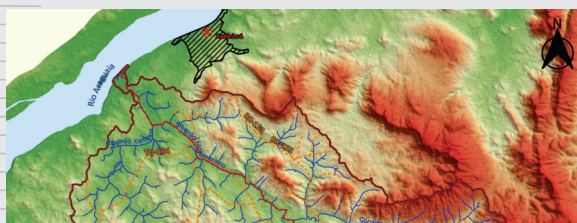
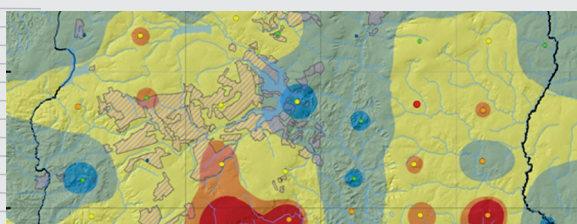




# Informe Técnico-Científico de Prevenção de Desastres e Ordenamento Territorial

Volume 2 - Número 2 • Setembro 2021



## NESSE NÚMERO

- 1 - Perspectivas de contribuições técnico-científicas para a gestão costeira no Brasil
- 2 - Síntese dos condicionantes geoquímicos atuantes nas regiões sul e extremo-sul do Estado de Santa Catarina, Brasil: um caso de influência da bacia carbonífera
- 3 - New map representation of soil results in the environmental geochemical atlas of the Geological Survey of Brazil
- 4 - Caracterização fisiográfica da Bacia do Ribeirão Xambioazinho, Xambioá – TO

## **INFORME TÉCNICO-CIENTÍFICO DE PREVENÇÃO DE DESASTRES E ORDENAMENTO TERRITORIAL**

**V.2, N.2, SET. 2021**

**ISSN 2764-2054**

Publicação on-line seriada do Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial  
Departamento de Gestão Territorial – DEGET

**Disponível em:** [rigeo.cprm.gov.br](http://rigeo.cprm.gov.br)

Serviço Geológico do Brasil – CPRM  
Av. Pasteur, 404 Urca - Rio de Janeiro - RJ - BRASIL  
CEP: 22.290-255  
Telefone:(21) 2295-0032

Contatos: [seus@cprm.gov.br](mailto:seus@cprm.gov.br) / [solicita.deget@cprm.gov.br](mailto:solicita.deget@cprm.gov.br)

---

### **COMISSÃO DE PUBLICAÇÃO**

**Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial:** Alice Silva de Castilho

**Departamento de Gestão Territorial:** Diogo Rodrigues da Silva

**Corpo Editorial:** Carlos Schobbenhaus Filho, Cassio Roberto Silva,  
Maria Adelaide Mansini Maia, Maria Angélica Barreto,  
Sandra Fernandes da Silva, Diogo Rodrigues da Silva.

**Editor:** Eduardo Paim Viglio

**Corpo de revisores:** Aline Costa Nogueira, André Luis Invernizzi,  
Débora Lamberty, Douglas da Silva Cabral, Heródoto Góes,  
Iris Celeste Nascimento Bandeira, Ivan Bispo de Oliveira Filho,  
José Luiz Marmos, Júlio César Lana, Marcelo Eduardo Dantas,  
Marcely Ferreira Machado, Melissa Franzen, Michele Silva Santana,  
Patrícia da Fonseca Almeida, Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff,  
Raimundo Almir Costa da Conceição, Rogério Valença Ferreira,  
Sheila Gatinho Teixeira, Thiago Dutra dos Santos e Tiago Antonelli.

**Revisão de texto:** Irinéa Barbosa da Silva e Cristiane Neres Silva

**Normalização bibliográfica:** Rede de Bibliotecas Ametista

**Editoração eletrônica:** Cristiane de Lima Pereira

---

## APRESENTAÇÃO - O INFORME

O Departamento de Gestão Territorial – DEGET desenvolve programas e pesquisas que visam à coordenação, supervisão e execução de estudos do meio físico, no âmbito das geociências, voltados para o Ordenamento Territorial e a Geologia de Engenharia Aplicada, como suporte aos gestores governamentais na elaboração de políticas públicas e no atendimento à sociedade em geral.

A atuação do Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM é ampla e diversificada, pensando nisso, o DEGET promoveu no final de dezembro de 2020 o lançamento do Informe Técnico-Científico de Prevenção de Desastres e Ordenamento Territorial, publicação seriada, com periodicidade semestral, com pretensão de divulgação breve dos resultados, de relevância científica, retirados de estudos efetuados para nossos projetos regulares dos setores de Geodiversidade, Patrimônio Geológico, Estudos geomorfológicos, Geoquímica Ambiental e Geologia Médica, Recuperação Ambiental e Geotecnia, com no mínimo quatro artigos por volume.

Todos os artigos do Informe encontram-se no link do Departamento de Gestão Territorial, Difusão do Conhecimento em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Difusao-do-Conhecimento-134>.

### COMISSÃO DE PUBLICAÇÃO

Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial  
Departamento de Gestão Territorial - DEGET

---

---

## A HISTÓRIA DO DEGET

O Serviço Geológico do Brasil - CPRM é uma empresa pública, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, que tem as atribuições de Serviço Geológico do Brasil. Sua criação ocorreu pelo Decreto-Lei nº 764, de 15 de agosto de 1969 com o objetivo de atender as necessidades de mapeamento básico e de geologia geral que sirvam de orientação para as pesquisas individuais e específicas em todo o território brasileiro.

Com o advento da legislação ambiental em 1985, houve o aumento da demanda de informações voltadas ao meio ambiente, aos recursos hídricos, ao gerenciamento territorial e prevenção de desastres.

No período compreendido entre 1986 e 1989 a CPRM foi solicitada pelo então Ministério da Irrigação, a elaborar mapas de potencial de terras para agricultura irrigada para subsidiar o Programa Nacional de Irrigação – PRONI. A multidisciplinariedade das informações envolvidas despertou o interesse para uma variedade de questões ambientais que passaram a fazer parte das discussões do grupo formado pelo Diretor da Área de Operações – DAO, Hermes Augusto Verner Inda, do engenheiro agrônomo Ari Delcio Cavedon, Coordenador de Recursos Naturais do PRONI, da geógrafa Regina Celia Gimenez Armesto, responsável pelo projeto no âmbito da CPRM, e do geólogo Valter José Marques, chefe do Departamento de Geologia – DEGEO, e apontaram a necessidade da CPRM desenvolver trabalhos de geologia social, que contemplassem a harmonização de políticas públicas e desenvolvimento econômico, em bases sustentáveis, respeitando as favorabilidades e limitações do meio físico.

Para tanto, em 1989 foi criado, no âmbito do Departamento de Geologia – DEGEO, o Núcleo de Geologia e Engenharia de Meio Ambiente – NUGEMA, com função similar à uma incubadora de projetos, que inicialmente eram desenvolvidos em regime de cooperação com diferentes setores de governo, e com o apoio do quadro técnico de instituições parceiras.

Dentro desse escopo, em 1990, foi concebido o Programa Informações para Gestão Territorial – GATE, que tinha como missão produzir, adquirir e processar informações básicas sobre o meio físico, visando dar suporte técnico-científico às decisões dos responsáveis pelo planejamento e gestão dos variados e complexos espaços geográficos do território brasileiro, com relação a problemas ambientais relacionados a riscos geológicos, gerados pela ocupação desordenada dos espaços territoriais, tanto em regiões metropolitanas, como também em escala regional.

Em 1996, com a finalidade de gerir os projetos do Programa GATE, foi então criado o Departamento de Gestão Territorial – DEGET, com duas divisões: a DIGATE – Divisão de Gestão Territorial, responsável pelos projetos realizados nas regiões Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul e a DIGEAM – Divisão de Gestão Territorial da Amazônia. Em 2016, a DIGEAM foi extinta, dando lugar à DIGEAP – Divisão de Geologia Aplicada, responsável pelos projetos que envolvem riscos geológicos e desastres naturais, enquanto na DIGATE são desenvolvidos os projetos relacionados aos temas geodiversidade, geoquímica ambiental, inventário do patrimônio geológico, mineração e meio ambiente etc.

Assim sendo, o DEGET consolida-se como o setor responsável pela execução de todas as atividades do Serviço Geológico do Brasil - CPRM relacionadas à Geologia Ambiental, à



---

Geologia de Engenharia e à Geologia aplicada a estudos de Planejamento Territorial. Neste contexto, a análise integrada do meio físico, que pressupõe uma avaliação conjunta das variáveis: rocha (Geologia); relevo (Geomorfologia); solos (Pedologia); clima (Climatologia); água (Hidrologia) e vegetação (Biogeografia), tem sido um dos pilares metodológicos do DEGET.

Devido à elevada complexidade e o alto nível de interdisciplinaridade de seus programas e projetos, o DEGET, na condução de seus trabalhos, utiliza-se de uma equipe multidisciplinar de profissionais para atender a sua missão institucional dentro do Serviço Geológico do Brasil, constituída por geólogos, com reforço de geógrafos e agrônomos.

Atualmente, as ações sob a responsabilidade do DEGET, estabelecidas no Programa Plurianual do Governo Federal estão focadas nas seguintes ações:

- **2D62 - Levantamento da Geodiversidade:** abrange projetos que reúnem mapeamento e informações sobre as adequabilidades e limitações frente ao uso e a ocupação do solo para a implantação de empreendimentos como agricultura, mineração, geoturismo, geoconservação e patrimônio geológico, aproveitamento dos recursos hídricos, sistema de informações geoambientais etc. Estão ainda incluídas áreas restritivas ao uso do solo devido a impedimentos legais, como unidades de conservação e áreas indígenas, áreas suscetíveis a riscos geológicos devido a expansão urbana, fontes poluidoras, entre outras aplicações. Nesta ação também estão incluídas os levantamentos do Patrimônio Geológico Nacional, a elaboração de Proposta de Geoparques e os levantamentos e monitoramentos de geoquímica ambiental e geologia médica;
- **20LA - Mapeamento Geológico-Geotécnico em Municípios Críticos com Relação a Riscos Geológicos:** compreende trabalhos e pesquisas visando a identificação e setorização de áreas de riscos; atendimentos emergenciais a municípios atingidos por eventos de risco; elaboração das cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente a desastres naturais; mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa e inundações; mapeamento de perigo a movimentos de massa; treinamento de técnicos da Defesa Civil em gerenciamento de riscos; bases de dados e Sistema Integrado de Dados para a Prevenção de Desastres Naturais – SID;
- **125 F - Implementação da Recuperação Ambiental da Bacia Carbonífera de Santa Catarina:** em decorrência da Ação Civil Pública, que condenou a União a recuperar os passivos ambientais das extintas empresas Carbonífera Treviso e Companhia Brasileira Carbonífera Araranguá – CBCA, a CPRM foi nomeada para executar o projeto de recuperação ambiental das áreas degradadas pela mineração do carvão no sul de Santa Catarina, que compreende obras e serviços de engenharia, iniciados em 2013. Trata-se de uma ação governamental de longo prazo, em função da extensão das áreas degradadas. O passivo ambiental da Carbonífera Treviso compreende aproximadamente 1.100 hectares de áreas mineradas a céu aberto, distribuídas em 11 áreas, das quais uma área foi concluída, duas áreas estão em obras, e outras duas em processo de licitação.

Regina Celia Gimenez Armesto  
Cassio Roberto da Silva  
Jorge Pimentel  
Maria Adelaide Mansini Maia  
Eduardo Paim Viglio

---

---

## ESTE NÚMERO

A terceira publicação do Informe Técnico-Científico de Prevenção de Desastres e Ordenamento Territorial já chega com seu respectivo ISSN atribuído e apresenta dois trabalhos gerais (uma síntese da gestão da nossa imensa costa brasileira e sobre a nova representação dos mapas de solo nos atlas geoquímicos ambientais), e outros dois, mais específicos, versando sobre aspectos ambientais e de geologia médica na região da bacia carbonífera de Santa Catarina e sobre o mapeamento de risco na região de Xambiozinho em Tocantins.

Administrar uma imensa costa marinha, por si só, já é um problema extremamente complexo. A ocupação urbana desordenada em região costeira, quando sujeitas aos diferentes processos geomorfológicos, altamente dinâmicos, atuantes em cada região específica, a complexidade aumenta ainda mais. O autor de “Perspectivas de contribuições técnico-científicas para a gestão costeira no Brasil” traça algumas considerações sobre as políticas existentes ao longo das últimas décadas, as diferenças entre “existir” uma política e ver sua “implantação” efetiva acontecer, apresentando uma importante síntese das bases legais existentes, dos instrumentos de planejamento e de apoio à implantação deste planejamento.

O levantamento geoquímico de baixa densidade executado desde 2003 promove a amostragem apenas do topo do horizonte B na matriz solo. Com a crescente demanda das áreas ambientais, a matriz “Top”, correspondente aos 20 primeiros centímetros do perfil, também passou a ser amostrada concomitantemente a partir de 2015. Cada Atlas já possui um número entre 150 e 160 mapas e acrescer mais 53 mapas do solo Top foi considerado inadequado. Comparando como os serviços geológicos da China e do Reino Unido resolveram esta questão, passou-se a apresentar um mapa com os resultados das duas alíquotas, com representações diferentes, permitindo uma rápida identificação dos pontos onde podem haver problemas ambientais de origem geogênica ou antropogênica. O artigo apresenta um histórico de como essa solução foi encontrada e explica como os mapas atuais são montados.

Por décadas a atividade de extração de carvão na região de Criciúma e arredores ocorreu sem nenhum tipo de controle, até que, no ano 2000, uma sentença judicial condenou a União, as empresas carboníferas e o estado de Santa Catarina a recuperarem as áreas impactadas, dando início ao projeto de Recuperação Ambiental das áreas degradadas pela mineração de Carvão do DEGET. Para auxiliar este monitoramento ambiental, foi feito o levantamento geoquímico de baixa densidade das regiões Sul e Extremo Sul de Santa Catarina, cujo Atlas deve ser publicado em meados de 2022. Este levantamento engloba a região da bacia carbonífera, e visa definir os valores médios de cada elemento em cada um dos meios estudados. Ao observar os resultados dos sedimentos de fundo, a autora constatou uma diminuição na concentração de alguns metais onde eles deveriam possuir um valor mais elevado. Foi efetuado então um estudo de estatística multivariada usando a Análise de Componentes Principais, relacionando os resultados à geologia, aos valores esperados em cada uma das sub-bacias e aos efeitos poluentes da drenagem ácida causada pela mineração do carvão.

---

O Projeto Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações objetiva determinar índices morfométricos quantitativos que auxiliam os estudos hidrológicos e a gestão territorial das bacias. São utilizados diversos índices, relacionados a características fisiográficas das bacias, normalmente retirados dos modelos digitais de terreno na fase pré-campo. A autora nos apresenta estes índices, com suas definições claras e precisas, além da fórmula utilizada para seus cálculos, utilizando como exemplo os estudos efetuados no ribeirão Xambioazinho que faz parte da Carta de Suscetibilidade de Xambioá, Tocantins.

---

---

## SUMÁRIO

### **1. Perspectivas de Contribuições Técnico-Científicas para a Gestão Costeira no Brasil**

#### *Perspectives of Scientific Contributions for Coastal Management in Brazil*

Marcelo de Queiroz Jorge..... 1

### **2. Síntese dos Condicionantes Geoquímicos Atuantes nas Regiões Sul e Extremo-Sul do Estado de Santa Catarina, Brasil: Um Caso de Influência da Bacia Carbonífera**

#### *Synthesis of Geochemistry Behavior of South and Extreme-South Regions of Santa Catarina State, Brazil: A case of Coal Basin Influence*

Melissa Franzen, José Luis Ando Bustamante, Eduardo Paim Viglio ..... 9

### **3. New Map Representation of Soil Results in the Environmental Geochemical Atlas of the Geological Survey of Brazil**

#### *Novo Modelo de Representação dos Mapas de Resultados de Solo nos Atlas Geoquímicos Ambientais do Serviço Geológico do Brasil – SGB-CPRM*

Eduardo Paim Viglio, André Luís Invernizzi, Deborah Ribeiro Baptista, Maria Cecília de Medeiros Silveira ..... 19

### **4. Caracterização Fisiográfica da Bacia do Ribeirão Xambioazinho, Xambioá – TO**

#### *Physiographic Characterization of the Ribeirão Xambioazinho Watershed, Tocantins State, Brazil*

Andressa Azambuja, Almir Conceição, Vitória Ribeiro Pereira ..... 28

# Informe Técnico-Científico de Prevenção de Desastres e Ordenamento Territorial

Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial | Departamento de Gestão Territorial

V. 2, N. 2 Rio de Janeiro, set. 2021 ISSN 2764-2054

## Perspectivas de Contribuições Técnico-Científicas para a Gestão Costeira no Brasil

*Perspectives of Scientific Contributions  
for Coastal Management in Brazil*Marcelo de Queiroz Jorge ([marcelo.jorge@cprm.gov.br](mailto:marcelo.jorge@cprm.gov.br))<sup>1</sup><sup>1</sup> Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Escritório Rio de Janeiro

### Abstract

*The reasoning about the implementation of public policies is still essentially seen only on procedural grounds, without a strategy so that in the implementation phase the policy can still undergo adjustments and planning with mainly integration of all the involved entities, with weightings until its fully functioning. Public policy and spatial planning policies fit in this context, with a series of rules and extensive legislation which has had little direct effect on use and occupation, especially in the sphere of coastal management, where little has incorporated knowledge and technical-scientific work, often resulting in the waste of public resources with the implementation of works and engineering interventions on the coast, which end up accelerating further erosion or moving to other regions. In this work some scientific contributions to coastal management are listed, showing research and science come to contribute a lot to Integrated Coastal Zone Management in Brazil.*

*Keywords: Coastal Zone Management, Integrated Management, Coastal Zone*

Palavras chave: Gestão Costeira, Gestão Integrada, Zona Costeira.

### CONSIDERAÇÕES SOBRE POLÍTICAS NA GESTÃO

Ao longo das últimas décadas, foram criadas regras e diretrizes governamentais visando à implantação de algum tipo de política pública, onde, na prática, não se repercutiu bons resultados. As orientações existem, porém, não são seguidas. Muitas vezes, novas leis sequer são conhecidas pelos principais entes a quem são dirigidas. De acordo com Oliveira (2007), o planejamento ainda é visto como uma coisa quase que sem fundamentos teóricos, apenas procedimentais. O autor relata sobre o raciocínio de que uma vez existindo o plano certo, a implementação sairá automaticamente. No entanto, ele também mostra que a realidade tem sido muito diferente desse fato, onde recursos são gastos e acabam sendo desperdiçados por conta do sucesso insatisfatório de alguns programas, como a Transamazônica e o Polo Noroeste.

Ainda segundo o mesmo autor, existem diversas visões e escolas de pensamentos sobre as elaborações e implementações de políticas públicas no Brasil. Uma das linhas vê o processo de planejamento como simples atividade de

elaborar planos, através de discussões e reuniões, uma série de leis, medidas e regulamentos, que são propostos esperando-se que as ações atinjam os resultados automaticamente, através dessas “boas ações”. Outra escola já reconhece o papel da implementação, porém, ainda recomenda maior importância à elaboração, podendo falhar em problemas técnicos durante a implementação. Uma visão um pouco mais moderna adiciona uma componente de implementação, através de acompanhamentos, reuniões e gestão, porém devido a problemas técnicos e institucionais, as articulações entre membros e comunicações acabam mudando e projetos tornam-se inexecutáveis, como o Projeto de Despoluição da Baía de Guanabara (OLIVEIRA, 2007). A última visão diz respeito a políticas populistas nos dias atuais, constituído em um planejamento com total ênfase na participação popular na implementação e execução dos planos. O autor cita que esse tipo de política é amplamente utilizada nos dias atuais, com a participação da sociedade civil em assembleias, processos de planejamento e monitoramento dos projetos, porém a organização pode se tornar lenta e considerar aspectos irrelevantes para seu funcionamento (OLIVEIRA, 2007).

Partindo do pressuposto acima, a conscientização é de que o processo de construção de políticas públicas precisa ser estruturado com base em um bom sistema de articulação e compreensão entre instituições, governos e entes afetados, sem separação da fase de implementação da de planejamento, fazendo com que os dois processos avancem articulados. Um processo construído a partir de bases políticas e sociais entre os atores envolvidos, baseado em informações precisas e filtradas, sem cair na utopia sobre participação popular sem regulações e ponderações. Além do mais, deve-se reconhecer que o planejamento não é uma ferramenta capaz de prever e controlar o futuro, mas admitindo-o como um processo construtor e articulador de relações ou de organizações na sociedade, buscando um bem comum.

No caso para a gestão territorial, duas outras importantes considerações são levantadas em planejamentos:

Uma cita a dificuldade da gestão urbana sobre questões ambientais, como mencionaram Ferreira e Ballarotti (2010), indicando como um fator pode influenciar e dar origem a outras consequências, apresentando ainda reflexos na gestão urbana. Eles levam em conta as dificuldades que a interdisciplinaridade de sistemas pode influenciar entre si e dificultar em tomadas de decisões públicas. As instituições do Estado, no uso de suas atribuições, visam dar apoio institucional, constituído de vários documentos legais aprovados em escala federal, estadual e municipal.

Outra consideração sobre a gestão territorial refere-se ao fato de que todas as fronteiras político-territoriais são irrelevantes para sua aplicação em questões ambientais, como os limites municipais e estaduais. É do conhecimento de muitos planejadores e administradores das cidades que a abrangência do planejamento ultrapassa muitas vezes esses limites, levando em conta que os aspectos fisiográficos, importantes para o planejamento e gestão de alguns setores urbano-regionais, não correspondem às necessidades da mobilidade da população nesse território (SILVA, 2008; FERREIRA; BALLAROTTI, 2010; SILVA, 2012).

Devido à grande extensão territorial da faixa costeira brasileira, cortando 17 estados da Federação e cerca de 400 municípios (BRASIL, 2006), a grande diversidade de ambientes encontrados dentro de cada uma dessas unidades municipais e, sua densa ocupação por populações com multiplicidades de aspectos e demandas político-sociais, existe a necessidade da elaboração de políticas integradas e descentralizadas, envolvendo todos os entes afetados pelas questões envolvidas, de maneira a se elaborar mecanismos eficazes de articulação entre os mesmos, sem que isso seja motivo para que haja leniência entre processos e torne políticas ineficazes.

O termo sobre gerenciamento integrado da zona costeira já vinha sendo utilizado nos Estados Unidos

desde a década de 1970, percebendo-se sua eficácia na solução de conflitos, usos e ocupações das áreas costeiras (ARCHER, 1978 *apud* THIA-ENG, 1993). No entanto, a partir da Conferência Mundial das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio-92), através da Agenda 21, houve um esforço nacional e mundial para disseminação de uma consciência pública sobre programas de Gerenciamento Integrado da Zona Costeira (GIZC), em países da Europa, Ásia, Caribe e América Latina (THIA-ENG, 1993).

## GESTÃO COSTEIRA NO BRASIL

A fase inicial de desenvolvimento no Brasil foi marcada por um grande período onde a indústria era voltada para o mercado externo, a do Brasil primário-exportador, a qual iria da colonização ao início do século XX (ARAÚJO, 2006). Essa herança foi marcada de forma a deixar uma densa ocupação litorânea no território. Nos tempos mais recentes, percebendo a fragilidade desses ambientes costeiros, retornou o pensamento sobre as políticas de ordenamento sustentável, buscando políticas descentralizadoras e que visem atender às demandas regionais dentro dos municípios, de forma a preservar os ecossistemas e melhorar a qualidade de vida das comunidades.

O modelo de gerenciamento costeiro integrado surgiu da necessidade de se administrar os recursos naturais da zona costeira de forma sustentável, devido essas regiões possuírem grande atrativo comercial, industrial e turístico. Por esta razão, o desgaste dos recursos é evidenciado em vários aspectos, como o aumento da população urbana e da atividade industrial nas zonas costeiras, pesca predatória, exploração maciça de recursos minerais, entre outros. A seguir são citados alguns dos programas e iniciativas governamentais:

O Gerenciamento Integrado da Zona Costeira (GIZC) foi implementado no Brasil através do Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro (GERCO), criado através da convergência entre as principais políticas ambientais e da zona costeira (Política Nacional do Meio Ambiente – PNMA e a Política Nacional para os Recursos do Mar – PNRM), em 1987, a partir da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM). Segundo Souza (2009), a implementação do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro tem avançado de forma inconstante e desigual na costa brasileira, principalmente devido às diferenças institucionais, dificultando assim sua completa implementação.

No parágrafo 4º do art. 255 da Constituição Federal, a zona costeira é definida como patrimônio nacional, onde é destacada como uma porção de território na qual deve ser exercida uma atenção especial do poder público quanto a sua ocupação e uso de seus recursos, assegurando a preservação do meio ambiente.



Em 1988, foi instituída a Lei 7.661, a qual estabelece o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), onde o GERCO possui como objetivo operacionalizar o gerenciamento costeiro de forma descentralizada e participativa. O Ministério do Meio Ambiente (MMA) possui como função coordenar todas as ações centrais junto com os órgãos estaduais ambientais do litoral brasileiro, os quais possuem papel de executores e dever de articulação com os municípios (BRASIL, 1988; ASMUS *et al.*, 2006).

Em dezembro de 2004, foi promulgado o Decreto Federal nº 5.300, regulamentando a Lei Federal nº 7.661/1988 (que instituiu o PNGC) e dispendo sobre regras de uso e ocupação da zona costeira e critérios de gestão da orla marítima. De acordo com o decreto, a zona costeira é delimitada como sendo toda a faixa marinha territorial brasileira, que no momento corresponde a 12 milhas náuticas (ainda tramita reivindicação brasileira perante à Comissão de Limites das Nações Unidas sobre a expansão para aproximadamente 4,5 milhões de km<sup>2</sup>) mais os municípios costeiros que estão sob influência direta de fenômenos litorâneos.

A partir do preceito de delimitação e regras para uso e ocupação da zona costeira, o decreto fornece bases para implementação do Projeto Orla, o qual tem como principal objetivo a gestão integrada e cooperativa de terrenos da orla marinha, com orientações harmônicas entre políticas e ações ante o uso e ocupação. O projeto ainda visa a caracterização socioambiental, adequabilidades e limitações de regiões e diretrizes para intervenções (BRASIL, 2006).

Outra reivindicação brasileira, sobre a comissão de Limites da Plataforma Continental, é a expansão da Zona Econômica Exclusiva (ZEE) do Brasil além das 200 milhas marítimas, estabelecidas pela Convenção das Nações Unidas. A ZEE trata-se de uma faixa além do mar territorial, onde os estados possuem direito de soberania para fins de exploração e aproveitamento, conservação e gestão dos recursos naturais vivos ou não vivos (SOUZA, 1999; GUAITOLINI; OBREGON, 2019)

Moraes (1999), Asmus *et al.* (2006) e Souza (2009) conseguem realizar bem um histórico e sintetizar todos os instrumentos utilizados na gestão costeira integrada brasileira (Tabela 1). Os autores, ainda, declaram que apesar do formato jurídico estar bem estruturado com as perspectivas descentralizadoras, na prática, mostrou problemas operacionais, falta de normas claras referentes ao ordenamento territorial, ao controle ambiental e a falta de maior envolvimento dos municípios no GIZC.

Asmus *et al.* (2006) mencionam que o gerenciamento costeiro integrado é uma atividade baseada em ciência e tecnologia, demandando conhecimento que surge de sua aplicação prática e de desenvolvimento conceitual-metodológico crítico, o qual pode ser construído em instituições de pesquisa brasileiras.

O Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro é composto de alguns instrumentos técnicos para gestão, como exemplo, um deles é o Zoneamento Ecológico Econômico Costeiro (ZEEC), que visa estabelecer zonas de crescimento sustentável de acordo com a fragilidade ambiental e o contexto socioeconômico local, composto de quatro etapas: diagnóstico físico-ambiental, diagnóstico socioeconômico, diagnóstico socioambiental e zoneamento ou uso planejado (ASMUS *et al.*, 2006).

## EXEMPLOS DE SUPORTES TÉCNICO-CIENTÍFICOS PARA GESTÃO COSTEIRA

De acordo com o Decreto 5.300/2004, a zona costeira brasileira corresponde ao espaço geográfico de interação entre o ar, o mar e a terra, incluindo seus recursos renováveis ou não. Durante essas interações, as regiões estão sujeitas a intensas atividades deposicionais, de transporte e de erosões, formando como resultado diferentes tipos de ambiente a depender das características intrínsecas de cada região, como clima, ventos, ondas, geologia, entre outras.

Diante dessas características, é conferido o caráter altamente dinâmico às zonas costeiras, palco de constantes atividades naturais e sujeitas à ocorrência de mudanças repentinas nos padrões dinâmicos das regiões. Já a quebra desses padrões pode ser ocasionada por questões naturais, como ressacas, tempestades e mudanças climáticas, ou antrópicas, como ocupações irregulares ou obras mal planejadas. A fim de minimizar as perdas causadas por essas questões e orientar uma gestão sustentável dos recursos disponíveis nessas regiões, estudos e documentos técnicos podem ser confeccionados por instituições e profissionais de pesquisa.

Analisando diversos estudos, é possível concluir que predomina o processo de erosão sobre a progradação do litoral brasileiro, o trabalho realizado no livro “Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro” (MUEHE, 2006). A erosão costeira é causa de grandes prejuízos econômicos e discussões sobre seus efeitos e medidas paliativas, como o exemplo de São João da Barra, município do estado do Rio de Janeiro, onde localiza-se a região brasileira com maior intensidade do processo de erosão costeira, destruindo e ainda ameaçando diversas construções (SANTOS, 2006). Nesse sentido, a avaliação do risco diante da erosão costeira caracteriza-se como importante ferramenta para o gerenciamento costeiro (TURNER; ADGER, 1996). Dentro desse contexto, alguns autores propõem trabalhos a fim de classificar o risco de erosão, como Souza e Suguio (2003), que através de geoindicadores, mapearam trechos de praias classificando-as segundo graus de risco, ou Lins-de-Barros (2005), que mapeou o litoral de Maricá, no RJ, levando em consideração

indicadores extraídos em imagens aéreas, observações em loco, entrevistas e levantamento de informações. Segundo Souza (2009), um dos benefícios do mapeamento de risco a erosão costeira seria a melhor delimitação da zona de proteção da linha de costa, eliminando os

prejuízos causados por esses processos às construções no litoral, bem como um melhor aproveitamento da região.

O estudo da Morfodinâmica praial é um método que integra observações morfológicas e dinâmicas numa descrição mais completa e coerente da praia e zona de

**TABELA 1: Síntese dos instrumentos de operacionalização da gestão costeira no Brasil.**

Instrumento	Dispositivo	Proposição	
Bases legais	Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM), 1987	Formulação do Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro (GERCO).	
	Art. 225 da Constituição Federal de 1988	Zona Costeira como patrimônio nacional e área de interesse especial	
	Lei Federal nº 7.661 de 1988	Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC).	
	Resolução CIRM nº 01 de 1990	Regulamenta o PNGC I.	
	Lei Federal nº 8.617 de 1993	Disposição sobre o mar territorial, a zona contígua e a zona econômica exclusiva e a plataforma continental brasileira.	
	Resolução CIRM nº 05 de 1997	Regulamenta o PNGC II. Grupo de Integração do Gerenciamento Costeiro (GI-GERCO).	
	Resolução CIRM nº 05 de 1998	Plano de Ação Federal para a Zona Costeira (PAF-ZC). Orla Marítima como prioridade para seu exercício; ações para ordenamento da ocupação e uso do solo; estratégias para a integração de políticas públicas; estabelecimento da base de atuação da União e compartilhamento de responsabilidades.	
	Lei Federal nº 9.636 de 1998	Disposição sobre o patrimônio da união; incluindo os terrenos da marinha e atualizando legislação de 1946; mantendo como parâmetro de medição a linha de preamar média de 1831.	
	Decreto Federal nº 2.972 de 1999	Projeto de Gestão Integrada dos Ambientes Costeiro e Marinho no âmbito do Ministério do Meio Ambiente.	
	Decreto Federal nº 2.956 de 1999	V Plano Setorial para os Recursos do Mar (1999-2003) e aborda a articulação com o GERCO.	
	Plano Plurianual 2000-2003	Aborda o Programa Zoneamento Ecológico-Econômico e o Projeto de Gestão Integrada dos Ambientes Costeiro e Marinho.	
	Instrumentos de Planejamento	Decreto Federal nº 5.300 de 2004	Regulamenta a Lei 7.661/1988; em relação aos limites, as competências de gestão e as regras de uso e ocupação da ZC. Estabelece os limites e as competências para a gestão da Orla Marítima, fornecendo instrumentos voltados à implementação do "Projeto Orla" pelos municípios costeiros.
Leis Estaduais de Gerenciamento Costeiro		Regulamentação específica do zoneamento costeiro, por alguns Estados.	
Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro (PEGC)		Desdobramento estadual do PNGC, apoio à implementação da Política Estadual de Gerenciamento Costeiro.	
Instrumentos de Apoio ao Planejamento no Âmbito do Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro	Plano Municipal de Gerenciamento Costeiro (PMGC)	Desdobramento municipal do PNGC e do PEGC, apoio à implementação da Política Municipal de Gerenciamento Costeiro, relacionando-se com planos diretores.	
	Plano de Gestão da Zona Costeira (PGZC)	Conjunto de ações e programas, articulados e localizados, com a participação da sociedade, que orienta a execução do Gerenciamento Costeiro nos três níveis de governo.	
	Zoneamento Ecológico-Econômico Costeiro e Marinho (ZEEC, ZEEM)		Estabelece as normas disciplinadoras para o uso dos terrenos e dos recursos naturais que compõem os ecossistemas costeiros e aponta as atividades econômicas mais adequadas e sustentáveis para cada zona. Válido para as porções terrestre e marinha, com diretrizes específicas para cada uma. São cinco zonas principais que podem ser compartimentadas.
			Z1 - zona que mantém os ecossistemas primitivos em pleno equilíbrio ambiental, podendo ocorrer atividades humanas de baixos efeitos impactantes e incluir unidades de conservação e áreas indígenas; são áreas com grandes restrições naturais à ocupação e em parte protegidas por lei, com taxa de uso direto indicada de até 5% do seu território (zona de conservação e preservação, com maior restrição).
			Z2 - zona que apresenta alterações na organização funcional dos ecossistemas primitivos, mas é capacitada para manter em equilíbrio uma comunidade de organismos em graus variados de diversidade, mesmo com a ocorrência de atividades humanas intermitentes ou de baixos impactos; a taxa de uso direto é de até 20% (zona de conservação e preservação com menor restrição).
			Z3 - zona que apresenta os ecossistemas primitivos parcialmente modificados, com dificuldades de regeneração natural, pela exploração, supressão ou substituição de algum de seus componentes em razão da ocorrência de assentamentos humanos com maior integração entre si; a taxa de uso direto indicada é de 40 a 60% do território da Zona (zona predominantemente de uso rural).
			Z4 - zona que apresenta os ecossistemas primitivos significativamente modificados pela supressão de componentes, descaracterização dos substratos terrestres ou marinhos, alteração das drenagens ou da hidrodinâmica, necessitando de intervenções para a sua regeneração parcial; indica-se a manutenção de áreas verdes em pelo menos 30% da Zona para permitir melhor permeabilidade do solo (zona de expansão urbana).
		Z5 - zona que apresenta a maior parte dos componentes dos ecossistemas primitivos degradada ou suprimida, e organização funcional eliminada (zona urbana).	
	Sistema de Informações do Gerenciamento Costeiro e Marinho (SIGERCOM)	Sistema que integra e disponibiliza informações do PNGC com dados de várias fontes: banco de dados, sistemas de informações geográficas e produtos de sensoriamento remoto.	
	Sistema de Monitoramento Ambiental	Estrutura operacional de coleta contínua de dados, para o acompanhamento da dinâmica de uso e ocupação da zona costeira e avaliação das metas de qualidade sócio-ambiental; considerando indicadores de qualidade que permitam avaliar a dinâmica e os impactos das atividades sócio-econômicas, como os setores industrial, turístico, portuário, pesqueiro.	
Relatório de Qualidade Ambiental (RQA-ZC)	Consolida, periodicamente, os resultados produzidos pelo monitoramento ambiental e avalia a eficácia das ações da gestão; elaborado pela coordenação nacional do GERCO, a partir de relatórios estaduais		

Fonte: Modificado de Souza, 2009.



arrebentação, onde morfologia e hidrodinâmica evoluem juntas (CALLIARI *et al.*, 2003). Nesse estudo, diversas metodologias podem ser empregadas em conjunto para melhor caracterizar dados distintos. Nicolodi (2002) mostra que a aplicabilidade de sua pesquisa pode fornecer ótimos subsídios para a gestão do território em áreas costeiras. Ao realizar levantamentos na Região Metropolitana de Porto Alegre, Nicolodi (2002) pôde determinar áreas erosivas, de acreção, manejo de dunas, restrições a exploração de areias e melhor delimitação do Parque de Itapuã. Para isso, utilizou dados de ondas, sedimentológicos, perfis de equilíbrio e perfis de praia, entre outros.

Os perfis transversais de uma praia variam com a perda ou ganho de areia em ciclos estacionais anuais, de acordo com as condições energéticas em cada estação. (HOEFEL, 1998). Através de monitoramentos feitos nos anos de 2013 e 2014, Silva *et al.* (2017) caracterizaram a morfodinâmica das praias oceânicas de Niterói. Através desse trabalho, os pesquisadores puderam caracterizar, com base em 104 perfis, os padrões locais de estreitamento (provocados por ressacas) e recomposição (em condições de tempo bom) dos cordões arenosos de praia, concluindo que a Praia de Piratininga seria a mais dinâmica, variando de 34 a 87 metros. Com base nesses dados, é possível serem estabelecidas melhores políticas de uso e ocupação para a região em questão.

Tomando-se consciência do potencial benéfico que o uso da geomorfologia proporciona ao ordenamento territorial (DANTAS *et al.*, 2014; SOUZA; SOBREIRA, 2017; PEREIRA; ALVES; PEREIRA, 2006), diferentes formas de mapeamento geomorfológico podem ser empregadas, a fim de usufruir de seus aspectos, seja das características quantitativas ou qualitativas. Um método utilizado atualmente, e que se mostra bastante eficaz, é o uso do VANT para aquisições em campo de aspectos do relevo. Fernandez (2018) mostra que com o uso de um drone, foi capaz de mapear e classificar feições geomorfológicas complexas, como as dunas costeiras.

O potencial do uso do VANT não é restrito apenas à geomorfologia, sendo conveniente para diversos outros aspectos, como o monitoramento da linha costa. Simões e Oliveira (2020) mostram isso, eles realizaram o monitoramento mensal em uma região erosiva do Rio Grande do Sul, verificando um recuo de 13,8 metros nos meses de outubro e novembro, além de uma taxa relativa baixa de recomposição das dunas, importante feição costeira para a dinâmica praial.

Uma outra metodologia empregada e potencialmente benéfica à gestão territorial são as diferentes técnicas de modelagem computadorizadas. Vasconcelos *et al.* (2016) coletaram e modelaram dados de ondas em seu trabalho, caracterizando melhor o comportamento da corrente de deriva ao longo do ano, a qual foi muito

debatida em outros trabalhos (DIAS, 1981; MARTIN *et al.*, 1984; CASSAR e NEVES, 1993), e consequente dinâmica costeira na região. Foi firmado um convênio entre o Ministério do Meio Ambiente e a Universidade Federal de Santa Catarina, com a finalidade de incorporação de bases de dados da costa nacional para criação de um Sistema de Modelagem Costeira para o Brasil (SMC-Brasil). O SMC-Brasil integra diferentes modelos numéricos que permitem realizar análises em curto, médio e longo prazos de uma praia, contribuindo para estudos e planos de gestão litorâneos. Como exemplo, Peixoto (2019) modelou as áreas de recorrências históricas de atingimentos de inundações no município de Jaguaruna (SC), usando dados como marés, ondas, correntes e clima, servindo como importante ferramenta para gestão de áreas costeiras ante às inundações.

Uma ferramenta disponível em livre acesso pelo *Google Earth Engine* é o *Deltas Aqua Monitor*. Foi o primeiro instrumento operado em escala global, fornecendo imagens de satélite com resolução com 30 metros, que mostra porções da Terra onde houve ganhos e perdas de terreno nos últimos 30 anos. Apesar da resolução não ser a mais adequada para esse tipo de avaliação, demonstra as potencialidades em seu desenvolvimento. Nesse trabalho é detectado um aumento da massa de terra sobre as águas em escala global, porém não são consideradas estruturas e intervenções antrópicas em todo o globo, inclusive no interior dos continentes. Um dos trabalhos, baseado na ferramenta, superestima a vulnerabilidade dos pântanos diante ao aumento do nível dos mares, concluindo-se que a medida que o mar sobe, novos pântanos são formados a uma taxa similar a da subida. No entanto, o autor reforça que é uma taxa superestimada (KIRWAN, 2016).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma série de regras e legislações criadas no país surtem poucos efeitos na prática, muitas vezes passam despercebidas pelos principais entes a quem deveriam afetar. Esse fato deve-se, principalmente, à falta do entendimento básico da dinâmica natural desses ambientes e pela forma de planejamento como são construídas as políticas públicas, sem que haja uma fase de planejamento unida ainda na implantação, com mecanismos de informação, fiscalização, integração de todos os entes envolvidos e bem informados sobre as questões, de forma a conceder poderes adequadamente no desenvolvimento, com contribuição participativa popular, porém com ponderações, para que não haja discussões irrelevantes e morosidades.

As políticas ambientais tornam-se particularmente complexas dentro desse contexto, devido à interdisciplinaridade inserida no tema. A política deve ser construída

tomando conhecimento das escalas afetadas e tendo em vista que cada sistema está sujeito à interferência e quebra do complexo em seu entorno e, portanto, além do dever dessas interferências de serem previstas, devem ser acompanhadas tendo consciência do tema sobre “planejamento” de políticas que o parágrafo anterior citou, a qual é aliada à implantação.

Vale ressaltar outra consideração importante sobre as políticas ambientais, sobre sua necessidade em desconsiderar limites geopolíticos para seu funcionamento, como municipais e estaduais. Além das possibilidades de interferência nos complexos sistêmicos ambientais em seus entornos, muitas vezes um mesmo processo ambiental não segue limites, podendo desencadear outros fenômenos e alcançar regiões administrativas vizinhas (SILVA, 2012).

O Gerenciamento Integrado da Zona Costeira no Brasil surgiu a partir das principais políticas ambientais e é descrito a partir de uma série de leis, legislações e regras que definem como e quando utilizar, define poderes a diversos entes e órgãos do governo, como também serve de instrumento para gestão integrada da costa no Brasil, como o Projeto Orla e o Zoneamento Ecológico-econômico. No entanto, poucos locais aplicam os instrumentos para funcionamento adequado.

Diversos autores citam sobre a falta de iniciativas governamentais, fiscalizações, consciência sobre o tema e articulações entre empresas e governos, ainda sobre a ausência de normas claras e documentos técnicos sobre a gestão do território costeiro. (MORAES, 1999; ASMUS *et al.*, 2006; OLIVEIRA, 2007; SOUZA, 2009). A ciência não ficou para trás nesse sentido, diversos trabalhos foram construídos para estudos da zona costeira brasileira, porém pouco é utilizado para gestão de áreas costeiras. Nesse sentido, o texto em questão citou diversos exemplos de trabalhos técnico-científicos na costa, trazendo a consciência do potencial e provando como a pesquisa pode contribuir para a questão, como alguns documentos técnicos podem também melhorar e construir novas normas, e também espaços possam ser melhor planejados na zona costeira brasileira. Muito ainda pode ser construído com novos trabalhos, diante de novas iniciativas e estímulos à questão.

O Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro é composto de uma série de regulamentos, ações e instrumentos os quais são vistos poucas vezes em prática. A falta de conhecimento e noções básicas pelos gestores trazem pouca eficiência na gestão desses ambientes, gerando uma ausência de ações e planejamentos. Atitudes para conscientização e educação das comunidades nesses locais são essenciais para efeitos práticos. Também se verifica a necessidade de um banco de dados integrador nacional, permitindo levantar informações geradas por

todas as pesquisas sobre o tema, melhorando a capacidade de entendimento em um contexto mais amplo sobre os fenômenos e processos costeiros no litoral brasileiro.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, T. B. Desenvolvimento regional: a descentralização valoriza a diversidade. *In*: FLEURY, S. (org.). **Democracia, descentralização e desenvolvimento**: Brasil & Espanha. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006, p. 373-396.

ARCHER, J. H. **Coastal management in the United States**: a selective review and summary. Rhode Island: International Coastal Resource Management Project, The University of Rhode Island, 1988. (Technical report series).

ASMUS, M. L.; KITZMANN, D. I. S.; LAYDNER, C.; TAGLIANI, C. R. A. Gestão costeira no Brasil: instrumentos, fragilidades e potencialidades. **Gestão Costeira Integrada**, ano 4, n. 5, p. 52-57, 2006. Disponível em: [https://www.aprh.pt/rgeci/pdf/RGCI\\_5.pdf](https://www.aprh.pt/rgeci/pdf/RGCI_5.pdf)

BRASIL. **Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988**. Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L7661.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7661.htm). Acesso em: maio 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Projeto Orla**: fundamentos para gestão integrada. Brasília: Ministério do Meio Ambiente: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, 2006. Disponível em: [https://www.gov.br/economia/pt-br/assuntos/patrimonio-da-uniao/destinacao-de-imoveis/arquivos/2020/manual\\_do\\_projeto\\_orla-fundamentos-para-gestao-integrada-2006.pdf/view](https://www.gov.br/economia/pt-br/assuntos/patrimonio-da-uniao/destinacao-de-imoveis/arquivos/2020/manual_do_projeto_orla-fundamentos-para-gestao-integrada-2006.pdf/view)

CALLIARI, L. J.; MUEHE, D.; HOEFEL, F. G.; TOLDO JUNIOR, E. Morfodinâmica praias: uma breve revisão. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 51, n. único, p. 63-78, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-77392003000100007>

CASSAR, J. C. M.; NEVES, C. F. Aplicação das rosas de transporte litorâneo à costa norte-fluminense. **Revista Brasileira de Engenharia**: Caderno de Recursos Hídricos, v. 11, n. 1, p. 81-106, 1993.

DANTAS, M. E.; SHINZATO, E.; RENK, J. F. C.; MORAES, J. M.; MACHADO, M. F.; NOGUEIRA, A. C. O emprego da geomorfologia para avaliação de suscetibilidade a movimentos de massa e inundação – Mimoso Do Sul/ES. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, v. 4, n. 2, p. 23-42, 2014. <https://www.abge.org.br/downloads/revistas/artigo22016060119455490488.pdf>

DIAS, G. T. M. O complexo deltaico do rio Paraíba do sul. *In*: SIMPÓSIO DO QUATERNÁRIO NO BRASIL, 4., 1981, Rio de Janeiro. **Publicação especial nº 2**. Rio de Janeiro: SBG, 1981. p. 58-74.

FERNANDEZ, G. B. Geomorfologia de dunas costeiras primárias e secundárias determinadas por imagens de alta resolução. **Revista de Geografia**, Recife, v. 35, n. 4, p. 344-

- 359, 2018. Número Especial XII SINAGEO. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/238235/30055>
- FERREIRA, Y. N.; BALLAROTTI, C. R. Gestão ambiental urbana: exemplos de gestão em áreas de inundação. **OLAM - Ciência & Tecnologia**, Rio Claro, SP, v. 10, n. 2, ago./dez. 2010. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/olam/article/view/4450>
- GUAITOLINI, F. L.; OBREGON, M. F. Q. A extensão da plataforma continental além das duzentas milhas marítimas e a Amazônia Azul. **Derecho Y Cambio Social**, n. 55, p. 112-133, enero/marzo 2019. Disponível em: <https://lnx.derechocambiosocial.com/ojs-3.1.1-4/index.php/derechocambiosocial/article/view/34>
- HOEFEL, F. G. **Morfodinâmica de praias arenosas oceânicas**: uma revisão bibliográfica. Itajaí: Editora da Univali, 1998. 92 p.
- KIRWAN, M. L.; TEMMERMAN, S.; SKEEHAN, E. E.; GUNTENSPERGEN, G. R.; FAGHERAZZI, S. Overestimation of marsh vulnerability to sea level rise. **Nature Climate Change**, v. 6, n. 3, p. 253-260, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate2909>
- LINS-DE-BARROS, F. M. Risco, vulnerabilidade física à erosão costeira e impactos sócio-econômicos na orla urbanizada do município de Maricá, Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 6, n. 2, p. 83-90, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v6i2.54>
- MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J. M.; DOMINGUEZ, J. M. L.; AZEVEDO, A. E. G. Evolução da planície costeira do rio Paraíba do Sul (RJ) durante o quaternário: influência das flutuações do nível do mar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., 1984, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBG, 1984. p. 84-97. Disponível em: [http://sbg.sitepessoal.com/anais\\_digitalizados/1984-RIO%20DE%20JANEIRO/CBG.1984.vol.11.pdf](http://sbg.sitepessoal.com/anais_digitalizados/1984-RIO%20DE%20JANEIRO/CBG.1984.vol.11.pdf)
- MORAES, A. C. R. **Contribuições para a gestão da zona costeira do Brasil**: elementos para uma geografia do litoral brasileiro. São Paulo: EDUSP, 1999.
- MUEHE, D. (org.). **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006. 475 p.
- NICOLODI, J. L. **A morfodinâmica praial como subsídio ao gerenciamento costeiro**: o caso da Praia de Fora-Parque Estadual de Itapuã, RS. 2002. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/3309>
- OLIVEIRA, J. A. P. Repensando políticas públicas: por que frequentemente falhamos no planejamento? In: MARTINS, P. E. M.; PIERANTI, O. P. (org.). **Estado e gestão pública**: visões do Brasil contemporâneo. Rio de Janeiro: Ed. FGV, 2007. p. 189-200.
- PEIXOTO, J. S. **Análise de regimes extremos de inundação costeira nos balneários centrais do município de Jaguaruna–SC, com o uso do Sistema de Modelagem Costeira (SMC-Brasil)**. 2019. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/193819>
- PEREIRA, P.; ALVES, M. I. C.; PEREIRA, D. Importância da cartografia geomorfológica no ordenamento de áreas protegidas: o caso do Parque Natural de Montesinho. In: ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE GEOMORFÓLOGOS. **Geomorfologia, ciência e sociedade**. Coimbra: APGeom, 2006. p. 173-177. (Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos, v. 3). Disponível em: [https://apgeomorfologos.pt/wp-content/uploads/Vol\\_3\\_redux.pdf](https://apgeomorfologos.pt/wp-content/uploads/Vol_3_redux.pdf)
- SANTOS, R. A. **Processos de Erosão e Progradação entre as praias de Atafona e Grussaí - RJ**. 2006. Monografia (Graduação em Geografia) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2006.
- SILVA, A. L. C.; ECCARD, L. R.; SILVESTRE, C. P. Variações morfológicas nas praias oceânicas de Niterói (RJ, Brasil) em resposta a incidência de ondas de tempestades. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 10, n. 1, p. 206-218, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20170011>
- SILVA, A. C. P. Novas arquiteturas para a gestão intergovernamental do território fluminense: desafios de um Rio de Janeiro federativo. In: SANTOS, A. M. S. P.; MARAFON, G. J.; SANT'ANNA, M. J. G. (org.). **Rio de Janeiro: um território em mutação**. Rio de Janeiro: Ed. Gramma: FAPERJ, 2012 p. 223-248.
- SILVA, C. R. (ed.). **Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro**. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/1210>
- SIMÕES, R. S.; OLIVEIRA, U. R. Monitoramento mensal da linha de costa no Balneário Mostardense-RS entre 2016/2017 utilizando dados de VANT. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 11, n. 1, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abequa.v11i1.65729>
- SOUZA, C. R. G. A erosão costeira e os desafios da gestão costeira no Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 9, n. 1, p. 17-37, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.5894/rgci147>
- SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K. The coastal erosion risk zoning and the São Paulo Plan for Coastal Management. **Journal Coastal Research**, n. 35, p. 530-547, 2003. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/40928805>
- SOUZA, J. M. Mar territorial, zona econômica exclusiva ou plataforma continental? **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 17, n. 1, mar. 1999. <https://doi.org/10.1590/S0102-261X1999000100007>
- SOUZA, L. A.; SOBREIRA, F. G. Proposta de unidades geomorfológicas como suporte à expansão urbana e ao ordenamento territorial. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 18, n. 4, p. 703-717, out./dez. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v18i4.1235>

THIA-ENG, C. Essential elements of integrated coastal zone management. **Ocean & Coastal Management**, v. 21, n. 1-3, p. 81-108, 1993. [https://doi.org/10.1016/0964-5691\(93\)90021-P](https://doi.org/10.1016/0964-5691(93)90021-P)

TURNER, R. K.; ADGER, W.N. **Coastal zone resources assessment guidelines**. Texel: LOICZ, 1996. (LOICZ Reports & Studies, n. 4). Disponível em: [http://archive.iwlearn.net/loicz.org/imperia/md/content/loicz/print/rsreports/4\\_coastal\\_zone\\_resources.pdf](http://archive.iwlearn.net/loicz.org/imperia/md/content/loicz/print/rsreports/4_coastal_zone_resources.pdf)

VASCONCELOS, S. C.; ROCHA, T. B.; PEREIRA, T. G.; ALVES, A. R.; FERNANDEZ, G. B. Gênese e morfodinâmica das barreiras arenosas no flanco norte do delta do rio Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira Geomorfologia**, São Paulo, v. 17, n. 3, p. 481-498, jul./set. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v17i3.845>



# Informe Técnico-Científico de Prevenção de Desastres e Ordenamento Territorial

Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial | Departamento de Gestão Territorial

V. 2, N. 2 Rio de Janeiro, set. 2021 ISSN 2764-2054

## Síntese dos Condicionantes Geoquímicos Atuantes nas Regiões Sul e Extremo-Sul do Estado de Santa Catarina, Brasil: Um Caso de Influência da Bacia Carbonífera

*Synthesis of Geochemistry Behavior of South and Extreme-South Regions of Santa Catarina State, Brazil: A case of Coal Basin Influence*

Melissa Franzen ([melissa.franzen@cprm.gov.br](mailto:melissa.franzen@cprm.gov.br))<sup>1</sup>  
José Luis Ando Bustamante ([andojl@hotmail.com](mailto:andojl@hotmail.com))<sup>2</sup>  
Eduardo Paim Viglio ([eduardo.viglio@cprm.gov.br](mailto:eduardo.viglio@cprm.gov.br))<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Superintendência de Porto Alegre  
<sup>2</sup> Consultor Independente  
<sup>3</sup> Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Escritório Rio de Janeiro

### Abstract

*This research uses Analysis of Principal Components (ACP) to synthesize information about Low Density Geochemistry stream sediments survey of the South and Extreme-South regions of Santa Catarina State, where it's inserted a coal mining region. The sampling work includes 74 samples from bottom sediments, with a density sample of nearly 1/150 km<sup>2</sup> and <80 mesh size for analysis. The sediments were submitted to extraction by HNO<sub>3</sub>/HCl (3:1) and analyzed by ICP for 53 elements. After data normalization and correlation study, the results of 47 parameters with relevance for ACP analysis were selected. Three principal components explained 72.7% of total variance. The first and second components reflected the lithotypes of acid rocks in the North area and basic rocks in the South area. The third component portrays the anthropic influence of coal mining, resulting in the acid mine drainage, that leaches the natural elements and retains the toxic elements in the affected areas.*

*Keywords: Regional geochemistry, bottom sediments, acid mine drainage.*

Palavras chave: Geoquímica regional, sedimentos de fundo, drenagem ácida de mina.

### INTRODUÇÃO

Até a década de 1980, a atividade extrativa da mineração de carvão em Santa Catarina (SC) ocorria sem nenhum controle ou preocupação ambiental. Na década de 1990, a região carbonífera de SC possuía 5.500 ha (55 km<sup>2</sup>) de áreas degradadas pela exploração de carvão, sendo 2.770 ha minerados a céu aberto e 2.730 ha de depósitos de rejeitos (JICA, 1998). No ano 2000, uma sentença judicial condenou a União, as Empresas Carboníferas e o estado de Santa Catarina a recuperar algumas das áreas impactadas, o que deu início ao Projeto de Recuperação Ambiental das Áreas Degradadas pela Mineração de Carvão.

Atualmente, a atividade extrativa de carvão ocorre condicionada ao licenciamento ambiental, em um novo modelo setorial que preconiza viabilizar a indústria carbonífera catarinense de forma autossustentada e ambientalmente

correta, aliando as atividades carboníferas com a recuperação ambiental. Nos últimos 10 anos, diversas técnicas de recuperação ambiental têm sido empregadas, pois cada condição local exige uma solução. Para avaliação da recuperação ambiental de áreas degradadas, vem sendo realizado pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM), desde 2009, o monitoramento de qualidade das águas superficiais e subterrâneas dentro da área impactada.

Para se conhecer o substrato geoquímico natural e delimitar o impacto gerado pela mineração de carvão, foi realizado um levantamento geoquímico de baixa densidade nas regiões hidrográficas onde se encontra inserida a bacia carbonífera, iniciando o recobrimento geoquímico em escala regional do estado de Santa Catarina pelas regiões hidrográficas Sul e Extremo-Sul.

Este trabalho teve por objetivo apresentar o comportamento geoquímico dos sedimentos fluviais de fundo, desde as nascentes dos recursos hídricos superficiais

até a foz dos grandes rios da região, passando pelas litologias com camadas de carvão, que fazem parte da Bacia do Paraná. Para tal, foi empregado um tratamento estatístico multivariado, de ordenação das variáveis em componentes principais, com a finalidade de diminuir o número de variáveis, e descrever os principais processos, naturais e antrópicos, atuantes e formadores do substrato geoquímico, na região em que se encontra inserida a Bacia Carbonífera de Santa Catarina.

## DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde às regiões Sul e Extremo-sul do Estado de Santa Catarina, onde se encontra inserida a Bacia carbonífera, na porção sudeste do Estado.

A região hidrográfica Extremo-Sul é composta pelas bacias dos rios Mampituba (1.250 km<sup>2</sup>), Araranguá (2956 km<sup>2</sup>) e Urussanga (676 km<sup>2</sup>), enquanto a região Sul é composta pelas bacias dos rios Tubarão (4.734 km<sup>2</sup>) e Duna (1.211 km<sup>2</sup>). Juntas, estas duas regiões hidrográficas totalizam aproximadamente 10.827 km<sup>2</sup> (Figura 1).

Uma estimativa atual para a área de influência da Bacia Carbonífera de Santa Catarina, levando em consideração somente as sub-bacias afetadas pela mineração desde as suas nascentes, seria da ordem de 2.745 km<sup>2</sup> (Figura 1), área inserida nas bacias hidrográficas dos rios Araranguá, Urussanga e Tubarão, que em conjunto perfazem 8.366 km<sup>2</sup>.

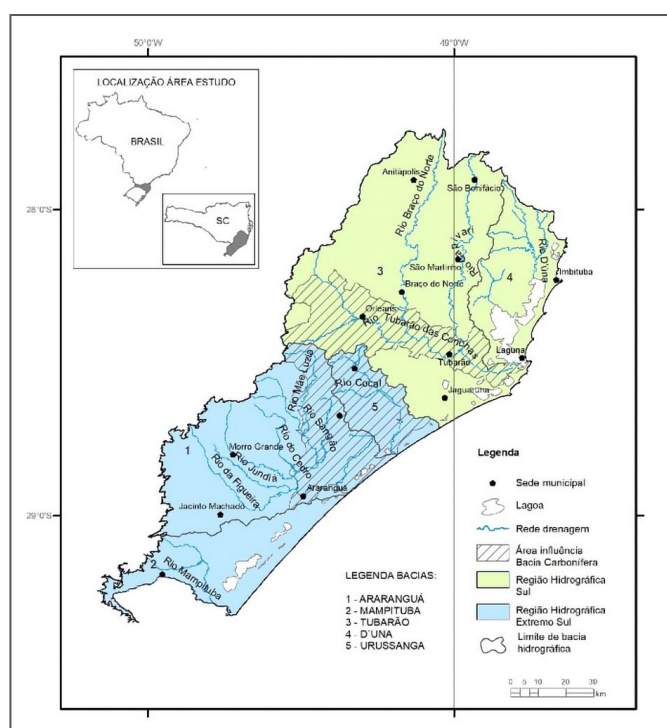


FIGURA 1 - Localização da área de estudo. Fonte: elaborada pelos autores.

As zonas de maior impacto ambiental situam-se no Centro-Leste da área de estudo, onde se encontra totalmente inserida a Bacia de Urussanga. Tal impacto se estende para parte das bacias de Araranguá (ao Sul) e Tubarão (ao Norte), e recai principalmente sobre as águas superficiais e subterrâneas desta área, que circunscreve um grande passivo ambiental associado à extração de carvão, em galerias subterrâneas e a céu-aberto, ao longo dos últimos 40 anos.

A região de Jaguaruna, embora cercada pela área considerada impactada pelo carvão, foi excluída em função do relevo e características das águas superficiais, pois se encontram isoladas as nascentes destes cursos de água.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os sedimentos de fundo foram coletados em pontos representativos de sub-bacias hidrográficas inferiores a 150 km<sup>2</sup>. Ao todo, foram coletadas 74 amostras de sedimentos de fundo, abrangendo uma área de influência aproximada de 10.827 km<sup>2</sup>, o que representa uma densidade média de 1 amostra a cada 146 km<sup>2</sup>.

Os sedimentos de fundo foram coletados no canal ativo da drenagem, abaixo do nível de água, em trechos sub-retilíneos. A coleta foi realizada de forma composta, numa faixa de 10 m ao longo da drenagem, a montante do acesso, com um peneiramento prévio *in loco* em peneira de nylon na fração < 32 mesh (0,5 mm).

As amostras foram secas a 55°C em estufa e peneiradas na fração < 80 mesh (0,177 mm), previamente à extração com água-régia (HNO<sub>3</sub>/HCl concentrados – 3:1) (USEPA, 2007), que visa determinar a disponibilidade e mobilidade dos metais (RAURET, 1998).

As análises químicas foram realizadas por ICP-OES ou ICP-MS, contemplando 53 elementos (Ag, Al, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Ge, Hf, Hg, In, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Pd, Pt, Rb, Re, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Zn, Zr), pelo laboratório SGS-GEOSOL. Dependendo da força de ligação dos elementos químicos à matriz cristalina, os resultados da extração com água-régia se aproximam de concentrações parciais ou totais.

O processamento dos dados envolveu estatística descritiva e de distribuição dos elementos (quartis, percentis, histograma, *boxplot*), geoestatística (interpolação para representação em mapas) e multivariada, representada pela Análise de Componentes Principais (ACP), que foi o principal objetivo deste trabalho. Uma análise multivariada de dados pode indicar padrões mais simples do que a análise individual de cada elemento, podendo explicá-los em um número muito menor de variáveis chamados fatores, ou componentes (GEOSOF, 2010).

A preparação dos dados para ACP requer a normalização dos mesmos, sendo que neste caso mantiveram-se os valores extremos em função da baixa densidade amostral. A seleção de variáveis foi realizada por meio da análise de correlação, onde dados pouco correlacionados foram retirados por não aportarem informação. O método ACP calcula uma matriz de correlação usando todas as variáveis de interesse e amostras de um banco de dados, resultando um novo conjunto de variáveis artificiais chamadas autovalores (*eigenvalues*), cujo valor indica a importância de cada componente (fator) sobre a variação total dos dados. Os carregamentos (*loadings*) expressam a influência de cada variável dentro de um fator, e as pontuações (*scores*) expressam a influência de um autovetor em uma amostra específica, permitindo o mapeamento espacial do fator em amostras individuais e exposição espacial por meio de mapas.

As análises foram realizadas por meio do software Geosoft Target 9.8.1, a partir de matriz de dados originais com 74 unidades amostrais e 47 variáveis (elementos químicos). Foram excluídos Au, B, Ge, Re, Se, Ta e Te, seja por terem poucos resultados detectados ou por não apresentarem correlações significativas.

As menções no decorrer do trabalho sobre possíveis origens naturais e antrópicas dos elementos químicos são oriundas de observação do seu comportamento espacial, por bacia hidrográfica, e do seu comportamento geoquímico frente a fatores geológicos e ambientais. Já os teores de fundo, ou de *background*, dizem respeito à uma faixa de valores considerados médios em materiais geológicos não mineralizados (LICHT, 1998). Dentre os métodos robustos consagrados, foi empregado o *boxplot* para estimativa da faixa de *background*. Os valores dos dados ordenados são divididos em quatro partes iguais, com o percentil de 50% (mediana) no centro, e os percentis de 25% e 75% delimitando um bloco de valores que representa 50% do conjunto de dados (REIMANN *et al.*, 2005). Para efeito de simplificação, ao longo do texto, o *background* é referido como o valor central do bloco, representado pela mediana.

## GEOLOGIA

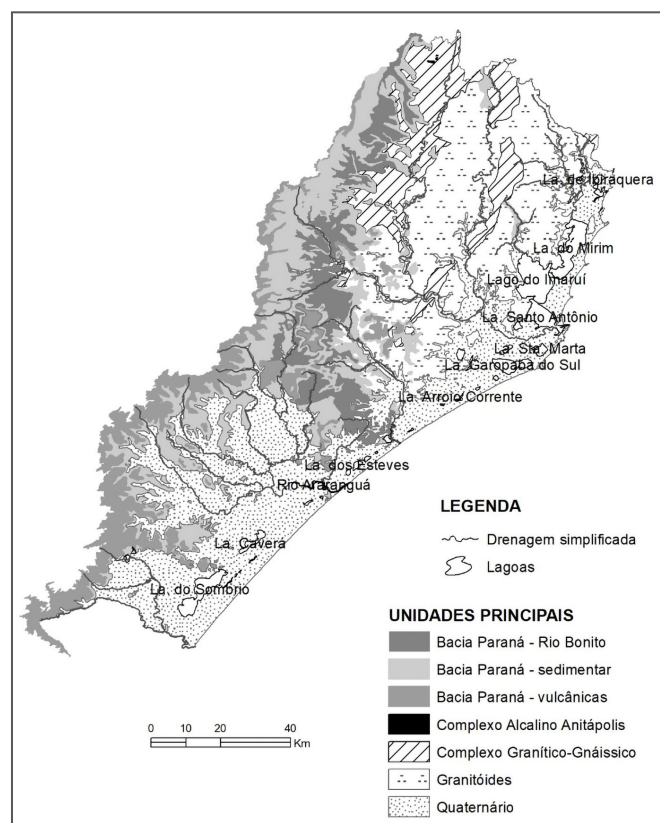
De acordo com CPRM (2014), a área de estudo tem como embasamento unidades do Escudo Catarinense pertencentes ao Cráton Itapema, agrupadas no Complexo Granítico-Gnáissico. Constituem granitoides foliados, sin a tardi-transcorrentes, pertencentes à Suíte Intrusiva Paulo Lopes, que predominam na porção Norte da área de estudo (Figura 2).

Intrusivos no Complexo Granítico-Gnáissico e em parte contemporâneos, datados do Neoproterozoico,

encontram-se corpos graníticos das suítes Pedras Grandes e Cambirela, que compõem o Domínio Interno do Cinturão Dom Feliciano. A consanguinidade entre as unidades pertencentes ao Cinturão Dom Feliciano é considerada devido à homogeneidade petrográfica (cálcio-alcalina ou alcalina) e dados isotópicos existentes, que identificam desde os termos meso a catazonais até os diferenciados epizonais, estes últimos formando *stocks* localizados em cúpulas graníticas rasas, que representam os termos finais da magmatogênese (SILVA; LEITE, 2000).

De pequena expressão no Extremo-Norte da área, ocorre o Complexo Alcalino de Anitápolis, um pequeno maciço alcalino básico-ultrabásico de aproximadamente 6 km<sup>2</sup>, que intruiu os granitoides cálcico-alcalinos da Suíte Pedras Grandes. É o único depósito conhecido de fosfato no sul do Brasil (KAHN, 1988).

Registram-se ainda no Norte, mineralizações hidrotermais filoneanas de fluorita, associada à calcedônia e barita, nos trechos alto e médio da Bacia de Tubarão. O minério se encontra encaixado entre granitoides da Suíte Pedras Grandes e a unidade basal da Bacia do Paraná. A origem dos fluidos pode ser rochas do embasamento cristalino (DARDENNE; SAVI, 1984), o magmatismo alcalino ou as salmouras da Bacia do Paraná (MARTINS FILHO, 2004).



**Figura 2** - Esboço geológico simplificado. Fonte: CPRM (2014), modificada pelos autores.



Nas bordas Oeste e Sul do embasamento, e predominando na porção Central-Leste da área, encontram-se as rochas sedimentares da Bacia do Paraná, capeadas por rochas vulcânicas básicas nas bordas escarpadas e altos do planalto Serra Geral, em todo o quadrante Oeste. Esta bacia sedimentar é constituída por depósitos continentais e de plataforma rasa, cuja implantação se deu no período paleozoico-mesozoico. O registro compreende um pacote sedimentar-magmático, de espessura total máxima em torno dos 7 mil metros (MILANI *et al.*, 2007).

Aflora na área de estudo a Supersequência Gondwana I de Milani *et al.* (2007), cujas unidades sedimentares encerram um ciclo transgressivo-regressivo completo, no qual se encontram os depósitos de carvão do Sul-Catarinense. A Figura 2 agrupa as unidades sedimentares pertencentes à Supersequência Gondwana I, com exceção da Fm. Rio Bonito, em destaque por conter as camadas de carvão.

A Fm. Rio Bonito se caracteriza pela alternância de pacotes ora predominantemente arenosos, ora pelíticos, com as camadas de carvão em sua porção superior e meridional da Bacia do Paraná.

O registro estratigráfico expõe ainda os arenitos da Fm. Botucatu, depositados após um longo período erosivo a partir do final do Jurássico, e os magmatitos da Fm. Serra Geral nas cotas mais elevadas do terreno, agrupados na Supersequência III de Milani *et al.* (2007).

Para efeito de simplificação da geologia, os arenitos da Fm. Botucatu foram incluídos no grupo de unidades sedimentares da Bacia do Paraná (Figura 2).

A Fm. Serra Geral é uma sequência vulcânica de rochas básicas toleíticas, acompanhadas de intrusões na forma de *sills* e diques, de lavas ácidas e quantidades subordinadas de rochas intermediárias (PICCIRILLO *et al.*, 1988), que cobrem ou intrudem os sedimentos da Bacia do Paraná, e que estão parcialmente recobertos por sedimentos cenozoicos.

No extremo Sul da área, próximo à cidade de Maracajá, e ao longo do divisor de águas a Oeste-Sudoeste, as rochas vulcânicas da Fm. Serra Geral afloram como corpos essencialmente básicos, cujos acessórios são magnetita esquelética e apatita acicular (SILVA; LEITE, 2000).

O contato da Fm. Serra Geral com as unidades mais antigas da Bacia do Paraná, na porção Central, é determinado por discordância erosiva e, em alguns locais do Norte, os magmatitos jazem diretamente sobre as rochas graníticas do embasamento cristalino, tal como nas proximidades de Orleans, São Ludgero e Urussanga, onde também se verifica o contato por falha entre estas unidades.

Ocupando uma faixa mais larga ao Sul da área de estudo, a Planície Costeira é formada por uma sedimentação cenozoica, desenvolvida durante o Quaternário. Abrange depósitos sedimentares continentais, transi-

cionais e marinhos, além de depósitos de encosta e aluviões ao longo dos atuais cursos de água. Os sedimentos se desenvolveram como produto de processos continentais (depósitos de leques aluviais e aluvionares), transicionais (depósitos flúvio-lagunares e flúvio-deltaico-marinhos) e costeiros dominado por ondas (relacionadas à evolução de duas barreiras arenosas, uma pleistocênica e outra holocênica).

No que se refere aos recursos hídricos subterrâneos, a área abrange os sistemas aquíferos Rio Bonito, Leques Aluviais e Fluviolacustres.

## RESULTADOS

Com a aplicação da ACP se obtiveram as componentes mais relevantes nas primeiras dimensões, ou eixos denominados principais. As relações do conjunto de dados foram obtidas considerando uma significância mínima (1,0) em cada componente, indicada pelo seu autovalor (Tabela 1).

O primeiro componente principal tem o maior autovalor e os componentes seguintes têm autovalores gradativamente menores. As demais componentes (autovalores < 1.0) foram rejeitadas e as componentes principais recalculadas usando o esquema Varimax de Kaiser. Destaca-se que as três primeiras componentes explicam 72.7% da variância total (Figura 3). O resultado da ACP pode ser representado pelos escores das primeiras três componentes principais (PC1 – PC3), visualizadas em 2D (Figura 4), ou ainda no espaço tridimensional em 3D (Figura 5).

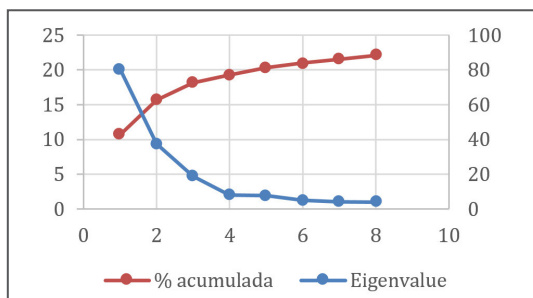
A Tabela 2 resume os autovalores e autovetores em cada uma das principais componentes.

De acordo com os dados expostos, o eixo 1 representa a PC1 com 20,1% da variância (Tabela 1) e maior representação dos autovetores de U, Ce, Tl, Rb, Yb, La, Y, Be, Lu, Th, Tb, Cs, Sn, Bi, Pb, K e Li, altos e negativos (Tabela 2).

TABELA 1: Autovalores da Análise de Componentes Principais.

PC	AUTOVALOR	% ACUMULADA
1	20.097	42.8
2	9.363	62.7
3	4.704	72.7
4	2.04	77
5	1.947	81.2
6	1.26	83.9
7	1.058	86.1
8	1.018	88.3

Fonte: elaborada pelos autores



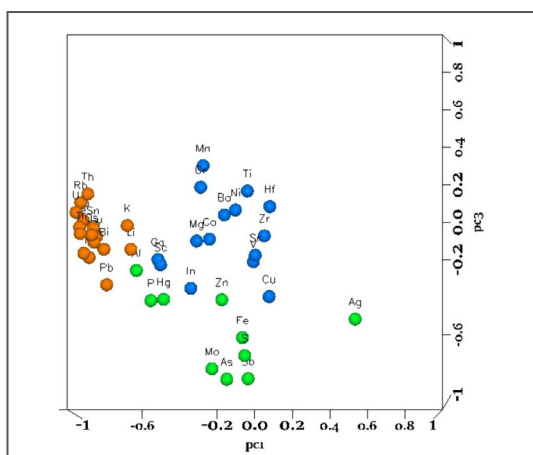
**FIGURA 3 - Autovalores da Análise de Componentes Principais.**  
Fonte: elaborada pelos autores.

O eixo 2 representa a PC2 com 9.3% da variância (Tabela 1) e autovetores altos e positivos com V, Cu, Ga, Sc, Ti, Co, Mg, Zr, Ni, Sr, Hf, Mn, In, Ba e Cr (Tabela 2).

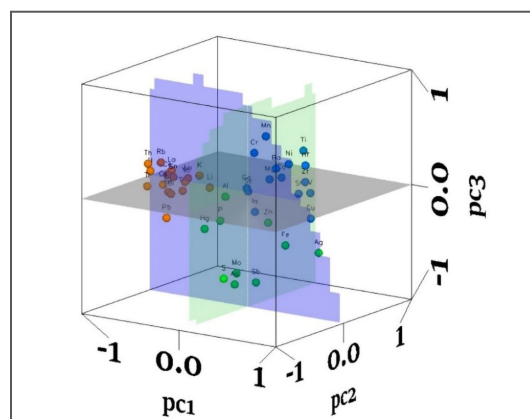
O eixo 3 representa a PC3 com 4.7% da variância e coeficientes de correlação altos e negativos com Fe, Al, Sb, As, Mo, P, Ag, S, Zn e Hg.

Optou-se por omitir as demais componentes em virtude da sua baixa significância e para que este informe pudesse se tornar mais objetivo.

A seguir, apresenta-se a distribuição das principais componentes (PC1 a PC3) na área e uma descrição resumida destas.



**FIGURA 4 - Variáveis representadas pelos escores das três componentes principais em 2D.** Fonte: elaborada pelos autores.



**FIGURA 5 - Variáveis representadas pelos escores das três componentes principais em 3D.** Fonte: elaborada pelos autores.

**TABELA 2: Autovalores e autovetores das componentes principais PC1, PC2 e PC3.**

PC1	LOADINGS	SCORES	PC2	LOADINGS	SCORES	PC3	LOADINGS	SCORES
U	0.912	-0.955	V	0.899	0.948	Fe	0.823	-0.615
Ce	0.876	-0.936	Cu	0.858	0.834	Al	0.814	-0.257
Tl	0.869	-0.932	Ga	0.854	0.739	Sb	0.732	-0.834
Rb	0.866	-0.93	Sc	0.853	0.741	As	0.724	-0.837
Yb	0.853	-0.86	Ti	0.824	0.892	Mo	0.693	-0.781
La	0.84	-0.917	Co	0.797	0.859	P	0.647	-0.417
Y	0.839	-0.858	Mg	0.707	0.782	Ag	0.639	-0.516
Be	0.834	-0.913	Zr	0.625	0.789	S	0.577	-0.711
Lu	0.833	-0.845	Ni	0.602	0.769	Zn	0.525	-0.413
Th	0.796	-0.892	Sr	0.58	0.761	Hg	0.412	-0.411
Tb	0.784	-0.885	Hf	0.571	0.751			
Cs	0.758	-0.871	Mn	0.536	0.678			
Sn	0.744	-0.863	In	0.49	0.611			
Bi	0.649	-0.806	Ba	0.471	0.667			
Pb	0.626	-0.791	Cr	0.359	0.524			
K	0.463	-0.681						
Li	0.438	-0.662						

Fonte: elaborada pelos autores.

■ **PC1** – U, Ce, Ti, Rb, Yb, La, Y, Be, Lu, Th, Tb, Cs, Sn, Bi, Pb, K e Li.

Componente essencialmente litófila, representada por teores naturalmente elevados de U, Ti, Rb, Be, Th, Cs, Sn, K e Li no Norte, em relação ao *background* da área, oriundos do embasamento cristalino; teores de *background* levemente aumentado de Elementos Terras Raras - ETR (Ce, La, Yb, Y, Lu e Tb), tanto no Norte quanto no Sul, e teores possivelmente antrópicos de Bi e Pb nas bacias Tubarão e Duna (Figura 6).

Explicada por litologias predominantemente granitoides, de sieno a monzogranitos, além de milonitos, concentra U, Li, Cs, Sn e Rb nas nascentes do Rio Braço do Norte (Bacia de Tubarão), em ambos os tributários de NW (Anitápolis) e NE (São Bonifácio), de onde se estende

até São Martinho. Somente em Anitápolis destacam-se Th, Be, Ti e os ETR.

Teores possivelmente antrópicos de Bi nas vertentes SW-NE do rio Braço do Norte (Bacia de Tubarão), e de Pb desde as nascentes do Rio Braço do Norte, em Anitápolis e São Bonifácio, assim como próximo a foz do Rio Tubarão, onde chegam também U, Sn, Ce e outros ETR já mais diluídos. O Pb antrópico se destaca ainda na foz da Bacia Urussanga, onde algumas das variáveis naturalmente empobrecidas (Cs, Li) se concentram na foz.

Uma possível origem antrópica para o Bi e o Pb é embasada pelo fato de ambos formarem sulfetos possivelmente presentes nos filões de fluorita, explorados nas bacias de Tubarão e Urussanga. Os teores máximos

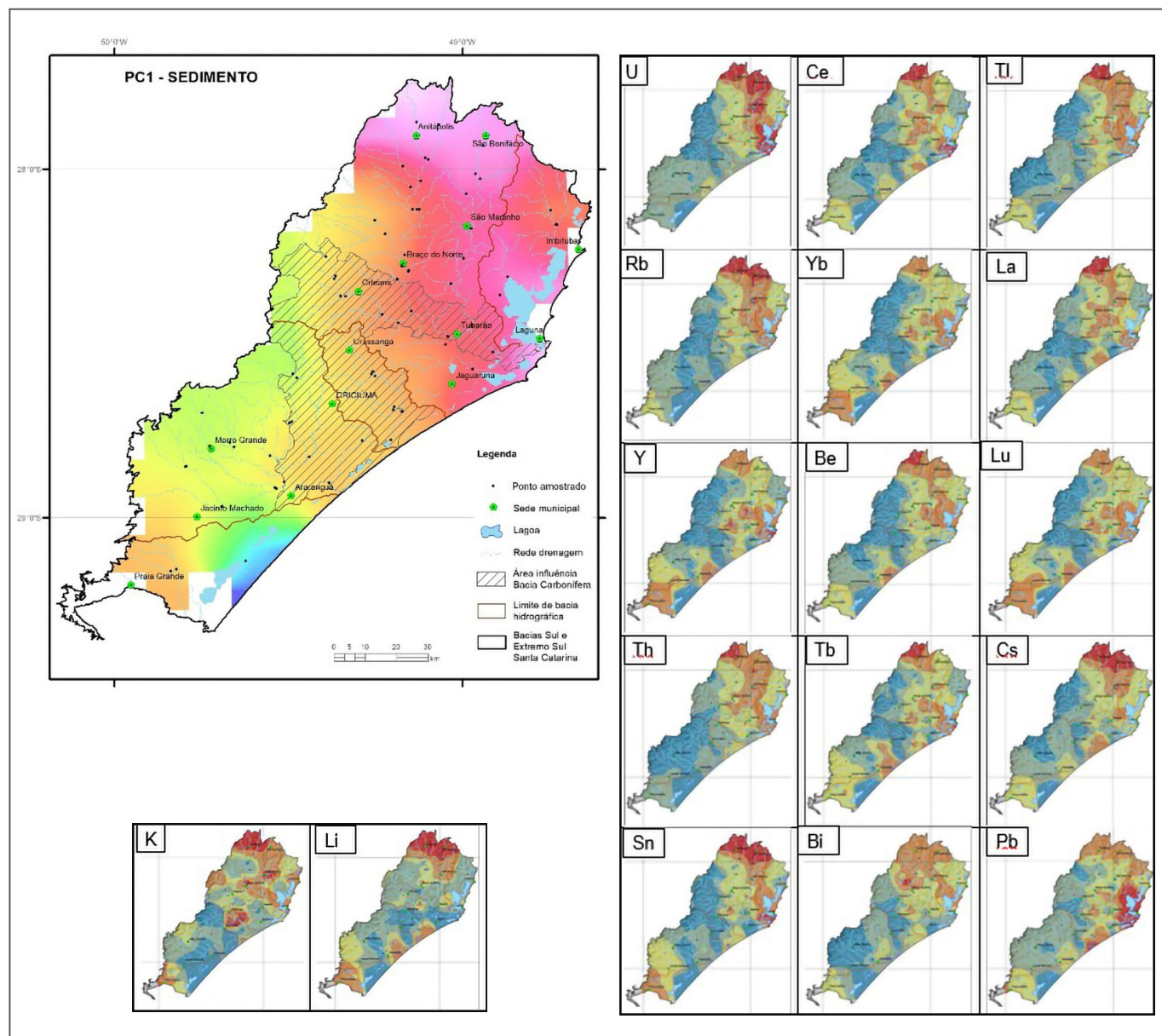


FIGURA 6 - Espacialização da PC1 e dos elementos associados. Fonte: elaborada pelos autores.



identificados nestas bacias se situam cerca de uma ordem de grandeza acima do valor de *background* da área para o Bi, e 5 vezes o valor da mediana para o Pb, o qual se encontra ainda o dobro do limite ambiental.

■ **PC2** – V, Cu, Ga, Sc, Ti, Co, Mg, Zr, Ni, Sr, Hf, Mn, In, Ba e Cr.

Representa influência litófila das rochas básicas no Sul, nas bacias de Mampituba e Araranguá e, secundariamente, das restritas básico-ultrabásicas no Norte, na Bacia de Tubarão. Evidenciam-se ainda enriquecimentos localizados de Ni, In e Ba, nos trechos médios das bacias de Urussanga e Araranguá (Figura 7), que se supõe serem antrópicos, em função das nascentes terem um menor teor de fundo e desses enriquecimentos serem pontuais e à jusante das áreas mineradas.

Teores naturalmente elevados de V, Cu, Ga, Sc, Ti, Co, Mg, Zr, Ni, Mn, In e Cr, em relação ao *background*,

ocorrem desde as nascentes nos basaltos toleíticos da Serra Geral (bacias Mampituba e Araranguá). Em virtude da Drenagem Ácida de Mina (DAM), parte desses metais são localmente lixiviados e se encontram levemente concentrados no trecho médio (V, Cu, Ga, Sc, Ti, Mg), à jusante das áreas mineradas (Treviso e Siderópolis), assim como na foz do rio Araranguá (Co, Ni, In). Outros, simplesmente desaparecem (Mn), podendo vir a serem encontrados nas lagoas à jusante, que não foram amostradas.

A Bacia Urussanga, apesar de ter ocorrências de rochas básicas, se encontra depletada quase todos os elementos de proveniência básica e ultrabásica (V, Cu, Ga, Sc, Ti, Co, Ni, Mg, Cr), havendo enriquecimentos de Zr, Hf, In e Cr na foz.

No extremo Norte da Bacia Tubarão, a restrita ocorrência alcalina básico-ultrabásica de Anitápolis justifica a presença de valores extremos de Cr e Mg.

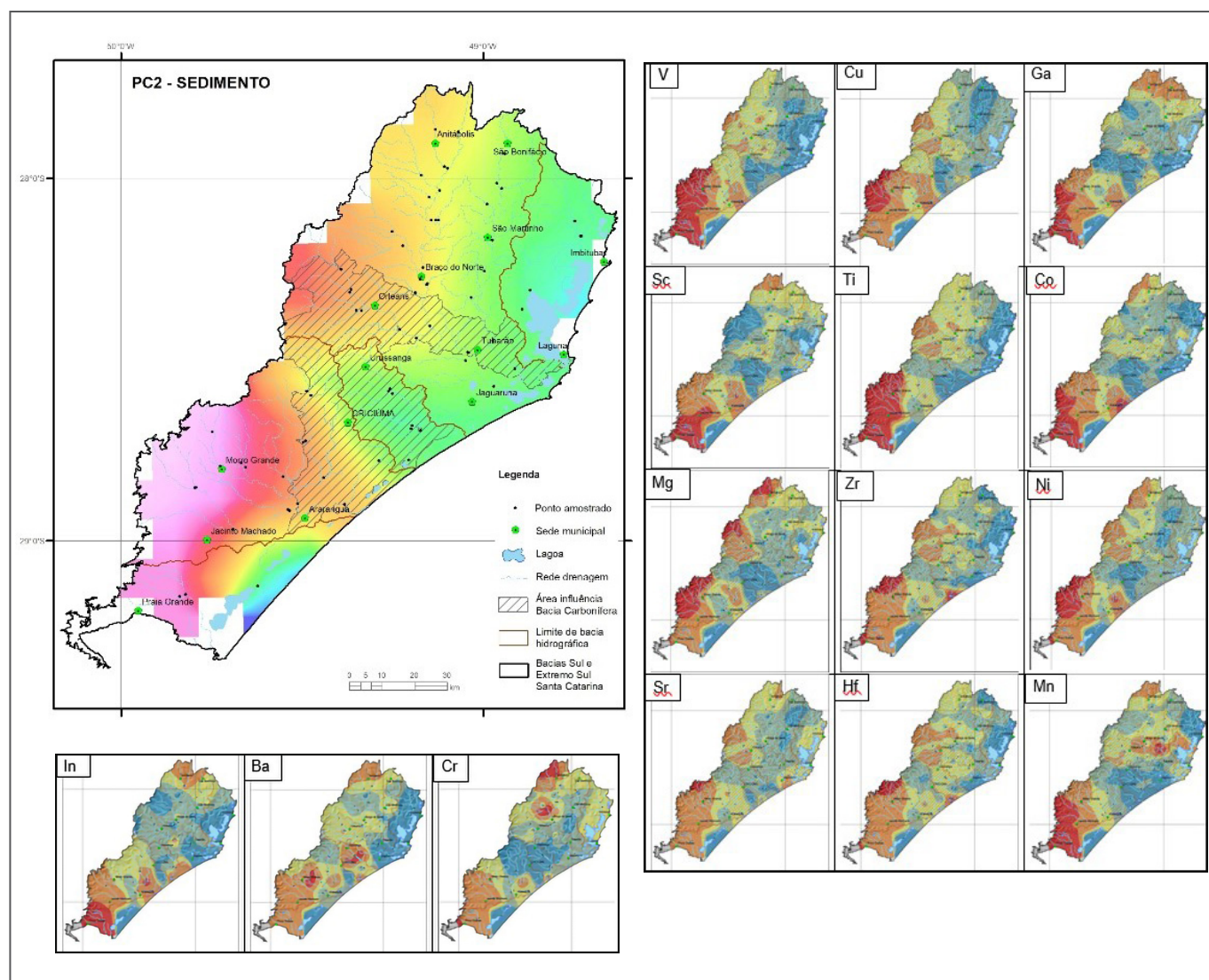


FIGURA 7 - Espacialização da PC2 e dos elementos associados. Fonte: elaborada pelos autores.

**PC3 – Fe, Al, Sb, As, Mo, P, Ag, S, Zn e Hg.**

Resultante da influência antrópica da mineração de carvão no Centro-Leste, na Bacia de Urussanga e parte das bacias de Araranguá e Tubarão (Figura 8).

Em virtude do impacto ambiental causado pela DAM, se observa o enriquecimento de elementos com provável origem antrópica (Sb, As, Ag, Hg) que, caso não houvesse a mineração, não se destacariam na paisagem geoquímica. São marcantes o enriquecimento de Fe e S em toda a área afetada pela DAM, a depleção de alguns elementos nas áreas mineradas (Al, P) e o seu aparecimento à jusante, nos cursos médio (P) e inferior, na foz do rio Araranguá (Al, Mo, Zn), juntamente com aqueles que se encontraram enriquecidos em toda a área afetada pela DAM (Fe, S, Sb, As, Ag, Hg).

Na Bacia de Mampituba, nota-se que os teores de Fe, Al e Zn são naturalmente elevados, assim como nas nascentes da Bacia Araranguá, que possui enriquecimentos antrópicos de P a jusante de Treviso e Siderópolis, neste caso, possivelmente oriundo da ocupação urbana.

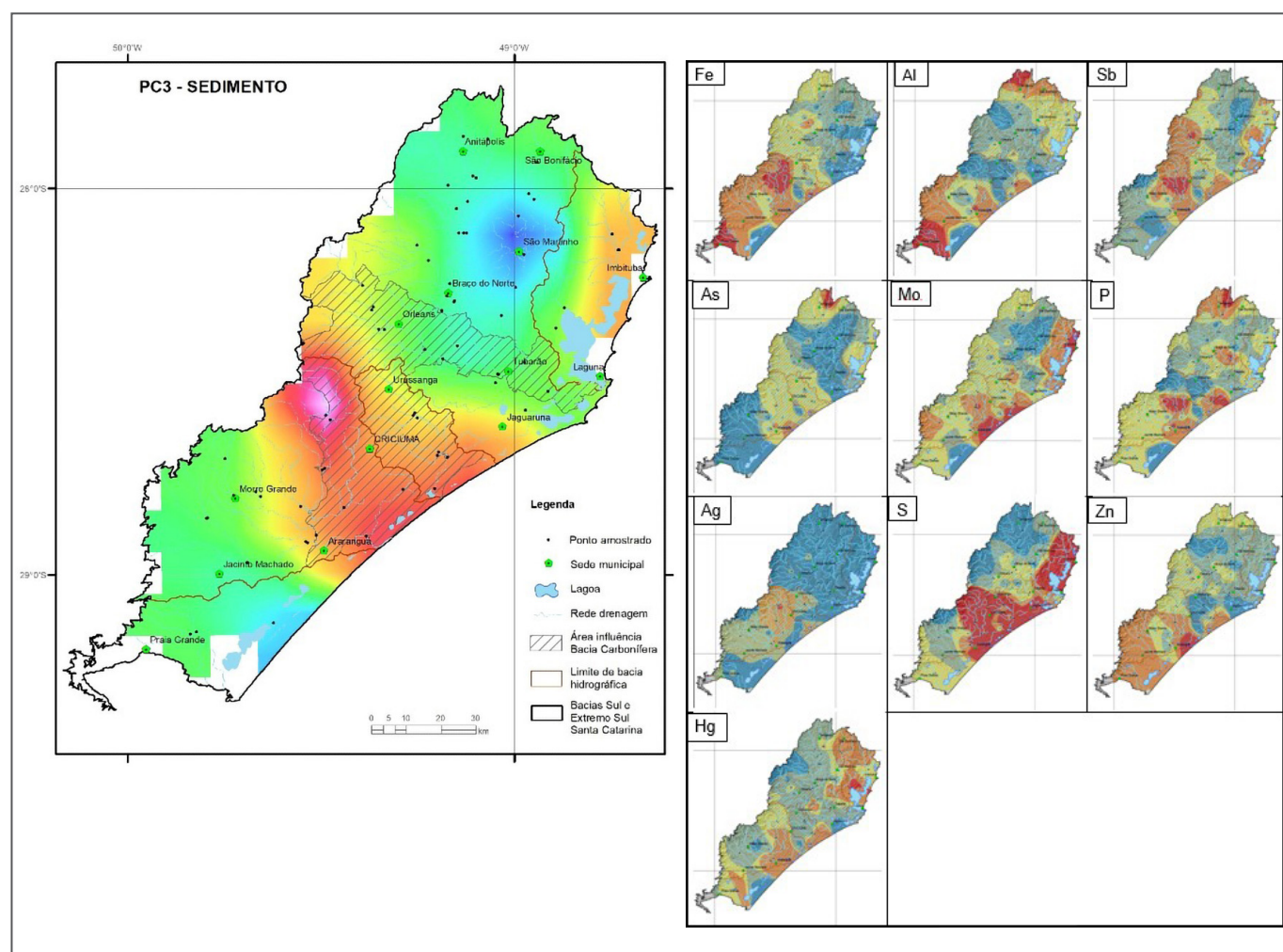
Na Bacia Urussanga, de menor extensão e totalmente circunscrita na área impactada, a maioria dos elementos se concentram na foz (Fe, Al, Sb, As, Mo, Ag, S, Zn, Hg).

Nas nascentes da Bacia de Tubarão observam-se altos no relevo geoquímico de Al, As e P em Anitápolis, e de Hg em São Bonifácio e São Martinho; e ainda de P, possivelmente antrópico, à jusante de Braço do Norte; além de S e Sb na foz do Rio Tubarão, ocupada pela rizicultura.

E a Bacia Duna, amplamente enriquecida em S, constitui uma planície lagunar de águas salobras, com enriquecimento moderado e possivelmente antrópico de Hg e Sb.

**DISCUSSÃO**

As diferenças marcantes no substrato geoquímico entre as regiões Extremo-Sul e Sul de Santa Catarina, de predominância de rochas plutônicas ácidas nas bacias do Sul (bacia de Tubarão), representadas pela PC1, e de rochas vulcânicas básicas no Extremo-Sul (bacias de



**FIGURA 8** - Espacialização da PC3 e dos elementos associados. Fonte: elaborada pelos autores.

Mampituba e Araranguá), representadas pela PC2, se refletem na Bacia de Urussanga, onde ambas influências no que se refere à geologia, além do impacto da mineração e da ocupação urbana, representadas pela PC3, permitem considerá-la como uma área balizadora para o comportamento geoquímico da região.

Nela, predominam as unidades da Bacia do Paraná, e o impacto da atividade extrativa se manifesta lixiviando a maioria dos metais e outros elementos químicos, resultando um relevo geoquímico depletado.

O conteúdo de Elementos Terras-Raras (ETR), por outro lado, apresenta teores de *background* levemente aumentados tanto nos granitoides do Norte quanto nas básicas do Sul, já que o conteúdo de ETR é associado à mineralogia acessória, coincidente neste caso, devido à similaridade das afinidades geoquímicas dos termos vulcânicos básicos (alcalina) e plutônicos ácidos (cálcico-alcalina e alcalina). Os minerais acessórios que concentram ETR em ambos os termos são: apatita e allanita. Outros minerais acessórios presentes em ambos os tipos, porém sem ETR, são: zircão, magnetita e a titanita.

A apatita ocorre como mineral acessório tanto em rochas básicas (disseminado), quanto nos granitoides (concentrados em pegmatitos e hidrotermalismo).

Devido à baixa resistência à abrasão, diversos minerais podem ser atacados pela DAM, entre eles: gipso, calcita, fluorita, apatita e feldspatos, para citar apenas aqueles que resistem menos do que o quartzo à abrasão ou intemperismo, seja ele físico ou químico. A pirita, principal mineral responsável pelo processo de acidificação das águas de minas, possui uma resistência intermediária e semelhante ao quartzo na Escala de Dureza Mohs (quantifica a dureza dos minerais, ou a sua resistência). Deste modo, fosfatos como a apatita e estes outros minerais menos resistentes podem ser dissolvidos no meio ácido oriundo de DAM, e permanecer amplamente distribuídos em áreas isentas da mineração. Isto explica a ampla distribuição de ETR em teores de *background* tanto no Norte quanto no Sul da área, e depletados no Centro-Leste, área afetada pela DAM.

De fato, o que se verifica tanto nas principais componentes quanto nos mapas elementares, é um baixo relevo geoquímico na área afetada pela DAM, especialmente de elementos considerados naturais, por fazerem parte da composição química do substrato geológico básico (Fe, Mn, Cu, Ti, Co, Mg, Ni, entre outros) e ácido (Ce, La, Cs, Li, Zr). Este fato não pode ser considerado benéfico pois, em contrapartida, há o enriquecimento de elementos considerados antrópicos, que normalmente ocorreriam em quantidades muito pequenas, mas em virtude da DAM se sobressaem e tendem a ser muito nocivos (Sb, As, Zn, Pb, Bi, Hg).

## COMENTÁRIOS FINAIS

Da ordenação de variáveis em componentes principais, chega-se ao resultado de duas dessas componentes (PC1 e PC2) essencialmente litófilas, representando os teores naturalmente elevados e relativos às rochas ácidas e básicas presentes nas regiões Norte e Sul da área de estudo, respectivamente.

Não é por acaso que os elementos naturalmente presentes nas fases minerais menos resistentes são lixiviados da área impactada pela DAM, e que os elementos mais nocivos, menos móveis e potencialmente tóxicos são concentrados na região, conforme evidenciado na porção Central da área, representada pela PC3. É possível perceber o impacto da DAM nos sedimentos de fundo, desde à jusante das áreas de mineração até a foz dos rios principais, tanto na Bacia de Urussanga, quanto nas porções norte da Bacia de Araranguá e sul da Bacia de Tubarão.

Como estes rios principais deságuam em lagoas da Planície Costeira (que não foram amostradas), ou próximo delas, nestes locais podem estar concentrados os diversos elementos que foram lixiviados, hipótese que precisaria ser checada em trabalhos ulteriores.

## REFERÊNCIAS

- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Mapa geológico do estado de Santa Catarina. Porto Alegre: CPRM, 2014. Escala 1:500.000. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/17996>. Acesso em: 07 dez. 2020.
- GEOSOFT. **Tutorial Geosoft Montaj Geochemistry**. Versão 7.1. [s.l.]: GEOSOFT, 2010.
- DARDENNE, M. A.; SAVI, C.N. Geologia e geoquímica dos filões de fluorita Segunda Linha Torrens e Cocal, SC. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.14, n. 2, p. 120-127, 1984.
- KAHN, H. **Caracterização mineralógica e tecnológica da jazida de fosfato do maciço alcalino de Anitápolis, SC**. 1988. 1 v. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1988.
- JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY - JICA. **The feasibility study on recuperation of mined-out áreas in the South region of Santa Catarina in the Federative Republic of Brazil**. Japan: JICA, 1998. (Technical Annex, Section I, II, III. Sector Studies. Jan/1998, Japan. Mitsubishi Materials Corporation, Chioda-Dames & Moore Co. Ltd.).
- LICHT, O. B. **Prospecção Geoquímica: princípios, técnicas e métodos**. Rio de Janeiro: CPRM. 236 p. 1998.
- MARTINS FILHO, P. J. **Aplicação de técnicas de geologia e geoquímica na região de Ibaré/RS e no filão Cocal de fluorita/SC**. 2004. 127 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS. 2004.



MILANI, E. J. *et al.* Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v.15, n.2, p.265-287 2007.

PICCIRILLO *et al.* Continental flood volcanism from Paraná Basin (Brazil). *In*: Macdougall, J.D.; ed. **Continental Flood Basalts**. Dordrecht: Kluwer, 1988. p. 195-235, 1988.

RAURET, G. Extraction procedures for the determination of heavy metals in contaminated soil and sediment **Talanta**, v.46, n.3, p.449-455, jul. 1998.

REIMANN, C.; FILZMOSER, P.; GARRET, R.G. Background and threshold: critical comparison of methods of determination. **Science of the Total Environment** 346: 1-16. 2005.

SILVA, M. A. S.; LEITE, S.R. **Criciúma: folha SH.22-X-B**: estado de Santa Catarina. Rio de Janeiro: CPRM, 2000. Escala 1:250.000. Projeto de Mapeamento Geológico, Metalogenético Sistemático; Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. **Method 3051A – Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils**. Revision 1. Washington, DC, 2007. 30p. Disponível em: <http://www.epa.gov/epawaste/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3051a.pdf>. Acesso em: 10.09.2015.



# Informe Técnico-Científico de Prevenção de Desastres e Ordenamento Territorial

Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial | Departamento de Gestão Territorial

V. 2, N. 2 Rio de Janeiro, set. 2021 ISSN 2764-2054

## New Map Representation of Soil Results in the Environmental Geochemical Atlas of the Geological Survey of Brazil

### *Novo Modelo de Representação dos Mapas de Resultados de Solo nos Atlas Geoquímicos Ambientais do Serviço Geológico do Brasil – SGB-CPRM*

Eduardo Paim Viglio ([eduardo.viglio@cprm.gov.br](mailto:eduardo.viglio@cprm.gov.br))<sup>1</sup>André Luís Invernizzi ([andre.invernizzi@cprm.gov.br](mailto:andre.invernizzi@cprm.gov.br))<sup>1</sup>Deborah Ribeiro Baptista ([deborabaptista@cprm.gov.br](mailto:deborabaptista@cprm.gov.br))<sup>1</sup>Maria Cecília de Medeiros Silveira ([maria.silveira@cprm.gov.br](mailto:maria.silveira@cprm.gov.br))<sup>2</sup><sup>1</sup> Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Escritório Rio de Janeiro<sup>2</sup> Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Superintendência de São Paulo

#### Abstract

Since the sampling of the first twenty centimeters depth in top layer of soil sampling points, aiming at environmental studies, it was necessary to find a way to represent these results in the soil maps of the Environmental Geochemical Atlas of the Geological Survey of Brazil (SGB-CPRM). It should not increase the number of maps per Atlas, and should be understandable and accessible to professionals of several disciplines, besides being compatible with more than 15,000 samples, already collected by the environmental geochemistry and medical geology project (PGAGEM) of the SGB-CPRM since its beginning in 2003. After studying how British and Chinese researchers developed ways of representation for similar surveys in their own countries, it was chosen to make a single map, representing the two samples, the superficial (Top) being represented by colored and varied points and the subsurface (Sub) represented by a raster surface generated by IDW compatible with the previously performed samples. A map of the Federal District of Brazil is shown as an example of the defined model.

Keywords: Regional geochemistry, Soil Maps, Environmental Geochemistry.

Palavras chave: Geoquímica regional, Mapas de Solos, Geoquímica Ambiental.

#### INTRODUCTION

All the soil sampling executed by the Geological Survey of Brazil (SGB-CPRM) in their geochemical surveys is traditionally carried out collecting the material from the top of the horizon B. However, the growing need for geochemical studies of an environmental nature, the fraction of the first 20 centimeters of the top layer soil has gained great importance. Following a worldwide trend, the SGB-CPRM opted for keeping the two samples at the same point, being the portion of the first 20 centimeters called Top and the deepest portion called Sub. The depth of the deepest part varies from country to country, being 35 to 50 cm in England and from 150 to 200 cm in China. In order to maintain the compatibility of results from older samples, the SGB-CPRM kept the top of the horizon B, with variable depth, as a parameter guide of the Sub sample collection.

This paper aims to demonstrate the form of presentation chosen for the maps that make up the Geochemical Atlas of the Department of Territorial Management, trying to achieve an ease assembly, clear information and simplicity of multidisciplinary interpretation of the results obtained.

#### HISTORIC OF DATA PRESENTATION MAPS

From 1992 to 2003, the geochemical urban soil mapping work was carried out in the United Kingdom by the British Geological Survey (FORDYCE *et al.*, 2005), which relates the surface samples (Top) to the deepest samples (Sub). There, the depths of 5 to 20 cm (Top) and 35 to 50 cm (Sub) were used, with 21 cities covered in the Geochemical Surveys of Urban Environments project (GSUE).

The samples were collected in a 0.5 x 0.5 km grid, in places with natural vegetation as close as possible to the center of the cell, in five aliquots located on the edges

and in the center of a square of 20 m, joined together, homogenized, and a single aliquot was generated for each depth (Figure 1).

Most of the analyses were performed by X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRFS), starting with 18 elements and passing at the end to 46 elements (Ag, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, As, Ba, Bi, Br, CaO, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ga, Ge, Hf, I, K<sub>2</sub>O, La, MgO, MnO, Mo, Na<sub>2</sub>O, Nb, Ni, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Pb, Rb, Sb, Sc, Se, SiO<sub>2</sub>, Sn, Sr, Ta, Te, Th, TiO<sub>2</sub>, Tl, U, V, W, Y, Zn, Zr).

The maps are displayed separately as raster surfaces generated by IDW (Inverse Distance Weighting) for Sub samples and as points with different symbol sizes, according to the element concentration for the Top samples (Figure 2).

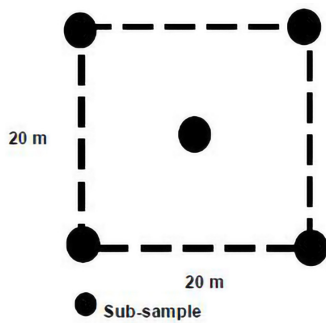


FIGURE 1 - Diagram of the composite soil sampling of the British Geological Survey for urban soils. (FORDYCE *et al.*, 2005).

Cheng *et al* (2014) performed the same type of work in 31 major Chinese cities, starting in the 1990s. The samples were collected in parks, cultivated land and roads, with heterogeneous distribution in a grid of 1 km<sup>2</sup> for surface samples, Top, from 0 to 5, 10 or 20 cm depth. The deep samples, Sub, were collected between depths of 150 to 200 cm, in an approximate grid of 4 km<sup>2</sup>. Fifty-two elements were analyzed (Ag, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Br, Cd, Ce, Cl, Co, Cr, Cu, F, Ga, Ge, Hg, I, La, Li, Mn, Mo, N, Nb, Ni, P, Pb, Rb, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Zn, Zr, Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K and Total C).

They represent both results in a single map, being point values for the deep samples (Sub) and raster surface for the surface samples (Top) (Figure 3).

The SGB-CPRM, since its foundation 50 years ago, has traditionally carried out a simple soil sampling at the top of horizon B, where metals and clay-minerals from illuviation are naturally accumulated under the action of percolating water (ROSE; HAWKES; WEBB, 1979).

Although soil sampling is more common in the detail stage in a prospecting project, all the planning of the Low Density Geochemical.

Survey, started in 2003, uses as a model the survey of the state of Paraná, carried out by MINEROPAR and planned by Licht in 2002 (LICHT, 2005), with the collection of a sample always on horizon B, located in the center of each map of the continuous cartographic base in 1: 50,000

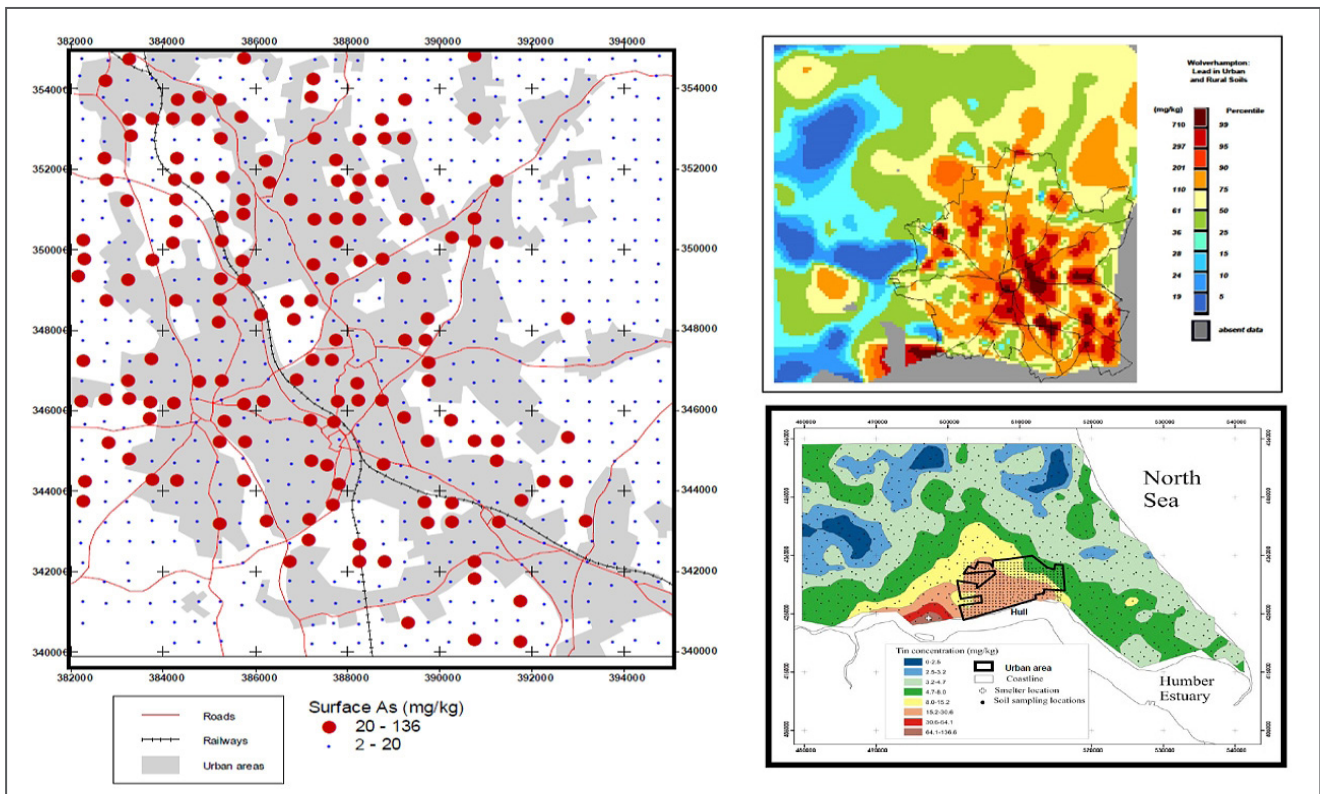


FIGURE 2 - Maps of Arsenic in surface soils in Stoke-on-Trent, Lead in deeper soils in Wolverhampton region and Tin in surface soil in Hull region. (FORDYCE *et al.*, 2005).



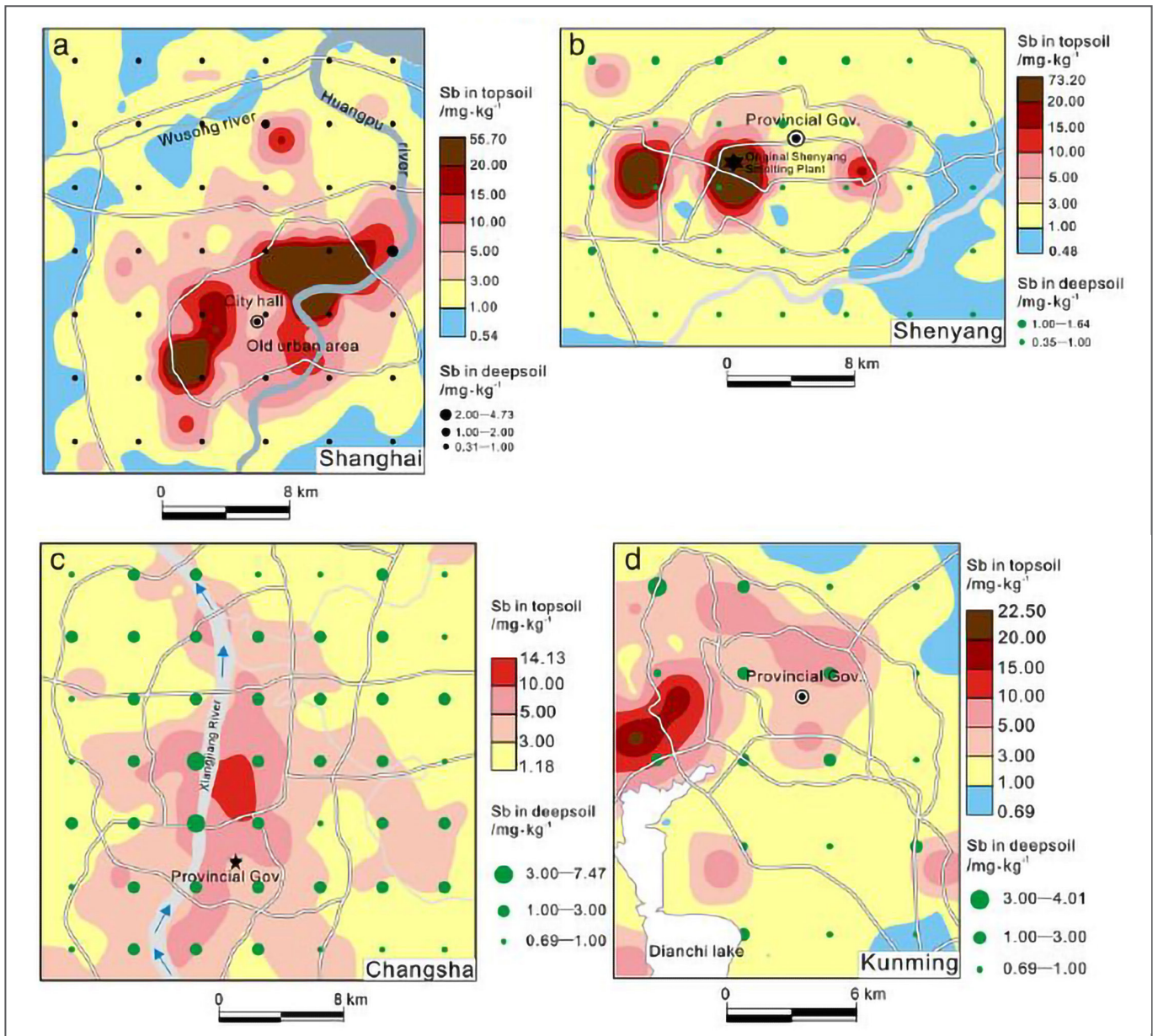


FIGURE 3 - Geochemical Maps for Antimony in four different Chinese cities. (Cheng *et al*, 2014)

scale grid (Figure 4) of the Brazilian Institute of Geography and Statistics – IBGE. The 1:100,000 scale map grid was also used (Figure 5). Later these aliquots can be joined to generate a sample per cell of 80x80km in the molds of the ICGP-259 and 360 projects (DARNLEY, 1995), in order to follow the precepts of the World Geochemical Map (Global Geochemical Reference Network).

In the Environmental Geochemistry and Medical Geology field, the Geological Survey of Brazil – CPRM has highlighted the Geochemical Survey Actions, with the Low-Density Geochemical Mapping Project in Brazil, which is in development since 2003, and aiming to evaluate, throughout the national territory, the composition of the rocky substrate, soils (25 x 25 km grid), active stream sediments (basin areas of 150 km<sup>2</sup>), surface waters (basin

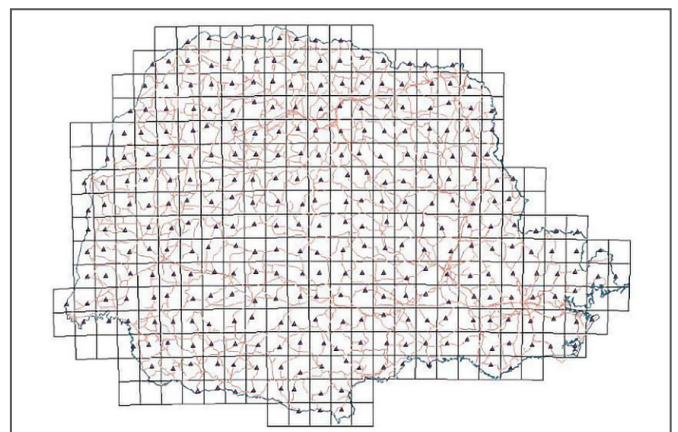


FIGURE 4 - Sampling soil Planning in the State of Paraná. One sample in the center o each 1:50,000 Map. (LICHT, 2005)



areas of 150 km<sup>2</sup>) and public supply waters in all the cities of the study region. About 40% of the national territory was already covered (Figure 6).

The project's main products are Geochemical Atlas with the distribution patterns of 27 cations (Al, As, B, Be, Ba, Ca, Co, Cd, Cu, Cr, Li, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Se, Si, Sb, Sn, Sr, Ti, V and Zn) and 7 anions (bromide, chloride, fluoride, nitrate, nitrite, phosphate and sulfate) in surface water and public supply water samples and 53 chemical elements in stream sediments and soil samples.

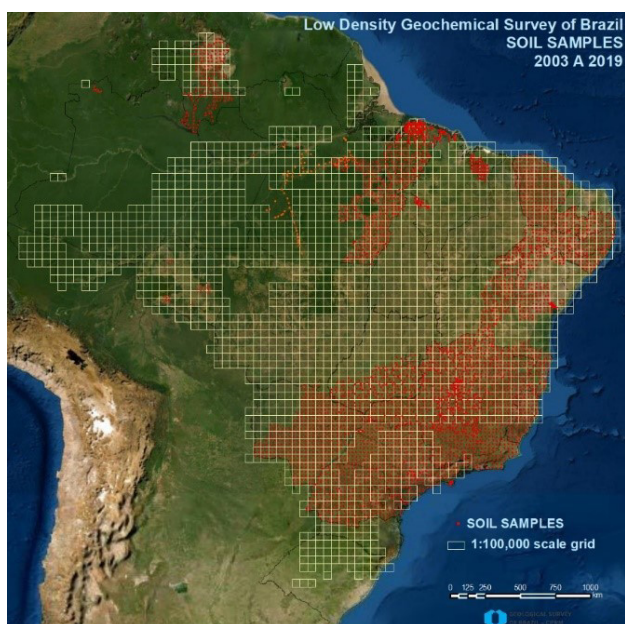


FIGURE 5 - Example of 1:100,000 scale grid in Brazil.



FIGURE 6 - Soil sampling already executed by SGB-CPRM in Brazil from 2003 to 2019.

From 2015, all the new surveys began to promote the collection of the Top sample, corresponding to the first 20 centimeters of the point to be sampled, whatever the type of horizon that is coming out, with the sample from the top of horizon B. The English and Chinese researchers mentioned above set a fixed depth for the sub collection. This procedure assists the logistic performance of a project, as all samples will be collected at a single depth. However, to keep consistency with the almost 15,000 samples already collected by 2015, it was agreed to continue collecting the deepest sample (Sub) looking for the top of horizon B.

In addition to the studies of States and large hydrographic basins, from 2018 on, the surveys were initiated to support geodiversity projects in micro regions, with adequacy of the work scale. The investigated drainage basins began to have an average of 50 km<sup>2</sup> of influence area and the soil grid varied between 10 x 10 to 12.5 x 12.5 km, with collections of the Top and Sub samples.

The Geodiversity Project of Brazil is a very well successful initiative of the SGB-CPRM and have been carried out for 15 years, since 2006. Maps in scales of 1:5,000,000 and 1:2,500,000 covering integrally all the country and in 1:250,000 as well all the States and the Federal District are available in the internet page ([www.cprm.gov.br](http://www.cprm.gov.br)) with their respective technical notes. The project defines geo-environmental formations relating regions to similar geology, geomorphology, biology, vegetation and land occupation, that might have similar problems, vulnerabilities, and need correct actions to promote the sustainable development in the region.

The geochemical survey executed as support in the Federal District Geodiversity Project, which covered the Federal Capital, Brasília, and several other cities from the metropolitan region, was the first work carried out with the new system and was used to delineated the base model from future surveys. The chromium soil map, published on the page 165 of the Technical Note of the Geodiversity of the Federal District (FERNANDEZ *et al.*, 2020), is presented as example.

## MATERIALS AND METHODS

The soil sampling grid is variable approximately among 25 x 25 km for low density studies to 10 x 10 km for semi-detail survey to support geodiversity studies (Figure 7).

As the field team is very small (only 2 people) and the budget is short, the sampling locations are planning nearby to existent accesses. The sampling location chosen is preferentially covered by a natural vegetation and might have a visible soil profile (road cuts, trenches, natural slopes, etc.) where the top of horizon B can be seen (Figure 8). If it is not possible to find out a soil profile, a hole with a stainless steel auger drill with 0 to 20 cm depth should be done. After the collection of the Top sample, the drill



hole continues until the material changes and indicates the possible presence of horizon B. When it is not visible, or is already outcropping, the collection is processed between 20 and 40 cm depth. (Figure 9).

The soil characteristics, the sample identification number and the coordinates of the sampling location are registered by an application designed by SGB-CPRM in a tablet, separately for the top and sub samples. These field data form the base of the project database without too much data manipulation after the collection.

In Laboratory the samples with approximately 2 kg were dried at 50°C, sieved at 80# and pulverized at 200#, digested with aqua regia and analyzed for 53 elements (Ag, Al, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Ge, Hf, Hg, In, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Rb, Re, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Tb, Te, Th, Ti, U, V, W, Y, Yb, Zn and Zr) by ICP-OES (inductively coupled plasma atomic emission spectrometry) and ICP-MS (inductively coupled plasma mass spectrometry).

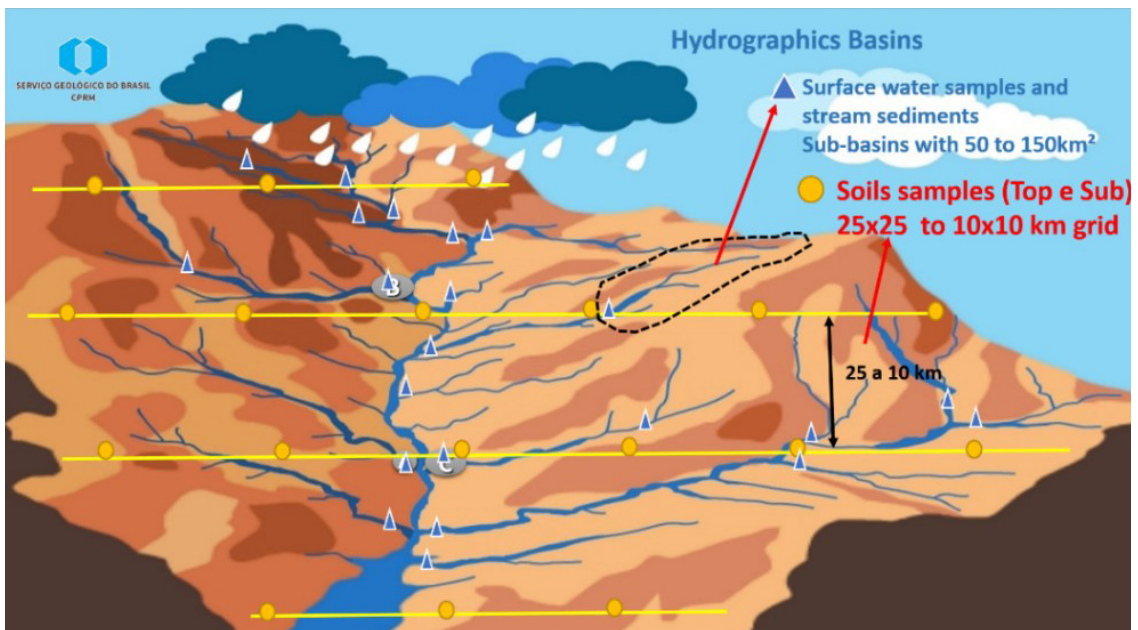


FIGURE 7 - Schematic figure with the sampling locations represented for low density and detail surveys.

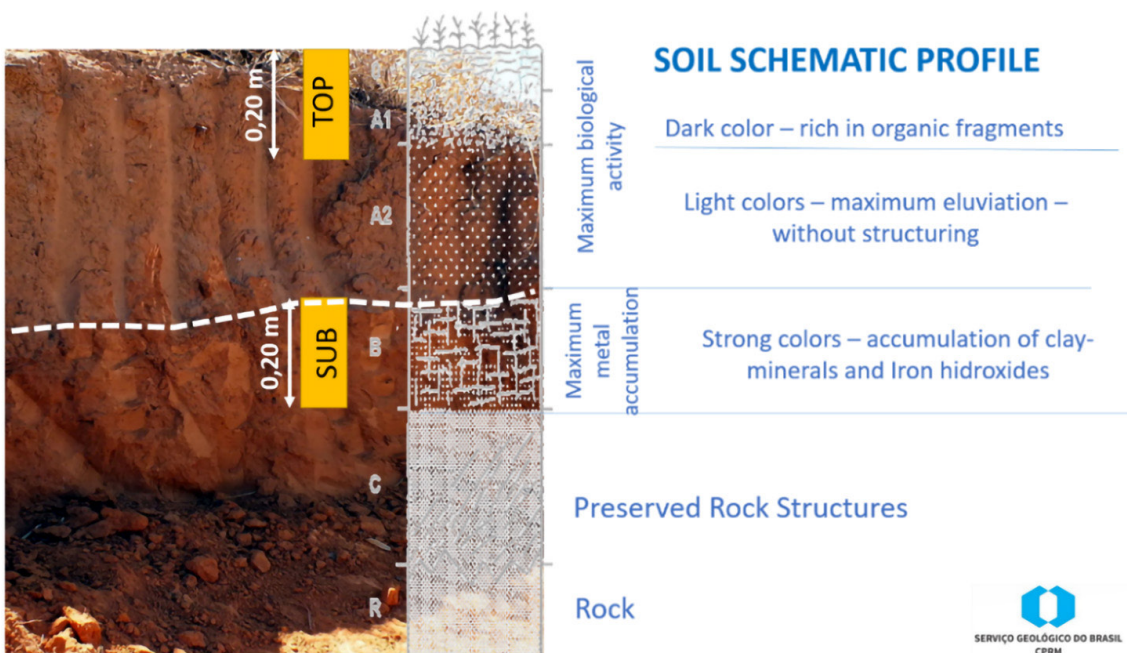


FIGURE 8 - Schematic soil profile with sampling locations.



FIGURE 9 - Auger drilling sampling. Picture by Aline Nogueira.

Every 20 samples, a field duplicate sample is collected at the two levels sampled. In all samples from horizon B are collected a third portion that is given to the Institute of Radiation and Dosimetry (IRD), our partner of the National Nuclear Energy Commission – CNEM. This aliquot is analyzed for radionuclides to create another specific Atlas from each State, with a definition of the State radionuclides background as the ones already done in Espírito Santo State (DUTRA GARCEZ *et al*, 2019), in Pernambuco State (LUIZ DO CARMO LEAL *et al*, 2020) and Alagoas State (FILGUEIRAS *et al*, 2020).

Statistical parameters taken from the boxplots (Figure 10), such as median, quartiles (25% and 75%), UW (Upper whisker) and IQR (Interquartile Range), were used on the maps to graduate the range intervals of the distribution of high and low concentrations for the 53 elements, using the ArcGis 10.8 software. The Sub results are represented by a digital surface (raster) and the Top results are represented by graduated circles (Figure 11), both are using the same color palette.

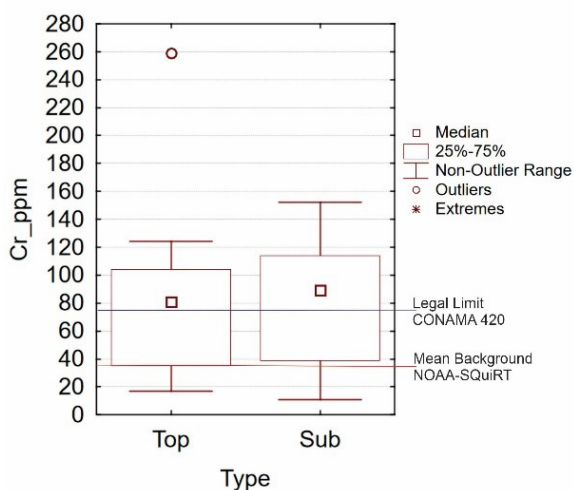


FIGURE 10 - Boxplot with the representation of the results of the Top and Sub samples (modified from FERNANDEZ, 2020).

The digital surfaces (raster), that represent the content distribution, were generated in the same software, through interpolation by inverse distance weighting (IDW), using interval ranges of <25%, 25%-50%, 50%-75%, 75%-UW and >UW of the data distribution. It is used the weight 2, a maximum search interval of 15 km limited to a maximum of 8 closest results.

As there are two populations of results related to the same sampling point, one to the Top and another to the Sub samples, tests were performed to define a coherent representation design, easy to visualize and that demonstrated the geogenic or anthropogenic character of the anomalies.

Statistical calculations were performed for the universe of Top and Sub samples populations separately and a single spreadsheet was created (Figure 12), with the addition of a column defining the sample type, with all the results, in order to allow the calculation of histograms (Figure 13) and boxplots grouped by sample type.

The geochemical results form a database that is available to every interested researcher in the format of an Atlas, spreadsheet and shape files. There are twelve Geochemical Atlas finished, five of them are from States (Ceará, Roraima, Pernambuco, Alagoas and Espírito Santo) and seven are from some specific areas very vulnerable or already impacted as Fernando de Noronha Island, the basins of Velhas river, Subaé river, Doce river, São Francisco river

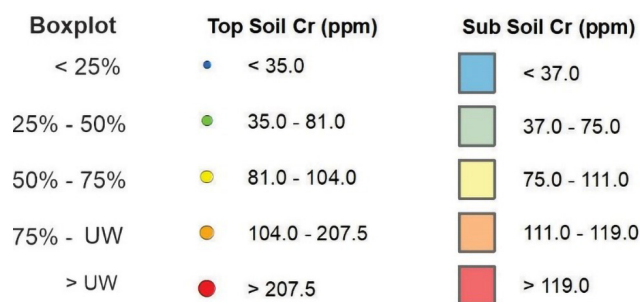


FIGURE 11 - Legend of the Sub and Top Samples with the predefined ranges (modified from FERNANDEZ, 2020).



Element	Cr_Top (ppm)	Cr_Sub (ppm)
Detection Limit	1.00	1.00
Observations Number	41	41
Results above Detection Limit	41	41
Average	77.85	79.37
Minimum Value	17.00	11.00
Maximum Value	259.00	152.00
Median	81.00	89.00
Standart Deviation	44.38	41.16
Legal v. CONAMA 420	75.00	
Legal v. VRQ FEAM-MG	75.00	
Mean NOAA-SQuiRT	37.00	

FIGURE 12 - Table with Sub and Top results (modified from FERNANDEZ, 2020).

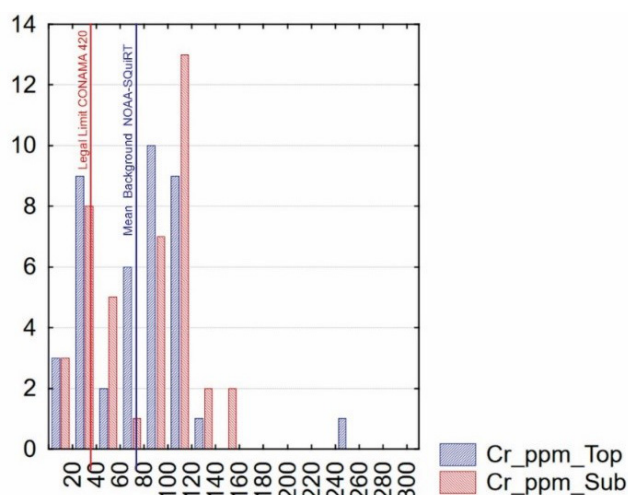


FIGURE 13 - Histogram of the Sub and Top results (modified from FERNANDEZ, 2020).

and Paranaíba river. This systematic mapping showed its great importance allowing to define the real environmental impact of the iron mine tailing dams rupture in the municipalities of Mariana (2015) and Brumadinho (2019) through the results obtained in the executed surveys before and after the dam rupture (VIGLIO; CUNHA, 2016, 2018). The Geochemical Atlas already published can be found on the internet page of the SGB-CPRM: <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geologia%2C-Meio-Ambiente-e-Saude/Produtos---Geoquimica-Ambiental-4764.html>

## RESULTS DISCUSSION

The Federal District survey’s database, was used as a model. In addition to the maps contained in the Technical Note of the Geodiversity of the Federal District Project, results are also going to be used in the assembly of the Federal District Atlas.

Usually, SGB-CPRM Atlas is made up of 164 maps, thus, adding 53 more maps concerning the new Top soil sample would not be suitable. The option was to place both results into a single map, such as in China, but with the representation of points for the Top samples and a representation by raster, simulating old isogrades maps, for the Sub samples, such as in England. The following points were defined to enable the assembly:

- Maintain standard statistical intervals of the project (25%, median, 75%, UW) adding legal value of the element represented for both samples when possible.
- Use the same color palette for raster intervals and proportional points.
- Represent both populations separately in Boxplot and Histogram graphics and in the table with the main statistical parameters.
- Represent as hatches with transparent backgrounds the impacted area, legal reserves and the built region.
- Insert the shaded relief and a very discreet representation of the drainage network to the background.
- Use the surface formations mapping for interpretation, when there is one, instead of the geology map, considering that the surface formations are directly related to the obtained results.

It will also be used, for results interpretation, the premise that in a normal soil profile without features generated by mineral deposits or anthropomorphic reasons, the values of Sub samples should always be higher than the values of Top samples.

When the opposite occurs, or the surface value comes from some polluting source, or from some physical deposition related to sliding of slopes, colluvial deposits or other physical or chemical weathering processes that have enriched the element in the surface layer.

The final map of chromium shows three anomalous regions in red for the Sub samples with lower values for the Top samples (Figure 14, a, b and c), indicating possible geogenic source. However, in a region corresponding to the median-75% interval (yellow) there is an anomalous Top point, indicating a possible anthropogenic origin (Figure 14, d).

In this Cr map, only the blue area and points have a distribution pattern without any problem. The concentration in the green areas and points are above of the mean background concentration of the NOAA Screening Quick Reference Table (BUCHMAN, 2008) for inorganics in soil, and in the yellow, orange and red areas and points, the concentration are out of the maximum permitted values by the Brazilian legislation CONAMA (Environment National Council) 420 (Brasil, 2009) for both, sub and top soil samples.

The soil map presented, plus the maps of the other 52 elements, the maps of stream sediment and surface water, will be part of the Geochemical Atlas of the Federal District, currently in the process of construction.

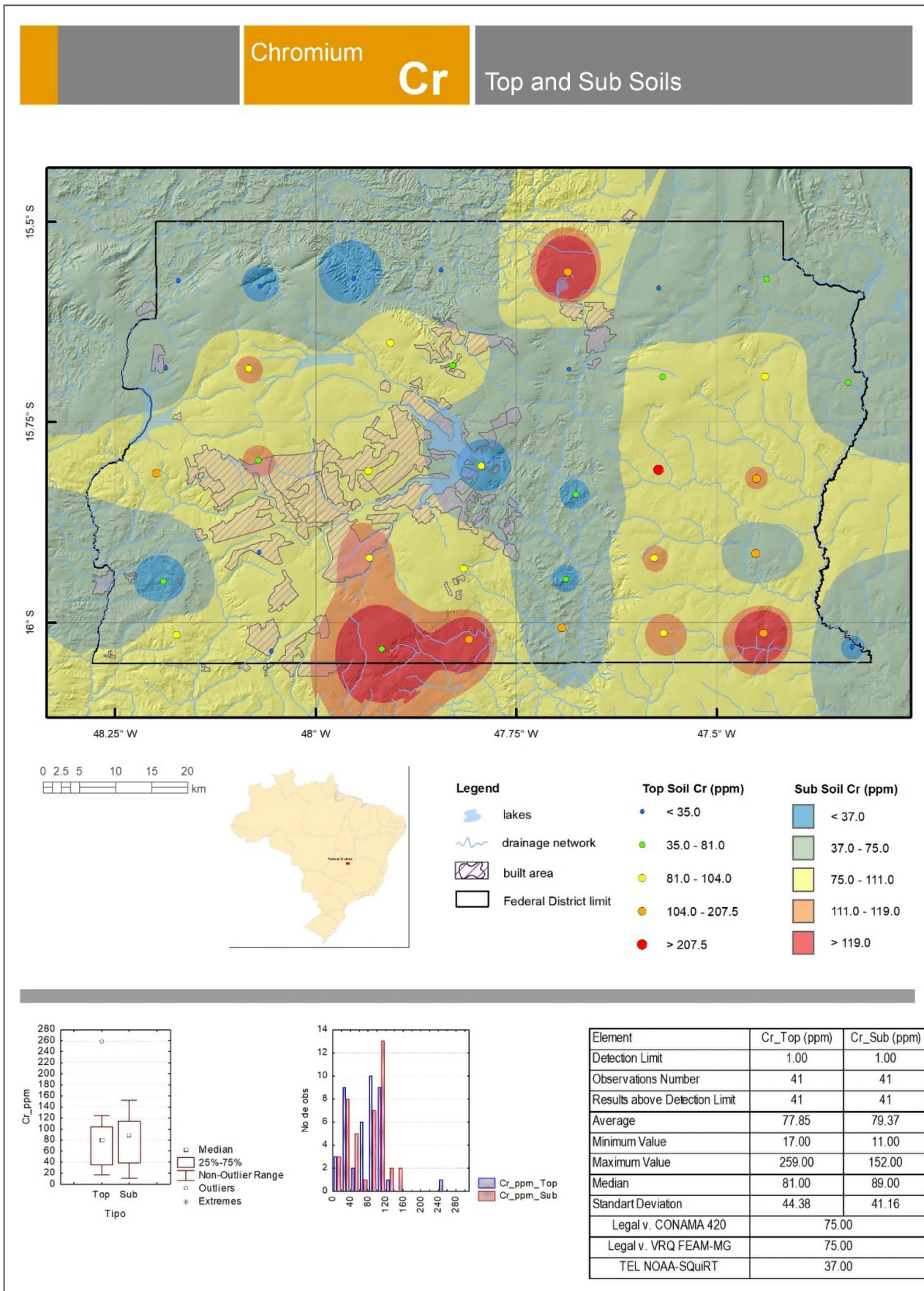


FIGURE 14 - Geochemical Map of Chromium of Federal District of Brazil, with results of Top and Sub soil sample. Source: Modified from Fernandez, 2020.



## REFERENCES

- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução no 420**, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Brasília: MMA, 2009. 16 p.
- BUCHMAN, M. F. **NOAA Screening Quick Reference Tables**, NOAA OR&R Report 08-1, Seattle, WA, Office of Response and Restoration Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, 34 pages. 2008.
- CHENG, Hangxin; Li, M.; hao, C.; Li, K.; Peng, M.; Qin, A.; Cheng, X. **Overview of trace metals in the urban soil of 31 metropolises in China**. Journal of Geochemical Exploration, China, n. 139, p. 31–52, 2014.
- DANRLEY, A. G. **A Global Geochemical Database for Environmental and Resource Management: Recommendations for International Geochemical Mapping**. Paris: UNESCO. Final Report of IGCP Project 259, 1995.
- DUTRA GARCEZ, R. W.; LOPES, J. M.; PEREZ, SUELI; LAURIA, D. DA COSTA; VIGLIO, E. P.; DA CUNHA, F. G.; RIBEIRO, F. C. A.; DA SILVA, A. X. **Activity concentration and mapping of radionuclides in Espírito Santo State soils, Brazil**. RADIATION PHYSICS AND CHEMISTRY, v. 167, p. 108209, 2019.
- LUIZ DO CARMO LEAL, A.; LAURIA, D. DA COSTA.; RIBEIRO, F. C. A.; VIGLIO, E. P.; FRANZEN, M.; LIMA, E. de A. M. **Spatial distributions of natural radionuclides in soils of the state of Pernambuco, Brazil: Influence of bedrocks, soils types and climates**. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY, v. 211, p. 106046, 2020.
- FERNANDEZ, R. L. G.; FERNANDES, V. A. C.; ROCHA, M. G. **Geodiversidade do Distrito Federal**. Org. Goiânia: CPRM, 2020
- FILGUEIRAS, R. A.; SILVA, A. X.; RIBEIRO, F. C. A.; LAURIA, D. DA COSTA; VIGLIO, E. P. **Baseline, mapping and dose estimation of natural radioactivity in soils of the Brazilian state of Alagoas**. RADIATION PHYSICS AND CHEMISTRY, v. 167, p. 1, 2020.
- FORDYCE, F. M. *et al.* **GSUE: Urban geochemical mapping in Great Britain**. Geochemistry Exploration Environment Analysis, United Kingdom, n. 5, v.4, p. 325-336, 2005.
- LICHT, O. A. B. **Minerais do Paraná S.A Geoquímica de Solo – Horizonte B: Relatório final de projeto**. Curitiba: Mineropar, 2005. 2 v.
- ROSE, A. W., HAWKES, H. E. & WEBB, J. S. **Geochemistry in Mineral Exploration**. Second edition. xvii + 657 pp., numerous figs. London, New York, Sydney, San Francisco: Academic Press. ISBN 0 12 596250 9 (cloth) 0 12 596252 5 (paper). - Volume 117 Issue 6 - D. J. V. 1979.
- VIGLIO, E. P.; CUNHA, F. G. DA. **Atlas geoquímico da bacia do rio Doce: Minas Gerais e Espírito Santo**. Rio de Janeiro: CPRM, 2016.
- VIGLIO, E. P., CUNHA, F. G. **O atlas geoquímico da bacia do São Francisco: Minas Gerais**. Belo Horizonte, CPRM, 238 p.:30cm. 2018.

# Informe Técnico-Científico de Prevenção de Desastres e Ordenamento Territorial

Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial | Departamento de Gestão Territorial

V. 2, N. 2 Rio de Janeiro, set. 2021 ISSN 2764-2054

## Caracterização Fisiográfica da Bacia do Ribeirão Xambioazinho, Xambioá – TO

### *Physiographic Characterization of the Ribeirão Xambioazinho Watershed, Tocantins State, Brazil*

Andressa Azambuja ([andressa.azambuja@cprm.gov.br](mailto:andressa.azambuja@cprm.gov.br))<sup>1</sup>Almir Conceição ([raimundo.conceicao@cprm.gov.br](mailto:raimundo.conceicao@cprm.gov.br))<sup>1</sup>Vitória Ribeiro Pereira ([vitoria.pereira@cprm.gov.br](mailto:vitoria.pereira@cprm.gov.br))<sup>2</sup><sup>1</sup> Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Superintendência de Belém<sup>2</sup> Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Superintendência de São Paulo

#### Abstract

*The physiographic characterization of a watershed is extremely useful as a complement to the study of susceptibility to gravitational mass movements and floods, through obtaining quantitative morphometric indexes that help in hydrological and environmental studies related to territorial management. Thus, this preliminary interpretation combined with field validation allows the optimization of decision-making regarding potential land use and occupation and better management regarding the possible susceptibility to floods and erosion.*

*Keywords: Physiographic Characterization, Watershed, Territorial Management.*

Palavras chave: Caracterização fisiográfica, Bacia hidrográfica, Gestão territorial.

#### INTRODUÇÃO

O objetivo deste estudo é complementar as análises do Projeto Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações através da obtenção de índices morfométricos quantitativos que auxiliarão nos estudos hidrológicos e ambientais relacionados a gestão territorial. Com isso, a interpretação preliminar aliada à validação de campo permitirá a otimização da tomada de decisão quanto aos potenciais uso e ocupação do solo e melhor gestão quanto à possível suscetibilidade à enchentes e erosões.

Os índices são calculados a partir de fórmulas e conceitos propostos por Villela e Mattos (1975) e tem como vantagem o conhecimento da dinâmica hídrica e vulnerabilidade ambiental pré-campo em tempo hábil e baixo custo, pois utilizando dados de Modelos Digitais de Elevação (MDE) e seus derivados é possível inferir o comportamento das sub-bacias de uma área, no que diz respeito ao seu potencial para inundações e para processos erosivos.

As sub-bacias são selecionadas para análise de acordo com a sua proximidade da área urbana municipal e considerando que sua área tem potencial para abrigar

futuramente vetores de expansão, os quais podem ser afetados por desastres naturais.

A caracterização é realizada a partir das características geométricas, do relevo e da rede de drenagem. Cada aspecto revela dados que são inseridos em equações matemáticas vastamente conhecidas na bibliografia e seus resultados descrevem o comportamento hidrológico da bacia.

#### ÍNDICES MORFOMÉTRICOS ANALISADOS

##### Coeficiente de compacidade (Kc)

É a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. Este coeficiente é um número adimensional que varia com a forma da bacia independente do seu tamanho, assim quanto mais irregular ela for, maior será o coeficiente de compacidade, ou seja, quanto mais próxima da unidade, mais circular será a bacia e será mais sujeita a enchentes (VILLELA; MATTOS, 1975). É dado por:

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Onde:  $P$  é o perímetro em km  
e  $A$  é a área da bacia em km<sup>2</sup>.

### Fator de Forma (Kf)

É a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia. Em bacias de forma mais alongada e estreita, há menos possibilidade de ocorrência de chuvas intensas ao mesmo tempo em toda sua extensão, afastando assim, a condição ideal para ocorrência de cheias. É dado pela equação:

$$Kf = \frac{A}{C^2}$$

Onde:  $A$  é a área da bacia em  $\text{km}^2$   
e  $C$  é o comprimento axial da bacia em km.

### Índice de Circularidade (IC)

Ele tende para a unidade à medida em que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida em que a forma se torna alongada. Segundo SCHUMM (1956 *apud* TRAJANO *et al.*, 2012), valores maiores que 0,51 mostram que a bacia tende a ser mais circular favorecendo os processos de inundação (picos de cheias). Os valores menores que 0,51 sugerem que a bacia tende a ser mais alongada, o que contribui para o processo de escoamento. A equação é dada por:

$$IC = \frac{12,57xA}{P^2}$$

Onde:  $A$  é a área da bacia em  $\text{km}^2$   
e  $P$  é perímetro da bacia em km.

### Índice de Rugosidade (Ir)

É um relevante índice que associa a disponibilidade do escoamento hídrico superficial com seu potencial erosivo, expresso pela declividade média. Quanto maior for esse índice, maior será o risco de degradação da bacia. O coeficiente de rugosidade tem uma relação importante com os parâmetros hidrológicos, tais como: infiltração, umidade do solo, regulação do tempo do escoamento superficial e concentração da água das chuvas no canal principal. É dado por:

$$Ir = HDd$$

Onde:  $H$  é a diferença entre as cotas máxima e mínima (km) e  $Dd$  é a densidade de drenagem ( $\text{km}/\text{km}^2$ ).

### Ordem dos Cursos de Água

A ordem do rio principal definirá a extensão de ramificação na bacia e quanto maior o grau de ramificação da rede de drenagem maior a tendência para o pico de cheia. Este índice será obtido segundo Strahler (1957 *apud* VILLELA; MATOS, 1975).

### Densidade de Drenagem (Dd)

Indica a eficiência da drenagem na bacia, o que significa dizer que quanto maior a densidade de drenagem mais rapidamente a água do escoamento superficial originada pela chuva chegará à saída da bacia gerando hidrogramas com picos maiores e em menos tempo. É um dos parâmetros mais importantes pois funciona como índice demonstrativo do trabalho fluvial de erosão da superfície e, dessa forma, adquire importância como instrumento de análise da paisagem, sobretudo para a identificação de possíveis focos de suscetibilidade geomorfológica Soares *et al.* (2016 *apud* SILVA *et al.*, 2018). Além disso, é utilizada também para pré-avaliação em estudos de regionalização ou transposição de dados hidrológicos entre bacias de uma região, pois permite avaliar as semelhanças de escoamento entre bacias hidrográficas de tamanhos diferentes (mas com mesma escala do mapa). É calculada através da equação:

$$Dd = \frac{Li}{A}$$

Onde:  $Li$  é a somatória da extensão dos cursos d'água (efêmeros, intermitentes e perenes), em km e  $A$  é a área da bacia, em  $\text{km}^2$ .

### Sinuosidade (Sin)

Está relacionada à velocidade do escoamento nos canais de drenagem e, em síntese, sua relação com o solo em produzir erosão. Quanto maior a sinuosidade, maior será a dificuldade de se atingir o exutório do canal, portanto, a velocidade de escoamento será menor. Valores próximos a 1 indicam canais retilíneos, valores superiores a 2 indicam canais sinuosos e os valores intermediários indicam formas transicionais. É dada pela relação:

$$Sin = \frac{C}{Ct}$$

Onde:  $C$  é o comprimento do rio e  $Ct$  é o comprimento do rio medido em linha reta.

### Tempo de Concentração (tc)

É uma característica de extrema importância para o conhecimento do comportamento hidrológico da bacia, sobretudo, da chuva crítica e da vazão máxima do escoamento superficial, também denominada vazão de pico. Ele é função das características físicas da bacia e a sua magnitude influencia o pico e a forma do hidrograma do escoamento, sendo, por conseguinte, uma grandeza imprescindível para uma avaliação hidrológica eficaz.

O tempo de concentração ( $t_c$ ) é o tempo necessário para que toda a área da bacia contribua para o escoamento



superficial na seção de saída. Ou seja, o tempo de concentração é o tempo que leva para que a água que choveu no ponto da bacia hidrográfica mais distante da foz possa chegar lá. Então, quando chove sobre uma bacia hidrográfica por um período maior que o tempo de concentração, toda a bacia contribui para o exutório, sendo alcançada a vazão máxima para essa chuva.

Para obter  $t_c$  existem na literatura várias equações empíricas. Dentre estas, foi usada aqui a de Kirpich (*California Culverts Practice*), que é dada por:

$$t_c = 57 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$$

Onde:  $L$  é o comprimento do rio, em km, e  $H$  é diferença de elevação entre o ponto mais remoto da bacia e o nível d'água na seção considerada, em m.

Ressalta-se que as fórmulas foram desenvolvidas para bacias específicas. Por isso é importante que a partir das primeiras medições o  $t_c$  seja estimado hidrológicamente, a fim de confirmar ou não o valor obtido pela análise morfométrica.

## METODOLOGIA

A análise foi realizada em ambiente SIG, por meio do ArcGis 10.7 (ESRI®). O dado de entrada principal foi o MDE/STRM (Figura 1), reamostrado para 12,5 m, proveniente da ortorretificação de imagens ALOS/PALSAR (ASF, 2015). Este modelo, foi pré-processado e corrigido para análises hidrológicas.

Também foram utilizadas imagens *Google Earth*, a partir do *Quick Map Service*.

A partir do MDE pré-processado, foram extraídos os seguintes parâmetros para a bacia:

- Área (A);
- Perímetro (P);
- Amplitude ();
- Cursos d'água;
- Curso d'água principal;
- Comprimento axial;
- Ordem de drenagem.

Foram também elaborados mapas de declividade (Figura 2) e mapa hipsométrico (Figura 3) para análise visual.

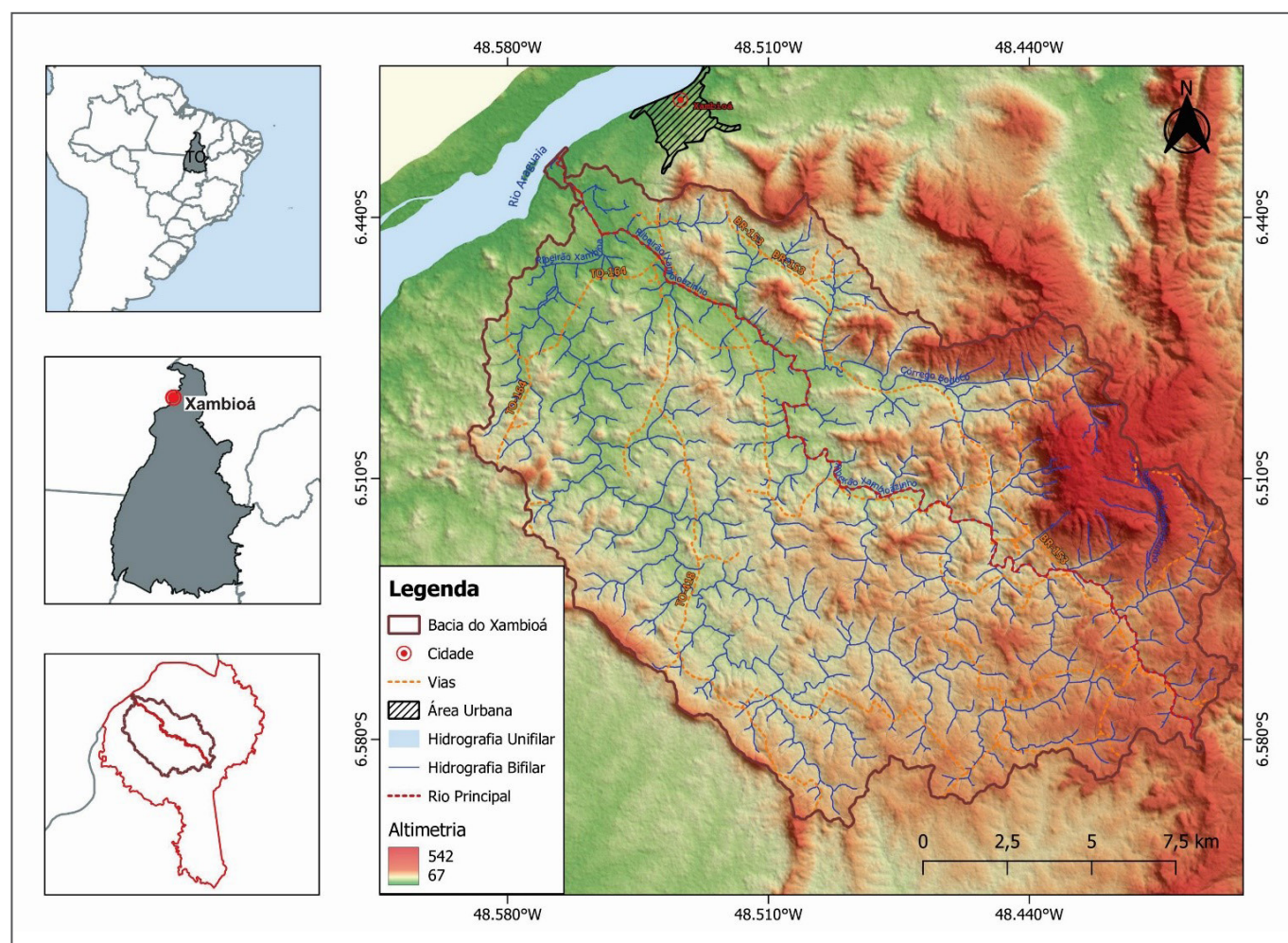


FIGURA 1 - Mapa de localização da bacia em estudo. (Elaborada pelos autores).



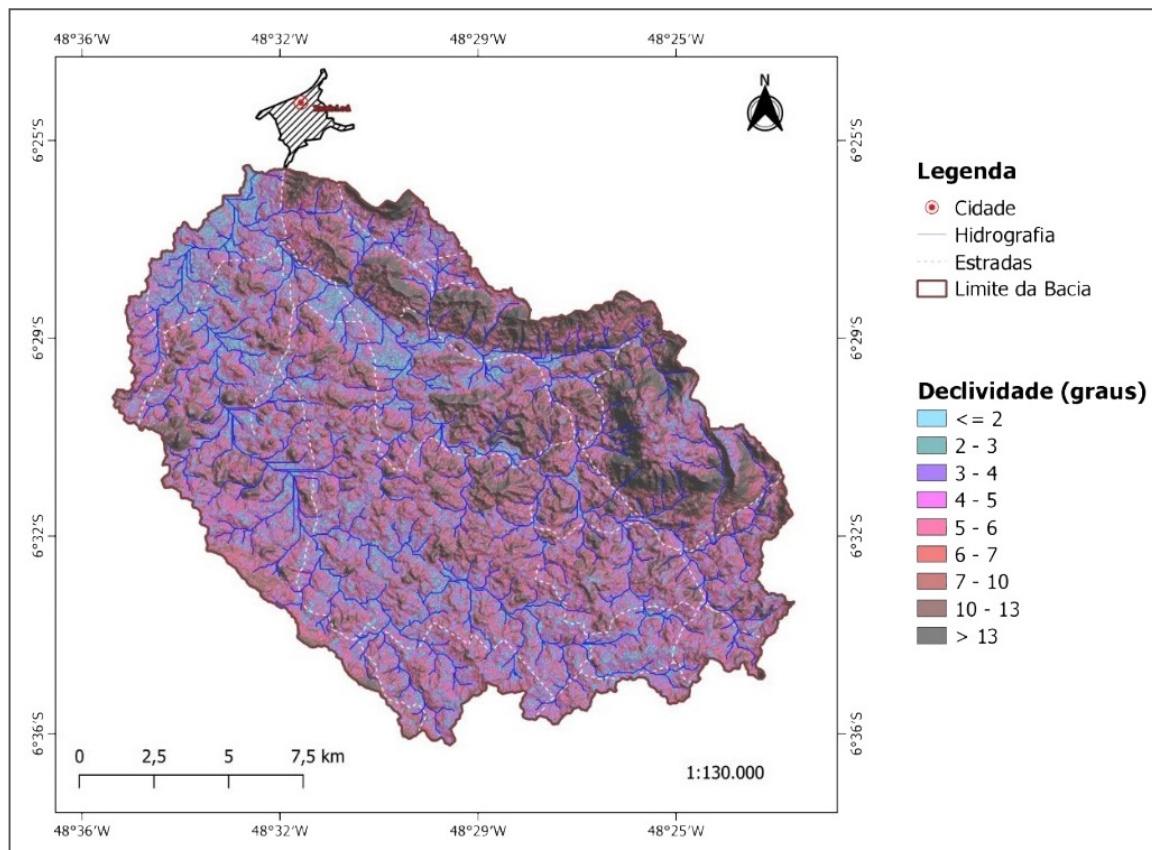


FIGURA 2 - Espacialização da declividade da bacia. (Elaborada pelos autores).

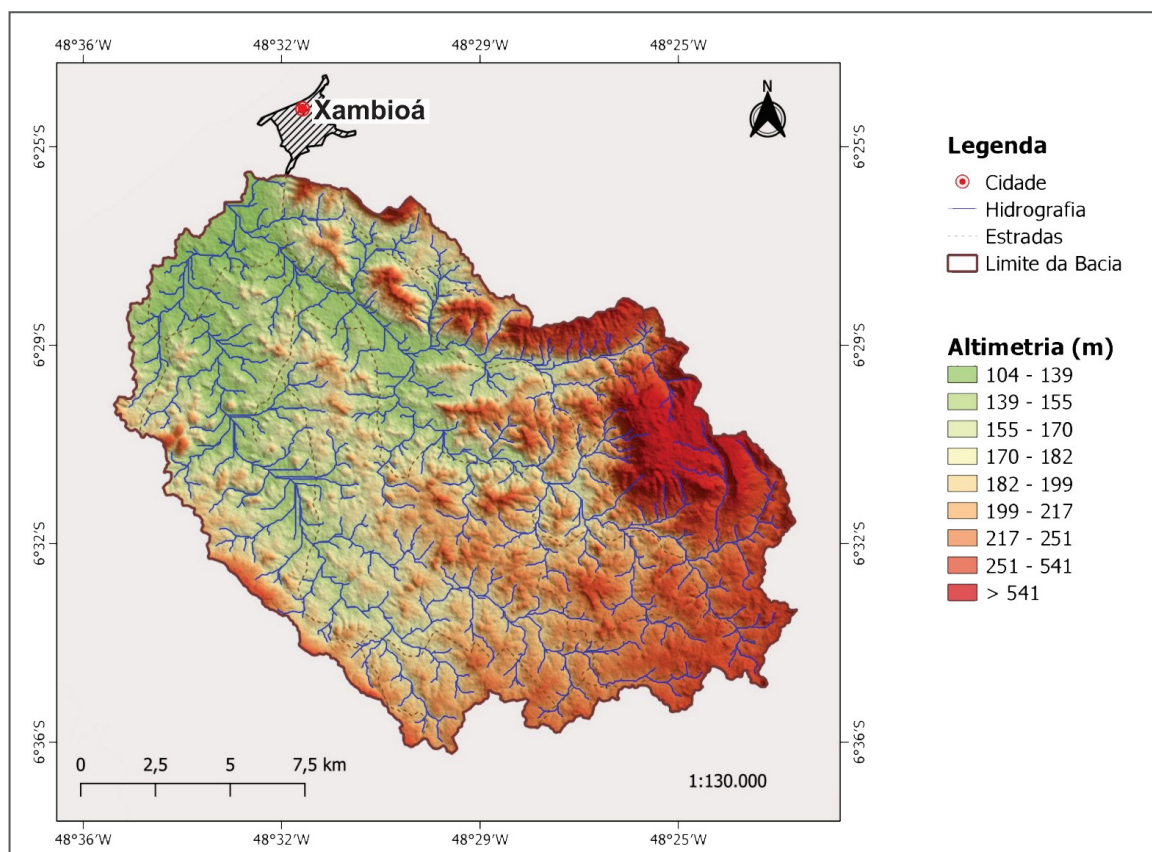


FIGURA 3 - Espacialização da altitude da bacia (mapa hipsométrico). (Elaborada pelos autores).

## RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados das análises são apresentados na tabela 1. Usando as equações de cada índice morfométrico com os parâmetros obtidos, a bacia pode ser caracterizada como apresentado na tabela 2.

A bacia do Ribeirão Xambioazinho foi selecionada pela sua proximidade com a sede municipal, tamanho e escala, tendo em vista que sua análise pode auxiliar e complementar as informações contidas na Carta de Suscetibilidade de Xambioá, TO.

Quando consideradas algumas das principais características físicas da bacia, como as relacionadas à sua forma, o coeficiente de compacidade (1,56), o fator de forma (0,42), o índice de circularidade (0,40) faz pressupor uma bacia com formato mais alongado e, portanto, não sujeita a enchentes.

Contudo, o índice de rugosidade (0,77), mostra uma tendência moderada a processos erosivos por escoamentos superficiais, o que, inclusive, demonstra que pode ser uma área desfavorável à algumas práticas agrícolas.

A densidade de drenagem se constitui como um dos mais importantes índices a ser considerado na análise quantitativa da bacia, pois, representa o grau de

dissecação do relevo e funciona como índice demonstrativo do trabalho fluvial de erosão da superfície.

No caso da bacia do Ribeirão Xambioazinho, uma densidade de drenagem mais eficiente (1,72 km/km<sup>2</sup>) mostra que o deflúvio atinge de forma mais rápida os rios e que não tem boa capacidade de infiltração. Importante lembrar que, como a densidade de drenagem depende do comportamento hidrológico dos solos e rochas e da declividade média da bacia, pode, portanto, variar espacialmente mostrando que alguns pontos são mais suscetíveis a enchentes e ou processos erosivos.

O índice de sinuosidade está relacionado à velocidade do escoamento e, em síntese, sua relação com o solo em produzir erosão. O índice encontrado (1,48) sugere que o canal teria uma forma transicional, pouco sinuoso, podendo haver pouco acúmulo de sedimentos, isso significa, dentre outras coisas, que a área é mais favorável à conservação e preservação da bacia que tem pouca ou nenhuma influência geológica. Por ser transicional, é importante ratificar também em análise de campo, em qual porção do rio (se mais à montante ou mais à jusante) ele é menos e mais sinuoso, e assim, identificar possíveis pontos mais propensos à erosão.

É de fundamental importância saber o valor do tempo de concentração de uma bacia hidrográfica já que, para chuvas que durem menos que o tempo de concentração, o volume de água que caiu na região mais distante vai chegar à foz depois que o escoamento do volume que caiu na região mais próxima à esta já tenha ocorrido. Já para chuvas com duração igual ou maior que o tempo de concentração da bacia, quando o volume que caiu na região mais distante chegar à foz, ele vai se somar ao volume que acabou de cair nas regiões mais próximas,

TABELA 1: Parâmetros da bacia.

Parâmetros	Resultado	Unidade
Área (A)	276,2	km <sup>2</sup>
Perímetro (P)	92,6	km
Amplitude (H)	447	m
Comprimento total dos cursos de água (Li)	476,1	km
Comprimento do curso de água principal (C)	37,93	km
Comprimento axial da bacia (Ct)	25,55	km

TABELA 2: Índices morfométricos da bacia.

Índice	Resultado	Unid.	Característica	Tendência
Coeficiente de Compacidade	1,56	-	Alongada	Baixa suscetibilidade à inundação
Fator de Forma	0,42	-	Alongada	Baixa suscetibilidade à inundação
Índice de Circularidade	0,40	-	Alongada	Baixa suscetibilidade à inundação
Densidade de Drenagem	1,72	Km/km <sup>2</sup>	Média	Eficiência mediana. Em alguns pontos média relação infiltração/deflúvio.
Índice de Rugosidade	0,77	-	Alto	Suscetibilidade à degradação por erosão ocasionada por escoamentos superficiais.
Ordem da bacia	5	-	Ramificação significativa	Maior a tendência para o pico de cheia
Sinuosidade	1,48	-	Transicional	Menos sinuoso, podendo haver melhor transporte de sedimentos.
Tempo de Concentração	531	min	Lento	Resposta mais lenta à precipitação. Maior possibilidade de inundações graduais, e não bruscas.

causando uma cheia maior do que a de uma chuva mais curta. O valor encontrado para a bacia foi de aproximadamente 531 minutos (8h 51min).

Em bacias não-urbanas, o tempo de concentração depende, essencialmente, do escoamento sobre o terreno. Ou seja, nem toda bacia considerada pequena tem uma resposta rápida (menor de 6 horas) à precipitação.

“Há uma grande dificuldade em estabelecer um limiar, ou seja, um tempo limite que diferencie às inundações bruscas das graduais. De acordo com o NWS/NOAA (2004 *apud* GOERL; KOBİYAMA, 2005), este tempo pode ser de 6 horas. A WMO (1994 *apud* GOERL; KOBİYAMA, 2005) também sugere que as inundações bruscas são caracterizadas por um tempo de concentração curto, de aproximadamente 6 horas.” (GOERL; KOBİYAMA, 2005). Em outras palavras, a determinação do tempo de concentração, além de auxiliar na definição da vazão máxima a que está sujeita, também contribuirá para a formulação de ações preventivas de processos de inundação e erosão.

Com isso, mesmo considerando isoladamente e em condições normais de precipitação estes parâmetros, a bacia do Ribeirão Xambioazinho não apresenta tendência a enchentes. Por outro lado, tem suscetibilidade à erosão fluvial, possivelmente na região mais à nordeste-leste da bacia. Desta forma, é importante ressaltar que a sede do município de Xambioá está localizada à norte da bacia de estudo, próxima ao exutório, e que por isso fica o alerta para a importância de investimento em controle dos processos erosivos e de compactação do solo que podem afetar o ciclo hidrológico local ao modificar as etapas de infiltração e escoamento superficial.

Por fim, este estudo é uma análise pré-campo e servirá, inclusive como direcionamento estratégico para as equipes em viagem de campo. Ressalta-se que estas visitas são necessárias para validação dos dados de vegetação, relevo e a rede de drenagem mas, sobretudo,

é de extrema relevância a caracterização do solo e da precipitação com a máxima precisão possível para maior eficácia do diagnóstico da região e, por conseguinte, das propostas de medidas não-estruturais essenciais e dos potenciais uso e ocupação do solo para os quais a região estaria mais apta.

## REFERÊNCIAS

ASF - Alaska Satellite Facility. **Radiometrically Terrain Corrected ALOS PALSAR products: product guide**. Rev. 1.2. Fairbanks, Alaska: [s.e.], 2015. 12 p. Disponível em: [https://asf.alaska.edu/wp-content/uploads/2019/03/rtc\\_product\\_guide\\_v1.2.pdf](https://asf.alaska.edu/wp-content/uploads/2019/03/rtc_product_guide_v1.2.pdf). Acesso em: 10 jan. 2022.

GOERL, R.F.; KOBİYAMA, M. Considerações sobre as inundações no Brasil. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 16., 2005, João Pessoa. **Anais [...]**. Porto Alegre: ABRH, 2005. CD-rom. 14 p. Disponível em: [www.labhidro.ufsc.br/Artigos/ABRH2005\\_inundacoes.pdf](http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/ABRH2005_inundacoes.pdf). Acesso em: 07 fev. 2022.

SILVA, G.; ALMEIDA, F. de P.; ALMEIDA, R. T. S.; ALVES JUNIOR, J. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Riacho Rangel-Piauí, Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 15, n. 28, 2018. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/390>. Acesso em: 11 jan. 2018.

TRAJANO, S. R. R. da S.; SPADOTTO, C. A.; HOLLER, W. A.; DALTIO, J.; MARTINHO, P. R. R.; FOIS, N. S.; SANTOS, B. B. de O.; TOSCHI, H. H.; LISBOA, F. S. **Análise Morfométrica de Bacia Hidrográfica – Subsídio à Gestão Territorial Estudo de caso no Alto e Médio Mamanguape**. Campinas – SP: EMBRAPA, 2012. 33 p. ISSN 2317 8779. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 2). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/84896/1/0000010346-BPD-Analise-morfometrica.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2021

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. Editora Mc Graw Hill, São Paulo, 1975. 245 p.





SECRETARIA DE  
GEOLOGIA, MINERAÇÃO  
E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA



PÁTRIA AMADA  
**BRASIL**  
GOVERNO FEDERAL