxurradas, acelerando a desagregação e a perda de solos nas encostas. Isso faz com que a agropecuária, nos moldes historicamente desenvolvidos no médio Salitre, seja uma atividade de alto risco ambiental.

Um dos aspectos que chama atenção na comparação entre os anos de 1950 e 2019 (FIGURA 2) é a diferença na cobertura vegetal entre os dois compartimentos do relevo. Em 1950, apesar da incipiente ocupação humana, havia no interior da dfv 31% de solo exposto e no pc apenas 7%, demonstrando a maior instabilidade da paisagem no primeiro compartimento, ainda que sobre baixa e semelhante pressão humana. Em 2019 a exposição dos solos atingiu 69% na depressão e 49% no platô, mesmo considerando que o uso atual do solo seja menor no primeiro e maior no segundo compartimento. Portanto há respostas distintas nos compartimentos em função do uso.

Ainda que não tenham sido utilizadas para quantificação por incompatibilidade de escala (1:60.000), as fotografias aéreas de 1964 (ACGS, 1964) mostram vários polígonos representativos de cultivos agrícolas nas vertentes em locais onde havia caatingas (em 1950) e onde na atualidade há solos expostos (em 2019). Adicionalmente, numa comparação entre a condição atual, as fotografias da década de 1960 mostram que

em algumas áreas desflorestadas no platô carbonático ocorreu a recomposição parcial da cobertura vegetal após abandono no uso agrícola, apesar da significativa remoção da caatinga em diversos outros pontos. Esta condição atesta algum potencial de recuperação de parte das funções ecológicas neste compartimento de relevo. Já na depressão não foram identificadas áreas onde a cobertura vegetal foi recomposta, gerando indício de que este compartimento se comporta de forma distinta do platô.

A maior instabilidade na área da depressão pode ser explicada, dentre outros fatores, pelos agentes morfogenéticos instalados, cerceados pelo recuo das vertentes em condições agressivas de erosão linear (RIOS *et al.*, 2020), e principalmente pelas propriedades dos solos. Para comprovar os agressivos eventos erosivos neste compartimento, Rios *et al.* (2020) utilizaram imagens de satélite de alta resolução espacial e apontaram a existência de alta densidade de ravinas e voçorocas na dfv, sendo mapeados 145,5 km dessas feições para uma área de 20,78 km<sup>2</sup> (2.078 hectares). Os autores utilizaram medidas em campo e simulação computacional para apontar um volume de aproximadamente 500.000 m<sup>3</sup> de solo removido das encostas pelas feições erosivas lineares.

As propriedades dos solos interferem diretamente neste cenário e explicam como, a partir das intervenções antrópicas e das características climáticas, o risco à desertificação é potencializado no compartimento dfv. Parte expressiva do solo exposto no interior da depressão possui coloração esbranquiçada e composição comprovadamente carbonática. Comparados aos solos do compartimento pc, a topolitossequência revelou solos com menor grau de desenvolvimento pedológico na dfv, bem como uma série de outros indicadores da sua menor resistência à erosão, conforme discutido a seguir.

Os solos do compartimento pc apresentam menor pedregosidade e menores valores da relação silte-argila. São solos mais cromados, cujas cores avermelhadas indicam condições de drenagem mais eficientes (KAMPF *et al.*, 2012). Possuem estrutura em blocos, bem formados e firmes. São solos derivados diretamente das rochas sotopostas, tanto carbonáticas, como os calcretes em P1, como não carbonáticas, como remanescentes da Formação Bebedouro, em P2. Esse último, embora não apresente condições para definição de horizontes carbonáticos, apresenta nitidamente propriedades químicas associadas à mobilidade de elementos do entorno,

sendo, por isso, um solo afetado pela calcificação.

A maior pedregosidade decorrente da presença de fragmentos não carbonáticos (seixos quartzosos, principalmente), a falta de tendências em diversos resultados das análises físicas e químicas entre os horizontes nos perfis (Tabela 1), e o contato abrupto entre os horizontes pedregosos de cores brunadas com horizontes pulverulentos e esbranquiçados, indicam que os materiais de origem dos solos do compartimento dfv são autóctones na base e alóctones no topo. A falta de uma organização e ausência de estruturas sedimentares estratificadas sugerem uma natureza coluvial para o material alóctone do topo. Os horizontes esbranquiçados da base correspondem a saprólitos de calcretes e tufos calcários, geologicamente recentes (quaternários) associados à Formação Caatinga, apontados por Penha (1994); Auler (1999); Cristalli (2006).

Essa descontinuidade no material de origem e as propriedades morfológicas, físicas e químicas apontam para uma maior erodibilidade nos solos do compartimento dfv que no pc. A depressão apresenta solos com horizontes muito friáveis, com ausência ou baixo grau de desenvolvimento dos agregados, além de elevados teores de silte e areia. Alguns solos também apresentam características vérticas, como fendilhamentos, principalmente no terço inferior da sequência. Materiais coluviais podem constituir como um importante condicionante no desencadeamento de feições erosivas (MOURA e SILVA, 2001; AUGUSTIN e ARANHA, 2006). A alta friabilidade contribui para uma desagregação rápida das unidades estruturais (REICHERT *et al.*, 2010). As características hidrodinâmicas impostas pelas condições vérticas (baixa condutividade hidráulica) reduzem a drenagem interna e ampliam o escoamento superficial (OLIVEIRA, 2008; SOMASUNDARAM *et al.*, 2018; SINGH *et al.*, 2019).

Além disso, os solos no dfv são altamente carbonáticos, com propriedades químicas influenciadas pelos altos valores do pH. Certamente um dos elementos que contribuem na instabilidade na área da dfv diz respeito às peculiaridades químicas dos solos carbonáticos. Entre elas está a diminuição da disponibilidade de alguns micronutrientes (MOREIRA *et al.*, 2000). O excesso de cálcio pode aumentar a precipitação de fósforo, diminuindo sua disponibilidade para as plantas, além de inibir a absorção de alguns micronutrientes (MOREIRA *et al.*, 2000), dificultando o estabelecimento e a regeneração da vegetação. O alto valor de pH pode contribuir

também com o aumento do conteúdo de argila dispersa, o que dificulta a formação de agregados mais estáveis (SPERA *et al.*, 2008). Este aspecto é corroborado por Tang *et al.* (2019), que acrescenta a grande dificuldade de reversão de processos de degradação em áreas com solos carbonáticos.

Os calcretes esbranquiçados e pulverulentos da base constituem materiais altamente friáveis após umedecimento e com baixos valores de material orgânico (variando entre 0,1 e 5,5 g kg<sup>-1</sup>), o que lhes conferem elevadíssimo potencial de desagregação e movimento. Em muitos trechos da dfv estes materiais encontram-se expostos, exumados pelos processos erosivos, com grande destaque na paisagem local.

Assim, as propriedades dos solos devem ser consideradas como um dos principais condicionantes do processo de desertificação (KHANAMANI *et al.*, 2017), o que para Sampaio *et al.* (2003); Avni (2005); Sá *et al.* (2010); Salvati *et al.* (2015); Sarparast *et al.* (2018) e Zweig *et al.* (2018) está relacionado a maneira como estes respondem à erosão. Li *et al.* (2009) apontam que em paisagens cársticas (carbonáticas) mais secas a questão da perda de solo por erosão é significativamente pior, pois o solo possui profundidade ainda menor que em outros ambientes climáticos, além do que as sementes armazenadas e os nutrientes são encontrados apenas no topo do perfil do solo, isto é, na camada mais susceptível.

Abordagens específicas sobre o processo de desertificação em áreas cársticas foram realizadas particularmente na China, por Wang *et al.* (2004); Li *et al.* (2009); Jiang *et al.* (2014); Tang *et al.* (2019) entre outros. Os autores utilizam o termo desertificação rochosa cárstica (*karst rocky desertification*) para caracterizar os processos de transformação na paisagem cárstica representada pela remoção dos solos e a exposição do embasamento rochoso carbonático.

Wang *et al.* (2004) afirmam que as principais características deste processo de desertificação em áreas cársticas são: grave erosão do solo; extensa exposição de materiais do embasamento; diminuição drástica da produtividade do solo; redução da biodiversidade; diminuição da capacidade de retenção de água nos solos; o baixo escoamento fluvial; e aparência de uma paisagem desértica. A principal causa apontada pelos autores são as atividades humanas, mas reconhecem a condição de alta fragilidade natural do ambiente cárstico carbonático.

O quadro ambiental apresentado no compartimento dfv no médio curso do Salitre dificulta a recuperação da área e conduzem a um processo de degradação de difícil reversão, pois as condições instaladas possuem efeito retroalimentador (feedback), que de acordo com D'Odorico *et al.* (2013), conduzem o sistema a uma espiral descendente de degradação. Essas limitam a capacidade do ambiente de recuperar seu estado inicial, o que quer dizer que a perda inicial de cobertura vegetal desencadeou uma sequência de processos que favoreceram ainda mais a diminuição na cobertura vegetal. Os referidos processos estão associados à denudação dos materiais da vertente, que está em plena atividade na área, ocorrendo sobre formações superficiais calcíticas com limitações químicas e altamente susceptíveis à remoção, e um clima semiárido com longos meses de estiagem, que dificultam a regeneração da caatinga, além de chuvas concentradas e torrenciais que potencializam o incremento da erosão hídrica. Em síntese, a exposição dos solos desencadeia e acelera processos que removem o *solum*, que por sua vez realimenta e amplifica persistentemente superfícies sem cobertura vegetal. Sampaio *et al.* (2003) frisam que a erosão pode gerar um processo de degradação irreversível e sua perda causa danos irreparáveis, uma vez que, a diminuição na espessura dos solos implica em redução de volume para suporte de muitas espécies vegetais (suporte físico/crescimento de raízes), além da redução de espaço para o armazenamento de água e nutrientes para as plantas.

De fato, as condições ambientais instaladas não estão permitindo a retomada da caatinga, e sim o avanço da degradação, e é neste sentido que é razoável inferir o alto risco de desertificação na área da depressão de fundo de vale no médio curso da bacia do Salitre, no Estado da Bahia.

#### **4. Considerações finais**

Os resultados apresentados contribuem para apontar os elementos responsáveis pela grande instabilidade no médio curso da bacia do Salitre, semiárido seco da Bahia, reconhecendo o papel da interação entre materiais e processos atuantes, valorizando aspectos naturais relacionados às características das formações superficiais altamente calcíticas, envolvendo solos com horizontes cálcicos gerados sobre colúvios, tufos calcários e calcretes pulverulentos e saprolíticos.

A análise da topo-litossequência apontou que ao

longo do transecto há várias interrupções na continuidade espacial dos horizontes A e B, sendo constatado sua remoção em diversas partes da vertente, com exposição total dos horizontes subsuperficiais. Afirmou-se o alto risco à desertificação da área a partir da verificação da ampliação da exposição dos solos de forma persistente, com forte indício de degradação crescente e redução da capacidade de reorganização ecossistêmica. Esta condição foi apontada quando se constatou que a exposição dos solos, assinaladas inicialmente por sensoriamento remoto, está associada com a exumação de horizontes subsuperficiais altamente calcíticos, dotados de diversas restrições químicas, associados ao processo de acumulação de  $\text{CaCO}_3$ , e da alta fragilidade física-morfológica frente ao processo morfogenético já instalado, registrado na paisagem por feições erosivas e cicatrizes de movimentos de massa.

É possível apontar contribuições das atividades agropecuárias na remoção das caatingas, e na aceleração dos processos acima mencionados, mas é necessário reconhecer que as peculiaridades geradas pelas condições de clima-relevo em interação com as formações superficiais carbonáticas, constituem fatores locais decisivos em um possível processo de desertificação instalado na depressão de fundo de vale do médio Salitre.

A expansão das manchas de solos expostos e sua persistência, no contexto do semiárido, chama à atenção para o necessário cuidado na ocupação e uso do frágil ecossistema da região. A expansão da degradação não compromete apenas a biodiversidade da caatinga, mas afeta também a qualidade e a quantidade dos recursos hídricos, já escassos nessa região semiárida.

#### **Agradecimentos**

A CAPES, Projeto Modelagem 145796/2017-01 pelo apoio financeiro. Ao programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano – *Campus Senhor do Bonfim-BA*.

#### **Referências Bibliográficas**

ANH, P. T. Q.; GOMI, T.; MACDONALD, L. H.; MIZUGAKI, S.; VAN KHOA, P.; FURUICHI, T. Linkages among land use, macronutrient levels, and soil erosion in northern Vietnam: a plot-scale study. **Geoderma**, v. 232, p. 352-362, 2014. DOI:

10.1016/j.geoderma.2014.05.011

AEROSPACE CARTOGRAPHIC AND GEODETIC SERVICE - ACGS. **Fotografias aéreas**. Projeto AF63-32A (Área 9), realizado entre os anos de 1964-1970. Escala 1:60.000.

ALVES, J. J. A.; NASCIMENTO, S. S.; SOUZA, E. N. Núcleos de desertificação no estado da Paraíba. **Raega**, v. 17, p. 139-152, 2009. DOI: 10.5380/raega.v17i0.12314

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Dados pluviométricos: séries históricas de estações. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 05 mai. 2019.

ASSOCIAÇÃO COMERCIAL INDUSTRIAL E AGROPECUÁRIA DE CAMPO FORMOSO - ACIACF. Cultura do sisal. Disponível em: <<http://www.aciacf.com.br/site/index.php?lk=sisal>>. Acesso em: 20 dez. 2019.

AUGUSTIN, C. H. R. R.; ARANHA, P. R. A. A ocorrência de voçorocas em Gouveia, MG: características e processos associados. **Revista Geonomos**, v. 14, n. 2, p. 75-86, 2006. DOI: 10.18285/geonomos.v14i2.112

AULER, A. S. **Karst Evolution and Palaeoclimate in Eastern Brazil**. 1999. 140 f. Thesis (Ph. D). School of Geographical Sciences, University of Bristol. Bristol, 1999.

AULER, A. S.; SMART, P. L. Late Quaternary paleoclimate in semiarid northeastern Brazil from U-series dating of travertine and water-table speleothems. **Quaternary Research**, v. 55, n. 2, p. 159-167, 2001. DOI: doi.org/10.1006/qres.2000.2213

AVNI, Y. Gully incision as a key factor in desertification in an arid environment, the Negev highlands, Israel. **Catena**, v. 63, p. 185-220, 2005. DOI: 10.1016/j.catena.2005.06.004

BAARTMAN, E. M.; VAN LYNDEN, G. W.; REED, M. S.; RITSEMA, C. J.; HESSEL, R. **Desertification and land degradation: origins, processes and solution – A literature review**. Wageningen-Netherlands: Scientific Report, 2007. 100p.

BAHIA. Secretaria do Meio Ambiente. **Plano de recursos hídricos e proposta de enquadramento dos corpos de água da bacia hidrográfica do rio Salitre: síntese executiva/PF03**. Salvador: CBHS/SEMA/INEMA, 2017. 242p.

BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; PASSOS, E. Calcrosta (Caliche), Gênese das Calcrostras, Crostas de Gipso (Gipcrosta), Silcrosta, Silicificação. In: BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; PASSOS, E. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1996. v. 2, cap. 13, p. 704-744.

BOULET, R. CHAUVEL, A; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y.

Analyse structurale et cartographie en pédologie - I - Prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique: les études de toposéquences et leurs principaux apports à la connaissance des sols. **Cahiers de ORSTOM**, v. 19, n. 4, p. 309-321, 1982.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca, PAN-Brasil**. Brasília: MMA, 2004. 225p.

CRISTALLI, P. S. **Macrofitofósseis em tufo calcários quaternários do norte da Bahia como indicadores paleoclimáticos**. 2006. 219 f. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS - CGEE. **Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil**. Brasília/DF: CGEE, 2016. 251p.

CURI, N.; KAMPF, N. Caracterização do Solo. In: KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. (Ed.). **Pedologia: fundamentos**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. cap. 5, p. 147-169.

D'ODORICO, P.; BHATTACHAN, A.; DAVIS, K. F.; RAVI, S.; RUNYAN, C.W. Global desertification: drivers and feedbacks. **Advances in Water Resources**, v. 51, p. 326-344, 2013. DOI: 10.1016/j.advwatres.2012.01.013

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Registro de observações meteorológicas – dados históricos da estação Salitre. Petrolina-PE: Embrapa Semiárido. Disponível em: <<http://www.cpatna.embrapa.br:8080/index.php?op=dadosmet>>. Acesso em: 05 jan. 2020.

EVANGELISTA, A. R. S. O processo de desmatamento do bioma caatinga: riscos e vulnerabilidades socioambientais no território de identidade do sisal, Bahia. **Revista Geográfica de América Central**, v. 2, n. 47, p. 1-13, 2011.

FABRICANTE, J. R.; ARAÚJO, K. C. T.; MANFIO, M.; SIQUEIRA FILHO, J. A. Mortalidade de mudas de espécies nativas sob efeito do pastejo de caprinos, ovinos e emas: implicações para projetos de recuperação/restauração de áreas degradadas na caatinga. **Nativa – Pesquisas Agrárias e Ambientais**, v. 5, n. 6, p. 410-413, 2017. DOI: 10.5935/2318-7670.v05n06a05

FERREIRA, E. P.; ANJOS, L. H. C. D.; PEREIRA, M. G.; VALLADARES, G. S.; CIPRIANO-SILVA, R.; AZEVEDO, A. C. Genesis and classification of soils containing carbonate on the Apodi Plateau, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, 2016. DOI: 10.1590/18069657rbcs20150036



- GONÇALO FILHO, F. **Avaliação de técnicas de manejo da caatinga através da análise dos atributos físicos e químicos do solo**. 2015. 80 f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) - Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró-RN, 2015.
- GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. cap. 4, p. 149-209.
- HUANG, S.; SIEGERT, F. Land cover classification optimized to detect areas at risk of desertification in North China based on SPOT Vegetation imagery. **Journal of Arid Environments**, v. 67, n. 2, p. 308-327, 2006. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2006.02.016
- IBARROLA-RIVAS, M. J. **Sustainability analysis of agave production in Mexico**. 2010. 57 f. Thesis (Master Programme Energy and Environmental Sciences) - Center for Energy and Environmental Studies, University of Groningen, Groningen-Netherlands, 2010.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Produção agrícola do Município de Campo Formoso: lavoura permanente. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/campo-formoso/pesquisa/15/11863?indicador=12044&tipo=grafico>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- JIANG, Z.; LIAN, Y.; QIN, X. Rocky desertification in Southwest China: impacts, causes, and restoration. **Earth-Science Reviews**, v. 132, p. 1-12, 2014. DOI: 10.1016/j.earscirev.2014.01.005
- KAMPF, N.; CURI, N. Formação e evolução dos solos: pedogênese. In: KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. (Ed.). **Pedologia: fundamentos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. cap. 7, p. 207-302.
- KAMPF, N.; MARQUES, J. J.; CURI, N. Mineralogia de Solos Brasileiros. In: KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VITAL-TORRADO, P. (Ed.). **Pedologia: fundamentos**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. cap. 4, p. 81-145.
- KARAMESOUTI, M.; PANAGOS, P.; KOSMAS, C. Model-based spatio-temporal analysis of land desertification risk in Greece. **Catena**, v. 167, p. 266-275, 2018. DOI: 10.1016/j.catena.2018.04.042
- KHANAMANI, A.; FATHIZAD, H.; KARIMI, H.; SHOJAEI, S. Assessing desertification by using soil indices. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 10, n. 13, p. 287, 2017. DOI: 10.1007/s12517-017-3054-5
- LI, Y. B.; SHAO, J. A.; YANG, H.; BAI, X. Y. The relations between land use and karst rocky desertification in a typical karst area, China. **Environmental Geology**, v. 57, n. 3, p. 621-627, 2009. DOI: 10.1007/s00254-008-1331-z
- LOCH, C. **A interpretação de imagens aéreas: noções básicas e algumas aplicações nos campos profissionais**. 4. ed. Florianópolis: EdUFSC, 2001. 118p.
- MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. In: MEDEIROS, S. S.; GHEYI, H. R.; GALVÃO, C. O.; PAZ, V. P. S. (Ed.). **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**. Campina Grande: INSA, 2011. cap. 13, p. 383-422.
- MENESES, P. R.; SANO, E. E. Classificação pixel a pixel de imagens. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA T. (Org.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UNB/CNPQ, 2012. cap. 12, p. 191-208.
- MOREIRA A.; FRANCHINI J. C.; MORAES L. A. C.; MALAVOLTA E. Disponibilidade de nutrientes em vertissolo calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 10, p. 2107-2113, 2000. DOI: 10.1590/S0100-204X200001000024
- MOURA, J. R. S.; SILVA, T. M. Complexo de rampas de colúvios. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertand Brasil, 2001. cap. 4, p. 143-180.
- NAIME, U. J.; CARVALHO JÚNIOR, W. D.; AMARAL, F. C. S.; CUNHA, T. J. F.; SILVA, E. F.; OLIVEIRA NETO, M. B.; FERNANDES, L. A. C. **Levantamento de Reconhecimento de Baixa Intensidade dos Solos do Entorno do Projeto Salitre – Juazeiro/BA**. Boletim de pesquisa e desenvolvimento - 118. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007, 101p.
- NASCIMENTO, F. R. **O fenômeno da desertificação**. Goiânia: UFG, 2013. 244p.
- OLIVEIRA, J. B. **Pedologia Aplicada**. 3. ed. Piracicaba-SP: FEALQ, 2008, 592p.
- OLIVEIRA, C. V.; KER, J. C.; FONTES, L. E. F.; CURI, N.; PINHEIRO, J. C. Química e mineralogia de solos derivados de rochas do Grupo Bambuí no norte de Minas Gerais. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 22, n. 4, p. 583-593, 1998. DOI: 10.1590/S0100-06831998000400003.
- OLIVEIRA, D. P.; SARTOR, L. R.; SOUZA JÚNIOR, V.; CORREA, M. M.; ROMERO, R. E.; ANDRADE, G. R. P.; FERREIRA, T. O. Weathering and clay formation in semi-arid calcareous soils from Northeastern Brazil. **Catena**, v. 162, p.

325-332, 2018. DOI: 10.1016/j.catena.2017.10.030

PARENTE, H. N.; MAIA, M. O. Impacto do pastejo sobre a compactação dos solos com ênfase no Semiárido. **Revista Trópica-Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 5, n. 3, p. 1-15, 2011. DOI: 10.0000/rtcab.v5i3.272

PENHA, A. E. P. P. **O calcário caatinga de Ouro-lândia, Bahia: feições diagnósticas, gênese e evolução de um perfil calcarete**. 1994. 114 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador-BA, 1994.

PEREZ-MARIN, A. M.; CAVALCANTE, A. M. B.; MEDEIROS, S. S.; TINOCO, L. B. M.; SALCEDO, I. H. Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica?. **Revista Parcerias Estratégicas**, Brasília-DF, v. 17, p. 87-106, 2012.

POESEN, J.; NACHTERGAELE, J.; VERSTRAETEN, G.; VALENTIN, C. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. **Catena**, v. 50, n. 2-4, p. 91-133, 2003. DOI: 10.1016/S0341-8162(02)00143-1

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; SUZUKI, L. E. A. S.; HORN, R. Mecânica do Solo. In: VAN LIER, Q. J. (Ed.). **Física do Solo**. Viçosa-MG: SBCS, 2010. cap. 2, p. 29-102.

REIS, C.; MENEZES, R. C. L.; SANTOS, F. P.; MIRANDA, D. A.; LOUREIRO, H. S. C.; NEVES, J. P.; VIEIRA, R. **Carta Geológica Brejão da Caatinga, Folha SC.24-Y-A-III**. Salvador: CPRM, 2018. Escala 1:100.000.

RIOS, M. L.; SILVA, A. J. P.; CARVALHO-SANTOS V. L. Soil loss as a desertification risk indicator: mapping and simulation in the Salitre River Sub-Basin, Northeast Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, p. 1-18, 2020. DOI: 10.36783/18069657rbc20190159.

SÁ, I. B.; CUNHA, T. J. F.; TEIXEIRA, A. D. C.; ANGELOTTI, F.; DRUMOND, M. A. Processos de desertificação no semiárido brasileiro. In: SÁ, I. B.; SILVA, P. C. G. (Ed.). **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina-PE: Embrapa Semiárido; Campinas-SP: Embrapa Informática Agropecuária, 2010. cap. 4, p. 125-158.

SALVATI, L.; MAVRAKIS, A.; COLANTONI, A.; MANCINO, G.; FERRARA, A. Complex Adaptive Systems, soil degradation and land sensitivity to desertification: A multivariate assessment of Italian agro-forest landscape. **Science of the Total Environment**, n. 521-522, p. 235-245, 2015. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.03.094

SAMPAIO, E. V. S. B.; SAMPAIO, Y. D. S. B.; VITAL, T.;

ARAÚJO, M. S. B.; SAMPAIO, G. R. **Desertificação no Brasil: conceitos, núcleos e tecnologias de recuperação e convivência**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003. 196p.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. Á.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5.ed. Brasília-DF: Embrapa, 2018. 356p.

SANTOS, R. D.; SANTOS, H. D.; KER, J.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7. ed. Viçosa-MG: SBCS, 2015. 92p.

SARPARAST, M.; OWNEGH, M.; NAJAFINEJAD, A.; SEPEHR, A. An applied statistical method to identify desertification indicators in northeastern Iran. **Geoenvironmental Disasters**, v. 5, n. 3, p. 1-10, 2018. DOI: 10.1186/s40677-018-0095-3

SINGH, R. B.; AJAI. A composite method to identify desertification 'hotspots' and 'brightspots'. **Land Degradation & Development**, v. 30, n. 9, p. 1025-1039, 2019. DOI: 10.1002/ldr.3290

SINGH, R. K.; CHAUDHARY, R. S.; SOMASUNDARAM, J.; SINHA, N. K.; MOHANTY, M.; HATI, K. M.; et al. Soil and nutrients losses under different crop covers in vertisols of Central India. **Journal of Soils and Sediments**, p. 1-12, 2019. DOI: 10.1007/s11368-019-02437-w

SOMASUNDARAM, J.; LAL, R.; SINHA, N. K.; DALAL, R.; CHITRALEKHA, A.; CHAUDHARY, R. S.; PATRA, A. K. Cracks and Potholes in Vertisols: Characteristics, Occurrence, and Management. **Advances in Agronomy**, v. 149, p. 93-159, 2018. DOI: 10.1016/bs.agron.2018.01.001

SOUZA, D. C.; OYAMA, M. D. Climatic consequences of gradual desertification in the semi-arid area of Northeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 103, n. 3-4, p. 345-357, 2011. DOI: 10.1007/s00704-010-0302-y

SPERA, S. T.; DENARDIN, J. E.; ESCOSTEGUY, P. A. V.; SANTOS, H. P. D.; FIGUEROA, E. A. Dispersão de argila em microagregados de solo incubado com calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 2613-2620, 2008. DOI: 10.1590/S0100-06832008000700002

SUPERINTENDÊNCIA DO VALE DO SÃO FRANCISCO – SUVALE. Fotografias aéreas. Foto Índice Q-184. Projeto 0-46B, realizado entre 1948/1953. Escala 1:25.000.

VIEIRA, R. D. S. P.; TOMASELLA, J.; ALVALÁ, R. C. S.; SESTINI, M. F.; AFFONSO, A. G.; RODRIGUEZ, D. A.; BARBOSA, A. A.; CREPANI, E.; OLIVEIRA, S. B. P. Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian

- northeast. **Solid Earth**, v. 6, n. 1, p. 347-360, 2015. DOI: 10.5194/se-6-347-2015
- TANG, J.; TANG, X.; QIN, Y.; HE, Q.; YI, Y.; JI, Z. Karst rocky desertification progress: soil calcium as a possible driving force. **Science of The Total Environment**, v. 649, p. 1250-1259, 2019. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.08.242
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Ed.) **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília-DF: EMBRAPA. 2017. 574p.
- UNITED NATIONS. **United nations convention to combat desertification in those countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa**. Final text of the Convention. 1994. 58p.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY – USGS. Dados de elevação da Missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). USGS, 2014. Resolução de 30 metros. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 18 mar. 2018.
- WANG, S. J.; LIU, Q. M.; ZHANG, D. F. Karst rocky desertification in southwestern China: geomorphology, landuse, impact and rehabilitation. **Land degradation & development**, v. 15, n. 2, p. 115-121, 2004. DOI: 10.1002/ldr.592
- ZUQUETTE, L. V.; CARVALHO, J. A. R.; YAMANOUTH, G. R. B. Feições erosivas na bacia do córrego do Espraiado, São Pedro (SP), seus tipos e evolução entre 1972-2002. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, n. 2, p. 414-425, 2007.
- ZWEIG, R.; FILIN, S.; AVNI, Y.; SAGY, A.; MUSHKIN, A. Land degradation and gully development in arid environments deduced by mezzo-and micro-scale 3-D quantification–The Negev Highlands as a case study. **Journal of Arid Environments**, v. 153, p. 52-65, 2018. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2017.12.006.