

V.20 nº42 (2024)

REVISTA DA

AN PE GE

ISSN 1679-768X

A stylized lowercase letter 'a' in a white, rounded font, positioned above the organization's name.

ANPEGE

Associação Nacional
de Pós-graduação e
Pesquisa em Geografia

REVISTA DA
**AN
PE
GE**



Oito lições sobre geossistemas

Eight lessons about geosystems

Ocho lecciones acerca de geosistemas

DOI: 10.5418/ra2024.v20i42.18854

LUCAS CAVALCANTI

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

FREDSON PEREIRA DA SILVA

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

RICLAUDIO SILVA SANTOS

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

ADALTO MOREIRA BRAZ

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

V.20 n°42 (2024)

e-issn : 1679-768X

RESUMO: O presente texto faz uma revisão do conceito de geossistema, tal como proposto por Viktor Sochava, à luz de seu contexto histórico e abordagens recentes. Sochava buscava unificar conceitos da Geografia Física soviética, propondo uma abordagem embrionária que foi desenvolvida ao longo dos anos. A teoria dos geossistemas considera as interações entre componentes naturais, a esfera cósmica e a sociedade humana, sem limitações de escala espacial. Sochava foi influente na cartografia de geossistemas e na teoria dos regimes naturais. Outras definições de geossistema foram propostas, algumas relacionadas ao conceito de ecossistema. Abordagens mais amplas, como o modelo Geossistema-Território-Paisagem (GTP) de Bertrand e os geossistemas complexos, ainda possuem dificuldade em sair do âmbito teórico. O texto serve como orientação para estudantes e pesquisadores interessados no tema, destacando questões essenciais e áreas de pesquisa em desenvolvimento.

Palavras-chave: geografia física; geocologia de paisagens; paisagem; epistemologia.

ABSTRACT: This paper presents a review about the concept of geosystem, as proposed by Viktor Sochava. The concept will be reviewed based on the historical context of its proposal and its limitations in relation to current approaches. Sochava sought to unify concepts from Soviet Physical Geography, proposing an embryonic approach that was developed over the years. Geosystems theory considers interactions between natural components, the cosmic sphere and human society, without spatial scale limitations. Sochava was influential in geosystem cartography and natural regime theory. Other definitions of geosystem have been proposed, some related to the concept of ecosystem. Broader approaches, such as Bertrand's Geosystem-Territory-Landscape (GTP) model and complex geosystems, still have difficulty leaving the theoretical scope. The text serves as guidance for students and researchers interested in the topic, highlighting essential issues and areas of research under development.

Keywords: physical geography; landscape geocology; landscape; epistemology.



RESUMEN: Este texto revisa el concepto de geosistema, tal como lo propone Viktor Sochava, a la luz de su contexto histórico y enfoques actuales. Sochava buscó unificar conceptos de la geografía física soviética, proponiendo un enfoque embrionario que se fue desarrollando a lo largo de los años. La teoría de los geosistemas considera las interacciones entre los componentes naturales, la esfera cósmica y la sociedad humana, sin limitaciones de escala espacial. Sochava fue influyente en la cartografía de geosistemas y la teoría del régimen natural. Se han propuesto otras definiciones de geosistema, algunas relacionadas con el concepto de ecosistema. Los enfoques más amplios, como el modelo Geosistema-Territorio-Paisaje (GTP) de Bertrand y los geosistemas complejos, todavía tienen dificultades para salir del ámbito teórico. El texto sirve como guía para estudiantes e investigadores interesados en el tema, destacando cuestiones esenciales y áreas de investigación en desarrollo.

Palabras clave: geografía física; geoecología del paisaje; paisaje; epistemología.

Introdução

Um dos maiores desafios da prática docente reside em apresentar os conceitos dispersos na literatura de um modo coerente para novos estudantes, e essa tarefa se torna mais árdua à medida que existem outras propostas concorrentes (paralelas ou similares). No caso específico do ensino de Geografia Física, o conceito de geossistemas é um dos mais utilizados para síntese teórica desse campo, embora nem sempre os estudantes alcancem a compreensão teórica necessária para operacionalizar a prática.

O termo geossistema, introduzido por Viktor Borisovich Sochava em 1963, representa uma unidade natural que abrange desde o nível planetário até as fácies físico-geográficas elementares. Sochava procurou unificar os diversos conceitos presentes na Geografia Física soviética, enfatizando que tanto a superfície terrestre em sua totalidade quanto áreas pequenas podem ser consideradas geossistemas. A contribuição de Sochava para a compreensão dos geossistemas foi influente, especialmente na União Soviética, onde seu trabalho foi reconhecido com prêmios e honrarias, culminando na definição detalhada apresentada em seu livro “Introdução à Teoria dos Geossistemas” publicado em 1978.

A proposta de Sochava para o estudo dos geossistemas, surgida em consonância com o advento da Teoria Geral dos Sistemas na ecologia, enfatizava o Método da Ordenação Complexa. Esse método visava compreender os regimes naturais, abrangendo processos como erosão, balanço hídrico

e de radiação, entre outros, ao longo das fácies físico-geográficas. Inicialmente, era realizado um mapeamento detalhado de transectos poligonais, seguido por coletas de dados ao longo do ano. A análise estatística multivariada dos dados buscava investigar as inter-relações entre os fenômenos registrados. A abordagem de Sochava continua relevante na modelagem de sistemas ambientais, especialmente diante dos desafios das mudanças climáticas globais.

Ao decorrer do texto serão discutidas várias interpretações do termo geossistema, desde a definição original de Sochava até abordagens mais amplas. Georges Bertrand propôs uma classificação de paisagens, utilizando o termo para unidades naturais de uma ordem específica de área, enquanto Nikolai Beruchashvili convenceu Bertrand a adotar a terminologia de Sochava, diferenciando o conceito de geocomplexo para áreas de dimensões específicas.

Além disso, Robert Christopherson (2017) ampliou o conceito para incluir qualquer sistema observado na superfície terrestre, enquanto alguns autores geológicos utilizam o termo para subsistemas do Sistema Terra. De outro modo, Antonio Christofolletti (1999) distingue entre variações espaciais e verticais das paisagens, chamando-as de geossistemas e ecossistemas, respectivamente. Todas essas definições variam em relação à proposta original de Sochava, que abrange tanto aspectos naturais quanto influências humanas nos geossistemas.

Geossistema é ainda um conceito relativamente novo, mas recorrente na literatura geográfica brasileira. Foi introduzido inicialmente em 1972, com a tradução do texto “Paisagem e Geografia Física Global” do Georges Bertrand (Bertrand, 1972). Posteriormente, no Brasil, tivemos acesso a alguns escritos de Viktor Sochava (1977-1978) e da nossa própria produção, com destaque para os trabalhos de Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro (2001), Helmut Troppmair (2000), entre outros.

Trata-se de uma tentativa de aplicar o estudo dos geossistemas à Geografia, sobretudo àquilo que se convencionou a chamar no Brasil de *Geoecologia de Paisagens*, esta última introduzida por José Manuel Mateo Rodríguez e disseminada também por Edson Vicente da Silva, sendo também uma proposição teórica derivada da Teoria dos Geossistemas de Sochava. Quando se busca ensinar essa temática nas universidades, seja em cursos de Graduação ou Pós-graduação, corriqueiramente surgem alguns questionamentos cuja resposta está dispersa na literatura, muitas vezes pouco explorada ou mesmo desconhecida no contexto brasileiro (Cavalcanti; Mateo Rodriguez, 1997).

Este trabalho resulta de uma dedicação à investigação, da experiência em revisões bibliográficas, pesquisas e práticas sobre o tema. Algumas respostas são reunidas e apresentadas de forma simples e sem desvios, para um acesso rápido e transparente àquilo que é essencial sobre os geossistemas. O conteúdo está organizado em oito lições para uma introdução ao assunto.

Origem e significado do termo

O termo geossistema foi proposto em 1963 por Viktor Borisovich Sochava, que o definiu como: “[...] unidade natural de todas as categorias possíveis, do geossistema planetário (envelope

geográfico ou ambiente geográfico em geral) ao geossistema elementar (fácies físico-geográfica).” (Sochava, 1986, p.62). Nessa publicação, intitulada “Algumas noções e termos em Geografia Física” (Sochava, 1963), o autor apresenta um esforço para unificar conceitos em voga na Geografia Física russo-soviética, com expressiva concordância às práticas de cartografia de paisagens (Sochava, 1986).

Para ele, tanto a superfície terrestre em sua totalidade, quanto uma área muito pequena, seriam considerados como geossistemas, independentemente da escala (de análise ou cartográfica). Essa ideia é claramente embrionária e passou a ser desenvolvida pelo próprio Sochava nos anos que se seguiram.

No Brasil, vários autores repetem erroneamente a ideia de que geossistemas se referem a áreas de grandes dimensões, fazendo referência à ideia de que o território da União Soviética era extenso e Sochava se referia a essas grandes áreas quando falava de geossistemas. Mas isso não é correto!

Na definição de 1963, Sochava nos diz que o geossistema elementar é a *fácies físico-geográfica*. Numa revisão sobre os conceitos essenciais da Ciência da Paisagem russo-soviética, Dyakonov (2007, p.11) destaca que uma fácies “[...] é uniforme em termos de litologia, grau de declive e orientação do relevo. Isso resulta num microclima e regime hídrico.”

Isachenko (1973, p.145), apresenta um perfil de paisagem ao longo de uma encosta do lago Ládoga, indicando nove unidades. Representamos uma delas como exemplo: *fácies de sopé coluvial francoarenoso abundantemente suprido por águas de escoamento superficial das áreas mais altas, salpicado de bétulas*. Como é possível imaginar, uma fácies corresponde a um segmento de relevo, caracterizado por sua posição, forma, composição dos materiais superficiais, drenagem e cobertura da terra.

Em função da complexidade estrutural e funcional das paisagens, para a identificação de áreas uniformes, como mencionado por Dyakonov e Isachenko, as fácies presumivelmente se referem a pequenas áreas, em geral, com dezenas a centenas de metros quadrados. Escalas sugeridas para o mapeamento de fácies são 1:10.000 ou mais detalhadas (Sochava, 1978; Zuchkova; Rakovskaia, 2004).

No outro extremo, Sochava (1963) diz que o maior geossistema é o *envelope geográfico*. Conforme Isachenko (1973, p.1): “o termo [...] denota a parte mais complexa do nosso planeta, incluindo a troposfera (os níveis mais baixos da atmosfera até uma altitude de 8 a 16km), a hidrosfera (até a profundidade máxima de 11km) e litosfera (até 4-5 km) bem como a soma de todos os organismos habitando essas três geosferas.” Para facilitar o entendimento, vamos considerar o contexto em que o termo foi apresentado. Nesse sentido, precisamos conhecer um pouco da história do seu proponente.

Viktor Sochava nasceu em 1905, em São Petersburgo (Rússia) nos últimos anos do czarismo Romanov. Aos 16 anos, ingressou no Instituto Agrícola (hoje, Universidade Estatal Agrícola de São Petersburgo). Nesses anos de Instituto, foi assistente de Vladimir Sukachev no Departamento de Ecologia e Geografia de Plantas e de Vladimir Komarov, que viria a chefiar a construção dos 30 volumes da flora da União Soviética (Vorobiev *et al.*, 2001).

Assim que concluiu sua formação no Instituto Agrícola, aos 20 anos, Sochava passou a trabalhar em vários locais diferentes, atuando como pesquisador e professor. Integrou a equipe de Sukachev para taxonomia da flora siberiana no Museu Botânico (1926-1936), que passou a chamar-se Instituto Botânico em 1931 (IB, 2024a). Existem 12 registros de plantas siberianas atribuídas a Sochava (entrada *Sochava*) no *The International Plant Names Index* (IPNI, 2024).

Ele atuou como professor de Geografia das Plantas nos Departamentos de Geografia Física da Universidade Estatal de Leningrado (1936-1943) e da Universidade Estatal Pedagógica de Leningrado (1928-1950), nesta última ele também foi chefe de departamento (Vorobiev *et al.* 2021; UPER, 2024).

Trabalhou com estudo geobotânico aplicado ao manejo de pastagens nativas para a criação de Renas no Instituto de Criação de Renas (1931-1936) e no Instituto do Ártico (1936-1943) (Vorobiev *et al.*, 2001). Em 1943, aos 38 anos, retorna ao Instituto Botânico, sendo agraciado com o título de doutor em Ciências Biológicas pelo conjunto de suas publicações. Em 1944, recebe o título de Professor de Geografia Física. Em 1950, recebe o Prêmio Komarov por seu trabalho com a geografia das plantas (Vorobiev *et al.*, 2001).

Ainda em 1950, Sochava passa a dedicar-se integralmente ao Instituto Botânico, participando da criação do Laboratório de Geografia e Cartografia da Vegetação, do qual seria o primeiro chefe (IB, 2024b). Sochava trabalhou intensamente com Cartografia da vegetação entre 1950 e 1964, tendo sido editor-chefe do periódico “Mapeamento geobotânico”, criado em 1963. Também coordenou a elaboração dos mapas da vegetação da Terra do Atlas Físico-Geográfico do Mundo (Gerasimov, 1964) e compôs a equipe que elaborou a Classificação Internacional da Vegetação da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO, 1973).

Em 1959, Sochava torna-se Diretor do recém-criado Instituto de Geografia da Sibéria (em Irkutsk, Rússia), atuando nessa função até 1976. Em 1961, estabelece a Estação Físico-Geográfica de Haranor, nas estepes de Onon-Argun (Chita, próximo à Mongólia), criando um laboratório em Chita (1963) (Snytko; Sobisevich, 2020). Ao longo de um transecto de 3km por 50 metros, passam a ser monitorados processos naturais em diferentes *fácies físico-geográficas*.

Vamos parar um pouco aqui. A esta altura, Sochava, com 58 anos, possuía larga e reconhecida experiência como professor e pesquisador no estudo da vegetação, com ênfase na sua Ecologia, Geografia, Cartografia e aplicações para o planejamento. Agora, Sochava dirigia um

instituto de pesquisa recém-criado e buscava estabelecer suas diretrizes. É nesse contexto que ele escreve “Algumas noções e termos da Geografia Física”, em 1963, e propõe o termo *geossistema*.

Em 1964, é estabelecida uma Estação Físico-Geográfica na Taiga de Pré-Angara (próximo à estação ferroviária de Chunoyar, Krasnoyarsk). Em 1970, o Instituto de Geografia da Sibéria publica a coletânea “Topologia dos geossistemas das estepes”, com a experiência de pesquisas e monitoramento ambiental na estação de Haranor, iniciada em 1961 (Snytko; Sobisevich, 2020).

Sua estratégia metodológica é fortemente alinhada às publicações do estadunidense George Van Dyne, pioneiro no estudo de ecossistemas para a gestão de recursos naturais (Van Dyne, 1969), reconhecido por Sochava por suas modelagens avançadas em territórios desérticos e íngremes do Colorado. O próprio Van Dyne chegou a visitar o Instituto de Geografia da Sibéria a convite de Sochava (Sobisevich *et al*, 2019).

Nos anos seguintes, Sochava publica mais resultados de suas pesquisas, e recebe a Ordem de Lênin (1975), maior honraria científica da União Soviética. Aos 71 anos, deixa a direção do instituto, retirando-se para Komarov, perto de Leningrado (atual São Petersburgo), onde haviam residências destinadas aos Acadêmicos da Academia Russa de Ciências (Vorobiev *et al*, 2001).

Em 1978, publica o livro “Introdução à teoria dos geossistemas”, onde resume sua visão daquilo que deveria ser o estudo de geossistemas, definido como:

[...] uma dimensão do espaço terrestre, onde os diversos componentes naturais encontram-se em conexões sistêmicas uns com os outros, apresentando uma integridade definida, interagindo com a esfera cósmica e com a sociedade humana (Sochava, 1978, p.292).

Nessa última definição, os geossistemas são entendidos como resultado das interações entre componentes naturais entre si, com a esfera cósmica (efeitos do Sol e da Lua nos processos naturais, como o aquecimento do planeta e as marés, por exemplo) e com a sociedade humana.

Não é atribuído ao conceito uma dimensão espacial específica, sendo aplicado tanto para áreas muito pequenas, como um fragmento florestal crescendo no sopé de uma encosta, quanto para áreas bem grandes, como o conjunto da superfície terrestre (geossistema planetário).

Técnicas de representação de geossistemas

Agora que compreende-se um pouco do significado do termo e o contexto em que surgiu, é importante considerar como os geossistemas foram e podem ser estudados. A proposta de Sochava apresenta pontos similares com as diversas abordagens de monitoramento ambiental que estavam surgindo na ecologia, a partir da publicação da Teoria Geral dos Sistemas (Bertalanffy, 1950), a exemplo dos trabalhos de Van Dyne (1969), Odum (1969) e Likens *et al* (1970).

O monitoramento ambiental em estações de campo estava em alta. Na “Topologia dos geossistemas de estepes” Sochava (1970) propõe o que ele chamou de Método da Ordenação Complexa. Trata-se de um conjunto de procedimentos para o estudo integrado de processos ambientais.

O Método da Ordenação Complexa focava no que Sochava chamou de regimes naturais, englobando as trocas de matéria e energia em cada fácies e nas diferentes fácies ao longo da paisagem. Os regimes naturais abrangem: os processos erosivos e deposicionais, o balanço hídrico, o balanço de radiação e temperatura, a migração e acúmulo de elementos químicos e substâncias, a sazonalidade de micro-organismos do solo, processos morfogenéticos, a produtividade de biomassa e organização das comunidades vegetais e a interação com os vertebrados (Sochava, 1970; 1978).

Para implementação do método, inicialmente definia-se um *transecto poligonal* de 1,5km a 3km de comprimento e 50m de largura. A localização incluía pequenos vales a interflúvios, a fim de avaliar a variabilidade dos processos ao longo do relevo. O *transecto poligonal* era mapeado detalhadamente em termos de topografia, solos e cobertura vegetal. Ao longo do ano, a área era visitada de seis a oito vezes para a coleta dos dados necessários para caracterizar os regimes naturais. Uma equipe multidisciplinar participava da coleta (Sochava, 1970; 1978).

Por fim, os diferentes dados eram avaliados por meio de estatística multivariada com o objetivo de investigar as relações entre os fenômenos registrados. A proposta de Sochava, relacionava-se à construção de modelos de processos ambientais que permitissem caracterizar taxas de funcionamento de processos atuais ao longo de um ano e entre anos diferentes (Sochava, 1970).

Nesse contexto, a cartografia desempenhava um papel fundamental, pois os dados obtidos acerca do regime natural de um determinado tipo de fácies, poderiam ser extrapolados para áreas similares. A cartografia era fortemente baseada na interpretação de fotografias aéreas, aplicação de fotogrametria e descrição de dados em campo, incluindo informações do relevo, solos, vegetação e uso da terra.

A partir daqui, é fundamental contextualizar a proposta de Sochava. Em 1970, não haviam imagens de satélite multitemporais de sensoriamento remoto, e os imageamentos eram bastante pontuais, por meio de aeronaves pilotadas. Também não havia constelação de satélites para navegação.

Muitas das informações relativas aos regimes naturais, podem ser calculadas hoje por meio de sensoriamento remoto, geoprocessamento e modelos computacionais. Por exemplo, o balanço de energia e a produtividade de biomassa têm sido estimados de forma eficiente por sensoriamento remoto utilizando algoritmos como o SEBAL (Allen; Tasumi; Trezza, 2002), SAFER e SUREAL (Sousa *et al.*, 2021).

Do mesmo modo, outros componentes do balanço hídrico podem ser estimados por modelos hidrológicos, como o SWAT (Arnold *et al.*, 2012) e Curve Number (USDA, 1986). Enquanto a perda

de solo pode ser também estimada por meio de equações universais (Bertoni; Lombardi Neto, 1990; Renard *et al*, 2017).

Outras informações, contudo, ainda precisam de observações de campo e laboratório, como processos geoquímicos da paisagem e atividade de micro-organismos. Além disso, alguns modelos dependem de unidades espaciais de entrada. No caso do SWAT por exemplo, é necessário o estabelecimento de “unidades de resposta hidrológica”, definidas por informações do relevo, solos e cobertura da terra. Essas são as mesmas informações utilizadas para mapear as *fácies físico-geográficas*.

A proposta de Sochava aproxima-se, portanto, da modelagem de sistemas ambientais, sobretudo no tocante a processos-chave no funcionamento de geossistemas, como o balanço de energia, balanço hídrico, produtividade de biomassa, ciclagem de nutrientes e perda de solo.

Hoje, a geoinformação pode suprir grande parte da demanda pelo conhecimento dos regimes naturais, e os produtos de sensoriamento remoto apresentam, ainda, um grande potencial a ser explorado. Sobretudo em relação a sensores para imageamento em nível de detalhe.

Uma teoria para os geossistemas

Viktor Sochava veio a falecer em 1978, aos 73 anos de idade. Poucos meses antes, havia publicado o livro “Introdução à teoria dos geossistemas”, que apresenta uma síntese da sua proposta. O livro consiste numa revisão de antigos escritos de Sochava, agregando novas leituras e aprimoramentos provenientes de suas experiências nas estações de campo do Instituto de Geografia da Sibéria.

Antes de iniciarmos a argumentação sobre a teoria dos geossistemas, aqui cabe um importante parêntese, o da confusão conceitual e teórica que ainda insiste em permear a Geografia brasileira. Aliás, são algumas confusões, mas neste momento chamaremos atenção para uma, em específico. Como já foi mencionado e será detalhado logo adiante, Sochava dedicou-se por longos anos de sua carreira no estudo dos geossistemas até, finalmente, conceber a obra que seria a sustentação de uma nova teoria ao dispor da Geografia Física, a teoria dos geossistemas.

Essa, embora apresente um paralelismo em termos de sistemas com a Teoria Geral dos Sistemas, de Bertalanffy, não são a mesma teoria. Há algumas diferenças, a mais evidente é de que Bertalanffy propôs uma teoria para a Biologia, e Sochava uma teoria para a Geografia. Ambas *não devem* ser estudadas como “sinônimos”, tampouco como uma evolução teórica (“sistemas € geossistemas”).

De outra forma, algumas influências que podem ser mencionadas para a Teoria dos Geossistemas foi a concepção de zonas da natureza de Dokuchaev (1899), tectologia de Bogdanov (1922), zonas de paisagens de Berg (1947), dentre outras (Braz, 2020).

A Teoria dos Geossistemas, dessa forma, possibilitou uma discussão que ultrapassava a ‘Geografia Física setorializada’ comum na década de 1960. Além disso, os geossistemas, especialmente na Geografia Física, não tinham por objetivo apenas integrar as diferentes esferas do meio natural, mas também, aproximar os fatos sociais dos elementos naturais. Assim, emergiu-se a possibilidade de análise de objetos geográficos, baseando-se numa noção estrutural e funcional das paisagens, em fluxos de entrada e saída dos elementos da estrutura interna e das funções externas dos geossistemas (Monteiro, 1996; Neves, 2016; Braz, 2020).

Foi, portanto, a partir desta teoria que foi permitido ao geossistema possuir uma ampla gama de dimensões espaciais na superfície terrestre, indo desde a fácies físico-geográfica até o envelope geográfico (toda a superfície planetária), dividindo-se em três ordens dimensionais: a planetária, a regional e a topológica¹⁶ (Sochava, 1978; Cavalcanti; Corrêa, 2016).

Disto isso, e dando sequência, na base da proposta de Sochava está o conceito de *epifácies* (ainda pouco conhecida da comunidade geográfica brasileira, e ainda menos explorada nas pesquisas científicas), fortemente influenciado pela ideia de sucessão de comunidades da ecologia das plantas. Para entender esse conceito, precisamos introduzir algumas noções da ecologia vegetal e, sobretudo, de sua vertente russo-soviética.

Após alguns anos, a vegetação tende a se tornar estável em relação ao contexto climático em que cresceu, com sua estrutura mudando pouco ao longo das décadas. Esse estado de pouca mudança recebe o nome de clímax.

O que muitos pesquisadores perceberam ao longo do tempo é que clímax da vegetação varia conforme as características do solo. Alguns tipos de solos perdem água muito rápido e são pobres em nutrientes, como aqueles predominantemente arenosos. Outros podem dificultar o crescimento de raízes, por serem muito rasos ou apresentarem excesso de sais. Todas essas diferenças vão promover vegetações distintas, mesmo que o clima não varie.

Pense sobre as áreas úmidas costeiras do Brasil. Nas áreas arenosas, temos a vegetação da restinga, nos estuários salinos, o mangue e na terra firme, a floresta atlântica. No clima semiárido, as caatingas crescem mais nas matas de galeria do que nos pedimentos. Nos afloramentos rochosos então, predominam bromélias e cactos.

Na Rússia de 1909, George Visotsky imaginou a seguinte situação: um topo de declive plano a suave e solos de textura média. Nessas condições, toda a entrada de água seria proveniente exclusivamente da chuva, isto é, daquilo que o clima provê. Os solos de textura média não seriam drenados nem muito lentamente (como os argilosos), nem muito rapidamente (como os arenosos) (Visotsky, 1909).

Nessa situação, a vegetação clímax seria aquela que melhor reflete o clima regional. Ele chamou essa área de *plakhor*. Sochava chamou o geossistema que surge nesse contexto de *fácies*

nativa ou *epifácies* (Sochava, 1978). Quando os fatores dos solos afetam a vegetação, teríamos *fácies quase-nativas*.

Além desses dois tipos de estados dinâmicos, existem aquelas áreas que passaram por uma grave perturbação e a vegetação está em regeneração, como uma área agrícola abandonada ou uma área que sofreu um deslizamento. Nesses contextos, a vegetação vai mudar muito em poucos anos, no processo de sucessão ecológica. Esses tipos de *fácies*, Sochava chamou de *seriais*. Por fim, as áreas sob uso da terra atual ou cuja estrutura da vegetação foi afetada pelo uso, foram chamadas de *antropogeneticamente derivadas*.

Fácies nativas, quase-nativas, seriais e antropogeneticamente derivadas, compõem os *estados dinâmicos dos geossistemas*. Para Sochava (1978), a classificação dos geossistemas deveria considerar a epifácies (*fácies nativa*) e todos os estados dinâmicos associados que surgem dentro de um mesmo contexto ambiental (Figura 1), que ele chamou de *invariante*.

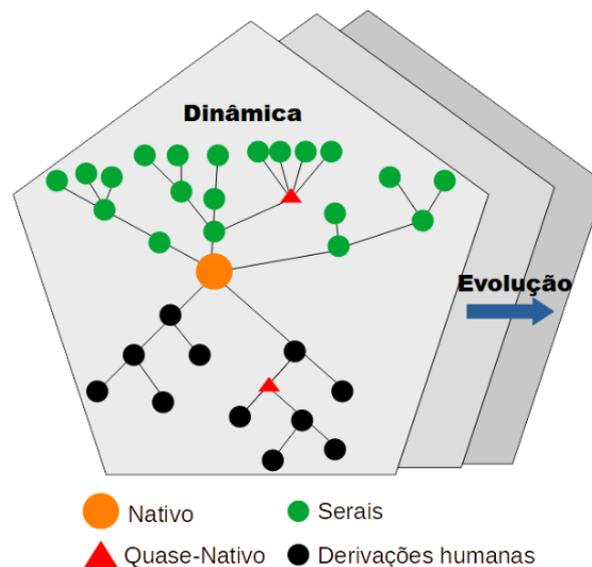


Figura 1. Modelo de Epifácies proposto por Sochava. Note que a ação humana já integrava a proposta, presente na Teoria dos Geossistemas. Fonte: Modificado de Sochava (1978).

Esse contexto se refere às características ambientais que mudam mais lentamente, como os traços gerais do relevo (morfoestruturas), o clima atual e o reservatório genético de uma dada área geográfica. Estes elementos fornecem *graus de liberdade* para o desenvolvimento dos geossistemas. Assim, todos os estados dinâmicos formam-se a partir das possibilidades oferecidas pelo contexto ambiental (climático, morfoestrutural, biogeográfico, etc.), diversificando-se pelas interações entre os componentes a partir de processos-chave, relacionados ao intemperismo, erosão, sedimentação, sucessão ecológica, pedogênese e a história do uso da terra.

Sochava chamou de *variáveis de estado* as unidades de paisagem possíveis associadas a um contexto invariante. Tomando o semiárido brasileiro como exemplo, apresentamos um perfil de paisagem que manifesta dois tipos de paisagens: *Caatingas de chão pedregoso* nas encostas e as *Caatingas ribeirinhas* nos canais fluviais (Figura 2).

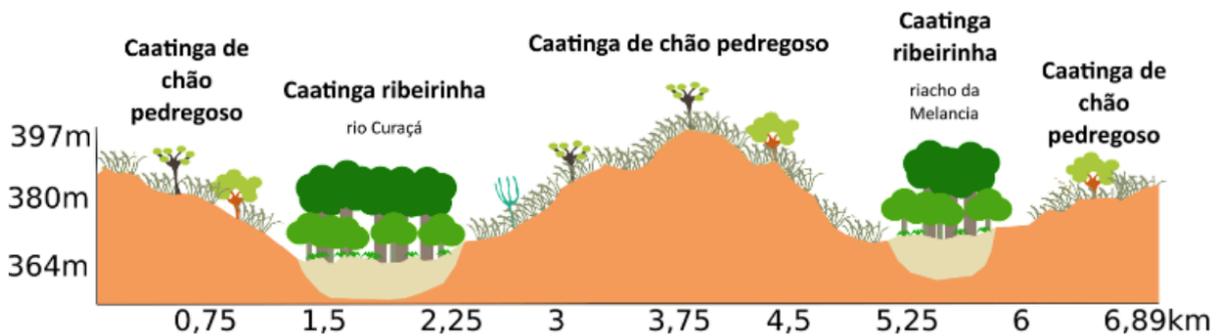


Figura 2. Perfil da paisagem na área da Formação Frei Paulo, entre o rio Curaçá e o riacho da Melancia, no sertão baiano, Brasil. A Caatinga de chão pedregoso é dominante nas encostas onde os materiais finos foram erodidos, apresentando um padrão arbustivo, denso e baixo. Nos canais fluviais, entulhados de sedimentos, a Caatinga ribeirinha manifesta um padrão arbóreo aberto a denso com indivíduos de até 15m. Fonte: os autores (2024).

Nessa área, no sertão do São Francisco, um filito a xisto rico em quartzo, foi submetido ao processo de intemperismo e erosão de modo a formar uma superfície de solos rasos a pouco profundos, coberta por um manto de seixos de quartzo (*chão pedregoso* no dizer de Ab'Saber).

O acúmulo de água é dificultado pela posição na encosta e os solos rasos. A vegetação cresce pouco, atingindo uma média de 2,5m de altura e sendo dominada por arbustos de marmeleiros (*Croton spp*). Os sedimentos removidos da encosta passaram a entulhar os canais, que chegam a apresentar quase 1 km de largura, onde o acúmulo de sedimentos e o potencial hídrico favorecem uma caatinga arbórea e alta, com árvores de até 15m.

Esse padrão espacial corrobora interpretações paleoambientais resultantes de estudos geomorfológicos do Quaternário, que atestam o esvaziamento das encostas e o entulhamento dos canais como um padrão recorrente para o Semiárido Brasileiro a partir do Holoceno superior (após 4800-4200 anos), acompanhando um estágio de ressecamento do clima em muitas partes do globo (Deininger *et al.*, 2020; Fonseca *et al.*, 2020).

Tal característica coincide com o aumento de registros botânicos da flora moderna da Caatinga (Utida *et al.*, 2020). Além disso, coincide com o aumento de registros arqueológicos de culturas ceramistas próximas ao rio São Francisco (Etchevarne, 1999, 2002; Schuster *et al.*, 2020). Com isto, pode-se traçar um quadro geral evolutivo das paisagens, cuja força motriz seria o ressecamento do Holoceno Superior (chamado Megalayano), resultando na erosão das encostas, entulhamento dos canais, especiação da Caatinga, reorganização da estrutura da vegetação conforme

as novas unidades geomorfológicas e, possivelmente, migração dos povos originários em busca de água.

Esse cenário compõe um exemplo do modelo de *epifácies* de Sochava para o Semiárido Brasileiro. A sua proposta era definir tipos de geossistemas com base em suas similaridades e classificá-los conforme seu estado dinâmico. Em última análise, a teoria proposta de Sochava contém mais uma lei científica, a de que as paisagens variam e se diversificam espacialmente em associação ao contexto climático, orográfico (altitude e exposição), do relevo, edáfico (características dos solos) e do uso e cobertura da terra.

Esse aspecto teórico não é tão novo. Propostas similares abundam em vários tratados de ecologia vegetal contemporâneos à proposta de Sochava. Todavia, embora a Teoria dos Geossistemas esteja fortemente baseada na compreensão da vegetação, um de seus diferenciais é não se resumir estritamente a ela, considerando todos os fatores do ambiente físico, a ação humana e a própria evolução das paisagens.

O foco está nos padrões espaciais, sua formação e dinâmica. A construção de hipóteses nesse tipo de estudo deveria basear-se na investigação de fatores considerados relevantes para explicar a diversidade de padrões espaciais numa área e quais variáveis são afetadas pela sua presença.

Geômeros e geócoros

O Método da Ordenação Complexa era a base para o conhecimento do funcionamento dos regimes naturais dos geossistemas. Por outro lado, a aplicabilidade de tais informações dependia fortemente da cartografia para inferir onde as paisagens apresentariam respostas ambientais similares.

Essa seção aborda os princípios da proposta cartográfica desenvolvida no Instituto de Geografia dirigido por Sochava, fundamentada nos conceitos de geômeros e geócoros. Antes de tudo, é preciso dizer que, ao elaboramos um mapa de geossistemas, encontraremos áreas muito semelhantes, mas que não necessariamente serão espacialmente contíguas.

Por exemplo, pense que sua área de estudo possui dois rios e que cada um desses rios está povoado com mangue em suas margens. O uso da terra nessas áreas, deverá ser planejado separadamente, embora possuam características similares e são classificadas como pertencendo ao mesmo *tipo*. Por tanto, no mapa, essas áreas serão representadas com a mesma legenda, ou como um mesmo tipo de paisagem.

Sochava chamou geossistemas de um mesmo *tipo* de *geômeros*. O menor deles, a *fácies* ou *geômero* elementar. Áreas heterogêneas, compostas por duas ou mais *fácies* diferentes, foram chamadas de *geócoros*, sendo o *microgeócoro* o menor deles (Figura 3).

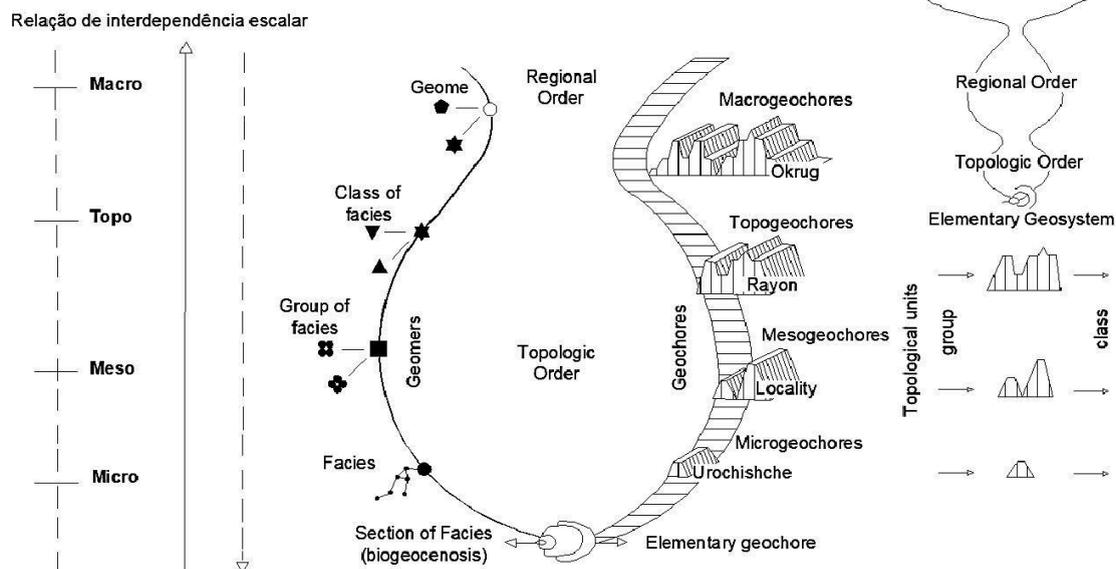


Figura 3. Diagrama representativo da interface entre geômeros e geócoros e a multisescalaridade de relações dos níveis de organização do geossistema. Fonte: Oliveira (2019), adaptado de Sochava (1978).

A cartografia dos geossistemas deveria ser baseada no mapeamento de fácies e seu agrupamento, conforme as conexões estabelecidas entre as unidades. Contudo, a experiência demonstrou que, para áreas muito grandes, era difícil mapear todas as fácies presentes, pelo seu tamanho diminuto. A solução encontrada foi mapear *grupos de fácies*, mais facilmente identificáveis por meio de fotografias aéreas, considerando sobretudo a posição no terreno, condições de umidade e vegetação.

Sendo assim, junto a geócoros e geômeros, há outros dois termos igualmente relevantes para a cartografia de geossistemas, que são a regionalização e a tipologia. Para a regionalização, é comum que os critérios de diferenciação dos geossistemas sigam um princípio genético (explícito ou não). Para a tipologia, o princípio dinâmico fundamenta a classificação dos geossistemas conforme suas similaridades. A regionalização considera os contrastes regionais. Já a tipologia é definida para as menores unidades (locais) que são posteriormente agrupadas para definir categorias de nível superior. Portanto, as unidades de interesse da regionalização são os geócoros, enquanto as de interesse da tipologia, são os geômeros (Cavalcanti; Braz; Oliveira, 2022).

Não obstante, existem ainda dois termos essenciais à cartografia de geossistemas, e que se relacionam diretamente aos geômeros/geócoros e a tipologia/regionalização, que são as técnicas de agrupamento ou divisão para classificação dos geossistemas, chamadas de *upscaling* (agrupamento) e *downscaling* (divisão).

O *upscaling* classifica, inicialmente, as unidades menores e posteriormente define agrupamentos conforme as características similares dos geossistemas. Ao passo que o *downscaling*, inicia diferenciando grandes geossistemas e depois as subdivide, conforme a diferenciação de suas

características. Em tempo, é importante ressaltar que os geossistemas que ocupam grandes áreas tendem a refletir o clima e as morfoestruturas, enquanto geossistemas menores tendem a refletir diferenças locais do relevo, da geoecologia, dos solos e da história do uso da terra.

Isachenko (1991) sugere considerar a variabilidade das paisagens do regional para o local ao mesmo tempo em que se considera do local para o regional. Isso significa que a construção do mapeamento deve considerar tanto os fatores que podem afetar grandes paisagens quanto os que podem afetar as menores. Na prática, deve-se atentar aos contornos regionais das morfoestruturas e dos tipos vegetacionais, mas a delimitação dos geossistemas deveria ser baseada nas feições menores, garantindo maior precisão nos limites.

Outras definições de geossistemas

Existem, pelo menos, cinco variações de significado do termo geossistema. Essa seção apresenta essas variações e suas relações com a proposta original de Sochava. Em 1968, o geógrafo francês Georges Bertrand, na época com 34 anos, apresenta um esquema de classificação de paisagens. Nessa proposta, utiliza o termo geossistema para se referir a unidades naturais estritamente da ordem entre 100 a 10.000 km² (Bertrand, 1968). Essa definição é diferente da proposta de Sochava, que não limitava geossistema a uma dimensão específica, podendo variar da fácies ao envelope geográfico, como vimos anteriormente.

Em 1978, Nikolai Beroutchachvili convenceu Bertrand a aceitar a terminologia de Sochava num artigo que escreveram juntos. Desde então, Bertrand passa a usar o termo geocomplexo para se referir a unidades naturais da ordem de centenas de km² e geossistema como um conceito mais amplo, uma abstração (Beroutchachvili; Bertrand, 1978).

Existe no Brasil uma discussão de que outra diferença entre os conceitos de Bertrand e Sochava seria a de que o geógrafo francês considera o homem como parte do geossistema, enquanto o russo não o faz. Isso não está correto. Ambos consideram o geossistema como uma formação natural alterada em maior ou menor grau pela atividade humana, que Bertrand denomina ação antrópica ou antropização, enquanto Sochava chama de derivações antropogênicas dos geossistemas. Nos dois casos, o papel humano é abordado no tocante às transformações materiais que imprime nos geossistemas.

Cabe ainda destacar que, quando Bertrand considera o papel humano num sentido socioeconômico e sociocultural, ele não o faz através do geossistema, preferindo utilizar os termos território e paisagem, respectivamente, mantendo os geossistemas como aspecto naturalista.

Outra definição é aquela de Christopherson (1997), que utiliza o termo geossistemas num sentido mais amplo, de sistemas ambientais. Nessa definição, qualquer sistema observado na

superfície terrestre pode ser chamado de geossistema. Isso difere da proposta de Sochava, que restringe os geossistemas a um sentido geoecológico.

Na geologia, alguns autores utilizam o termo geossistemas para se referir aos diferentes subsistemas do Sistema Terra, como o sistema do clima, o sistema das placas tectônicas e o sistema geodinâmico. Da mesma forma que no exemplo anterior, difere do sentido mais estrito dado por Sochava.

Por fim, Antonio Christofolletti (1999) tem um entendimento de geossistemas como a variação espacial (horizontal) das paisagens, enquanto suas variações verticais seriam o ecossistema. Na proposta de Sochava, tanto a estrutura vertical quanto a horizontal constituem geossistemas, chamados respectivamente de geômeros e geócoros.

Note que não se está querendo dizer que qualquer uma das definições é melhor ou pior que a outra. A ideia, deste trabalho, é apresentar os diferentes sentidos que o termo geossistema recebe na literatura. Dessa forma, toma-se como base para comparação a proposta original de Sochava apenas por ser a mais antiga e a de maior interesse neste artigo.

Geossistemas e ecossistemas

O conceito de geossistema soa muito similar ao ecossistema. Nesse sentido, Sochava esforçou-se para apresentar a diferença entre ambos. Essa seção explora semelhanças e diferenças entre os termos.

O conceito de geossistema é espacial. Neste sentido Sochava (1977) assumiu que existem diferentes unidades geossistêmicas da estrutura da paisagem (sendo o menor componente desta estrutura a fâcie ou geômero elementar), ou seja, cada geossistema pode apresentar atributos corológicos, morfológicos e funcionais próprios.

Essa noção da estrutura da paisagem é derivada de seus regulamentos de diferenciação espacial (zonais ou azonais). A estrutura da paisagem tem como fator determinante o estado qualitativo dos elementos que formam as paisagens e reflete na diferenciação das estruturas verticais (patamares) ou horizontes (diferentes componentes geográficos) (Braz, 2020).

Senso assim, Monteiro (2001) reconheceu que o geossistema e sua análise foi uma tentativa de melhorar as investigações da Geografia e que, além disso, a modelagem dos geossistemas à base de sua dinâmica natural e antropogênica visa, acima de tudo, promover uma maior integração entre o natural e o humano.

A principal característica apontada como diferenciadora de geossistemas e ecossistemas é a abordagem (Sochava, 1977; 1978; Isachenko, 1991; Mateo Rodríguez; Silva; Cavalcanti, 2022). Enquanto o geossistema destaca as relações entre os diferentes componentes da natureza

(policêntrica), o ecossistema possui uma abordagem biocêntrica, em que todas as informações ambientais seriam definidas em função de seu efeito nos seres vivos (Figura 4).

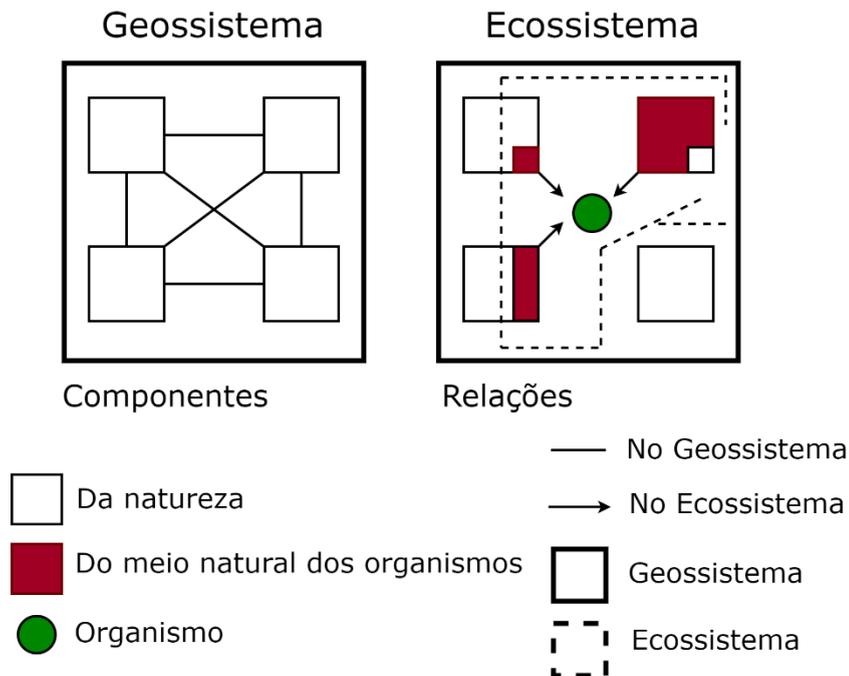


Figura 4. Esquema representando a diferença entre geossistemas e ecossistemas. Fonte: Adaptado de Raij (1975) apud Cavalcanti e Mateo Rodríguez (1997).

O conceito de ecossistema foi cunhado por Tansley (1935), interessado sobretudo nas relações dos organismos como populações e comunidades com o meio ambiente. O ecossistema consistiria, dessa forma, na combinação e trocas entre o orgânico e o inorgânico. E o meio ambiente e organismos constituiriam um único sistema físico (Kato; Martins, 2016).

Mateo Rodríguez, Silva e Cavalcanti (2022) ressaltam que o ecossistema é o conceito central da Ecologia, que dirige sua atenção aos organismos biológicos como centro do sistema, e na sua relação com o entorno, tem-se meio circundante. Dessa forma, o ecossistema direcionou sua atenção principal à análise dos intercâmbios de fluxos de energia, matéria e informação entre o biocentro do sistema e seu entorno e as relações funcionais.

Na prática, contudo, os estudos estacionais de geossistemas tinham uma relação muito estreita com a ecologia de ecossistemas. Não por acaso, na década de 1960, época em que Sochava iniciou seus estudos estacionais, foi implementado o Programa Biológico Internacional, com objetivo de criar estações de monitoramento de ecossistemas em todo o mundo (Coleman, 2010).

Em contrapartida, a proposta de Sochava, se aproximou significativamente da cartografia, ao evidenciar a importância de se sistematizar a compartimentação do meio natural, sendo este ato

requisito indispensável à solução de muitos problemas geográficos, tais como a elaboração de mapas de paisagens (Braz, 2020).

Colocando em perspectiva, temos um cenário internacional em que o monitoramento ambiental tornou-se urgente. Nesse contexto, a linguagem proposta pela cibernética e pela teoria dos sistemas tornou possível a construção de modelos de funcionamento de regimes naturais.

Na ecologia com os ecossistemas, a produtividade de biomassa, as relações tróficas e os ciclos biogeoquímicos ocuparam um papel central. No estudo dos geossistemas, essas temáticas não estavam fora da questão, mas a avaliação da estrutura e funcionalidade das paisagens, bem como o caráter integrado dos elementos que a constituem são preponderantes a este conceito. Além disso, os geossistemas têm na cartografia um diferencial em sua operacionalização, amplamente utilizada para representação das informações ambientais, uma grande novidade à época.

Na prática, os diversos pesquisadores possuíam a mesma preocupação, levada a cabo com procedimentos ligeiramente distintos. Essas diferenças estando fortemente associadas à experiência acadêmica de cada pesquisador e aos contextos institucionais onde suas práticas estavam sendo desenvolvidas.

Geossistema-Território-Paisagem

A partir da década de 1990, Georges Bertrand e Claudes Bertrand iniciam uma proposta ousada envolvendo os geossistemas. Há muito tempo, Georges Bertrand (Bertrand, 1984) criticava o modelo “deformante” das monografias francesas tradicionais, que buscavam apresentar regiões do mundo de forma estável, exaustiva e descritivo dos aspectos naturais e sociais, deixando na sombra as infraestruturas e seu funcionamento.

Como já foi mencionado acima, Bertrand e os adeptos de sua abordagem, também teciam críticas ao geossistema proposto por Sochava, no sentido de ser um modelo estritamente natural. O que já foi contradito neste e em outras obras dedicadas ao estudo da Teoria dos Geossistemas.

Como uma alternativa a essas questões, os autores propuseram o modelo Geossistema-Território-Paisagem (GTP) que “pode ser considerado como uma construção monográfica territorializada e sistematizada” (Bertrand; Bertrand, 2014, p.23). O GTP consiste numa sistematização de informações do espaço geográfico a partir de três conceitos: geossistema (natural), território (socioeconômico) e paisagem (sociocultural).

No tocante aos geossistemas, o conceito permanece com seu viés biogeográfico/ecológico. No GTP, portanto, o geossistema aparece como fonte de matéria-prima para a sociedade e tem, na sua transformação (antropização) e respostas naturais, características definidoras (Bertrand; Bertrand, 2007).

Na proposta inicial do GTP, os autores não apresentam um conjunto de procedimentos explícitos e detalhada para aplicação do modelo. Além da falta de exemplos de aplicação e adaptação a contextos geográficos específicos ou situações particulares. Na verdade, anos depois, eles refletem sobre sua abrangência e dificuldade de implementação:

O GTP foi, desde o início (1990-2000), concebido como uma configuração sistêmica abrangendo todo o complexo territorial, ambiental e paisagístico. [...] No entanto, experimentos realizados em diversas áreas, com diferentes questões, mostraram que esse propósito geral do GTP era muito exaustivo e teórico e que o projeto de pesquisa não evitou uma certa oscilação conceitual (Bertrand; Bertrand, 2014, p.21).

Os autores então propõem que a base para aplicação do GTP seja o conceito de artificialização. Consiste na avaliação das transformações da natureza a partir do trabalho humano (antropização) e na produção de representações (artificialização). O GTP é, portanto, uma proposta teórica, um modelo teórico cujas diretrizes metodológicas são deixadas a cargo daqueles que tentam aplicá-lo. E isso complica um pouco a sua operacionalização, avanço e comparação entre diferentes áreas de aplicação.

A ausência de procedimentos claros para sua execução, permite levantar algumas questões importantes: como colocar o GTP em prática sem parecer raso ou superficial? Quanto tempo é necessário para implementar o GTP? Em qual estudo Bertrand aplica, de fato, o GTP?

Em 2015, Claude e Georges Bertrand publicaram um trabalho referente a seus estudos nas Montanhas Cantábricas Centrais. O livro aborda a importância do modelo GTP. Todavia, reúne memórias de 54 anos de pesquisa em apenas 70 páginas. Apesar da qualidade, ainda parece pouco prático.

Ademais, há um ponto pouco discutido no GTP, que é um ecletismo de conceitos – no Brasil, comumente chamado de categorias da Geografia por Corrêa (1995) – do ponto de vista do método na Geografia. Território e paisagem são dois conceitos longínquos e tradicionais à Geografia. Geossistema, neste caso, é considerado como um novo conceito da Geografia em algumas literaturas mais recentes, e noutros casos, é considerado como um modelo disponível para o conceito de paisagem.

Dessa forma, o simples fato de juntar os conceitos propondo um “esforço” de ampliar as possibilidades do conceito original de geossistema, talvez não tenha sido tão assertivo. Paisagem e território são conceitos distintos na Geografia, com perspectivas diferentes e se sustentam por métodos (até filosóficos, a exemplo do empirismo lógico, dialético, fenomenológico etc.) também distintos.

Além disso, a integração de três conceitos consolidados e abrangentes em capacidade de análise geográfica, corre-se o risco de negligenciar nuances e detalhes importantes, e essenciais à uma

compreensão da realidade geográfica, ou seja, o efeito poderia ser inverso à proposição inicial dos geossistemas, provocando uma redução da complexidade.

Outra limitação deste ecletismo de conceitos é com relação às análises causais, ou seja, estima-se (dado a ausência de procedimentos explícitos e detalha de aplicação) que o modelo GTP tenha dificuldades em oferecer uma estrutura robusta o suficiente para analisar e compreender as relações causais entre os elementos dos geossistemas, aspectos do território e paisagem. E isso pode dificultar a identificação das causas subjacentes de padrões geográficos.

Isso quer dizer que uma variável, evento ou condição (a causa) produz um efeito ou resultado específico em outra variável, evento ou condição (o efeito), ou seja, uma mudança em uma variável é responsável por uma mudança em outra variável. Todavia, a base teórica para o GTP não é detalhada o suficiente para indicar meios para avaliar a relação causal entre variáveis dos três conceitos considerados no modelo.

Outro questionamento pertinente é a questão de uma ausência de uma abordagem participativa, que indique procedimentos envolvendo questões socioeconômicas (território) e socioculturais (paisagens), tampouco menciona se estas questões seriam preferenciais para uma cartografia dos resultados do GTP.

Há uma primeira impressão visando a integração, mas pode haver um pano de fundo que indique uma mistura de conceitos simplista, por vezes até redundantes, ou com uma segmentação não tão necessária. É o caso de pensar a paisagem estritamente como campo de relações *socioculturais*, ao passo que o território avaliaria novamente a questão *socioeconômica*. Relegando ao geossistema não um caráter de integração, amplamente difundido a partir do conceito original de Sochava, mas apenas interessado nas relações naturais.

Geossistema complexo

Recentemente, a noção de geossistema complexo tem permeado o trabalho de vários autores no Brasil (Marques Neto, 2023; Neves, Sodré, 2021; Dutra-Gomes; Vitte, 2018). Em geral, trata-se de abordagens no campo da epistemologia da Geografia, com maior ou menor influência da Teoria da Complexidade, especialmente sob a ótica das discussões de Edgar Morin.

A proposta abrange um conceito capaz e integrar aspectos naturais e sociais da Geografia como um todo aos estudos da paisagem e ambiente. A proposta visa superar aspectos vistos como restritivos em propostas anteriores e agregar avanços pequenos e grandes produzidos em diferentes centros de pesquisa do país (Neves; Sodré, 2021).

A ideia mostra o fôlego que os geossistemas possuem na Geografia brasileira, mas também apresenta alguns obstáculos de cunho procedimental. Nesse sentido, seu estabelecimento precisa partir de questões concretas e urgentes do nosso tempo, sob o risco de ficar à deriva no oceano das

discussões acadêmicas, como já tem dado indícios. Isso porque há uma quantidade razoável de obras dedicadas a teorizar os “avanços” dos geossistemas complexos na Geografia, mas é escasso o material que se esforça para avançar do ponto de vista técnico e aplicado.

Esse não deve ser apontado como um problema, tendo em vista a que os geossistemas complexos emergiram mais recentemente em obras da Geografia. Mas tendo obras publicadas, com discussões de boa qualidade, mas que ainda não se voltaram para colocar em prática – e operacionalizar – os geossistemas complexos pode ser um ponto sensível da proposta (até o momento).

A princípio, é preciso considerar que o conceito de geossistema foi proposto com um sentido mais restrito. Sochava, considerava que o geossistema não seria capaz de suprir todas as demandas da Geografia Física, apenas de uma parte dela (Sochava, 1977), o que é comum aos conceitos, teorias e até mesmo os métodos científicos.

Na direção de uma maior complexidade está, sem dúvida, o GTP. Por anos, Bertrand e Bertrand (2014) procuraram desenvolver uma perspectiva abrangente e integradora, julgando que o conceito inicial de geossistema, sozinho, não resolvia. Contudo, a proposta patinou justamente no caráter muito exaustivo, teórico. Nesse ponto, é possível comparar à lição anterior, com a natureza ainda essencialmente epistemológica das propostas de geossistema complexo.

Desafia-se, portanto, tais propostas, a sair do campo teórico e ingressar no campo da prática. Um caminho a seguir seria pensar em quais questões da sociedade esse conceito poderia ajudar a resolver, e de que forma os pesquisadores iniciariam uma operacionalização dessas propostas, bem como os produtos resultantes.

Que tipo de resultados estamos procurando com o geossistema complexo? O que realmente há de novo e complementar no conceito de geossistema complexo? Sobre quais problemas da sociedade a proposta pode avançar e ajudar a resolver? Em que ela pode ser melhor do que outras propostas já existentes?

Voltemos ao exemplo de Sochava. Sua proposta de geossistemas emergiu da necessidade de integrar modelos ambientais para responder a questões referentes ao funcionamento de regimes naturais. Existiam questões claras a serem respondidas. Que questões o geossistema complexo pode responder ou pode ser melhor para responder com relação à proposta inicial de Sochava?

No sentido de contribuir com a temática, há uma sugestão que pode ser valiosa. Onde a integração de dados ambientais, sociais, econômicos e culturais é mais necessária? Nos espaços de decisão e ordenamento do território. Nos fóruns e comitês de gestão de bacias hidrográficas, cidades e unidades de conservação, uma abordagem integrada e complexa é mais do que necessária, é urgente. Mas é preciso operacionalizar as discussões teóricas para que o geossistema complexo possa, de fato, contribuir nestas decisões.

Poderiam os geossistemas complexos contribuir com a decisão espacial? Como fariam isso? Quais procedimentos seriam diferentes ou inovadores para diferenciar a integração de informações ambientais e antrópicas dos geossistemas complexos? Quais os avanços práticos os geossistemas complexos teriam sobre os geossistemas? Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) serão capazes de realizar as sínteses cartográficas para este modelo teórico? De que forma os geossistemas complexos poderiam auxiliar os espaços de decisão, bem como munir gestores com informações eficientes? Infelizmente ainda não parece haver respostas claras. Seja como for, é preciso colocar as ideias em prática. Há uma urgência para que o geossistema complexo saia do campo epistemológico.

Considerações finais

Ao longo deste texto, foram apresentadas algumas reflexões relacionadas ao conceito de geossistemas. Buscou-se apresentar ideias originárias da Teoria dos Geossistemas na perspectiva de sua validade e viabilidade à luz de questões e ferramentas contemporâneas.

É essencial notar que os geossistemas resultam das interações entre componentes naturais, da esfera cósmica e da sociedade humana. Geossistema é um termo abstrato, aplicado a padrões espaciais de arranjo dos componentes da natureza, mais ou menos modificados pela atividade humana e que são observados em áreas de diversas extensões.

O proponente do termo, Viktor Sochava (1905-1978) estava fortemente ligado à Geografia e ao estudo da vegetação. O método da ordenação complexa, proposto por ele, consiste no monitoramento ambiental integrado de vários regimes naturais. Regimes naturais são conjuntos de processos geoecológicos fundamentais como a ciclagem de nutrientes, a produtividade de biomassa, o balanço hídrico e o balanço de energia, entre outros.

A cartografia de geossistemas tinha a função de viabilizar a elaboração de modelos para outras áreas a partir dos dados observados em campo. O monitoramento integrado ainda é uma questão urgente e atual, embora algumas informações necessárias já possam ser obtidas por outros meios, como o sensoriamento remoto e o geoprocessamento.

É fundamental destacar que existe uma teoria associada ao conceito de geossistema. Essa teoria é baseada na influência que determinados fatores ambientais exercem nos padrões de paisagens observadas numa área. Estudos desse tipo deveriam investigar as relações de dependência entre padrões espaciais e fatores de influência.

Na proposta de Sochava, a cartografia possuía um papel fundamental na aplicação dos conhecimentos registrados nas estações de campo, fortemente apoiada pelo seu sistema hierárquico bilateral, tendo os Geômeros como áreas definidas por suas similaridades, ou seja, são tipos de paisagem; e os Geócoros que são geossistemas heterogêneos, que conectam diferentes geômeros.

Além da definição de Sochava, várias outras definições de geossistema foram propostas com o passar dos anos. Algumas definições são muito similares, enquanto outras apresentam maior abrangência. Algumas parecer ser um esforço de avanço, outras apenas um esforço para reformular termos, sem grandes avanços procedimentais. Além disso, existem conceitos relacionados, como o de ecossistema e geoecologia. Aqui, cabe destacar que, o método da ordenação complexa e os estudos estacionais propostos por Sochava surgiram num contexto internacional de emergência das pesquisas de monitoramento do ambiente. Nesse sentido, a proposta dos geossistemas tem pontos de contato com o conceito de ecossistema, embora não tenham necessariamente o mesmo significado e os mesmos objetivos.

Uma das grandes preocupações de Georges Bertrand foi a superação dos modelos das monografias regionais, comum na França. Sua proposta mais ampla, baseia-se na integração de dados naturais, socioeconômicos e socioculturais, compondo o modelo Geossistema-Território-Paisagem (GTP). Todavia, a proposta foi considerada exaustiva e teórica pelo próprio autor, depois de anos tentando colocá-la em prática.

Baseados na teoria da complexidade, epistemólogos da Geografia (especialmente a brasileira) têm sugerido um conceito de geossistema complexo. Essa proposta parece trazer novo fôlego ao interesse nos geossistemas, todavia, ainda não conseguiu sair do plano teórico e as discussões são demasiadamente no campo epistemológico. O escopo da proposta ainda parece ser um fator limitante de sua implementação, assim como o foi para o GTP.

Fica evidente que muitas questões são relevantes e podem trazer respostas importantes a problemas urgentes do nosso tempo. Outras, contudo, ainda parecem estar em estágio embrionário, carecendo de maior robustez metodológica e aplicabilidade.

Em tempo, a teoria (e o conceito) de geossistemas proposto por Sochava segue sendo uma alternativa consistente, com procedimentos robustos e bem delimitados para sua operação, interpretação e aplicação na Geografia. Embora existam críticas com relação ao seu enfoque natural, o conceito tem mostrado que tem capacidade de integrar também as questões antrópicas.

Não se tem a pretensão de defender um purismo do conceito de geossistemas, mas trazer à tona, reflexões e evidências de um conceito (e teoria) concebido na e para a Geografia. O debate, por vezes, sob a ótica da crítica, se faz necessário para provocações que visem um avanço efetivo do conceito.

É evidente que não se busca aqui uma reinvenção do conceito de geossistemas, nem propor uma emergência para sua evolução. Mas sabe-se, como é comum a diferentes conceitos científicos, acadêmicos e técnicos, que estes não são propostos para ser uno e absoluto. Por isso, há um estímulo em fomentar reflexões que, quando necessário, busquem uma atualização e avanço dos conceitos existentes. Desde que seja realmente uma evolução, inovadora e, sobretudo, funcional.

Por fim, espera-se que este texto possa servir para orientar novos estudantes que se interessam pelo tema, focando naquilo que é, de fato, essencial.

Referências

- ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. **SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land)** - Advanced training and user's manual - Idaho implementation. Idaho: Idaho University, USA, 2002.
- ARNOLD, J. G.; MORIASI, D. N.; GASSMAN, P. W.; ABBASPOUR, K. C.; WHITE, M. J.; SRINIVASAN, R. et al. **SWAT: Model use calibration and validation**. Transactions of ASABE, v. 55, n. 4, p. 1494-1508, 2012.
- BRAZ, A. M. **Zoneamento turístico das paisagens para o município de Mineiros (GO), Brasil**. 2020. 358 f. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2020.
- BERG, L. S. **Zonas Geográficas da União Soviética**. Tomo 1. Moscou: Editora estadual de literatura geográfica, 1947. (Em russo).
- BOGDANOV, A. **Tectologia: Organização Geral**. Petrogrado: Nauka, 1922. [Em russo].
- BEROUTCHACHVILI, N. L. ;BERTRAND, G. Le Géosystème ou Système territorial naturel. **Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest**, Toulouse, vol. 49, n. 2, p. 167-180, 1978.
- BERTALANFFY, L. V. An outline of general system theory. **British Journal for the Philosophy of Science**, vol. 1, p. 134-165, 1950.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo: uso em manejo e práticas conservacionistas**. São Paulo: Editora Ícone, 1990.
- BERTRAND, C.; BERTRAND, G. La nature-artefact: entre anthropisation et artialisation, l'expérience du système GTP (Géosystème-Territoire-Paysage). **L'Information géographique**, v. 78, n. 3, p. 10-25, 2014.
- BERTRAND, G. Paysage et géographie physique globale: esquisse méthodologique. **Revue Géographique des Pyrénées et Sud-Ouest**, Toulouse, v. 39, n. 3. p. 249-272, 1968.
- BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física global: um esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra (IGUSP)**, São Paulo, n .13, 1972.
- BERTRAND, G.; BERTRAND, C. **Uma geografia transversal e de travessias: o meio ambiente através dos territórios e das temporalidades**. Maringá: Massoni, 2007. 332p.
- BERTRAND, G., BEROUTCHACHVILI N. Le géosystème ou «système territorial naturel». **Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest**, Toulouse, v. 49, n. 2, p. 167-180, 1978.
- CAVALCANTI, A. P. B.; MATEO RODRIGUEZ, J. M. **O meio ambiente: histórico e contextualização**. São Paulo, 1997.

CAVALCANTI, L. C. S.; BRAZ, A. M.; OLIVEIRA, C. S. Cartografia de paisagens: fundamentos, tendências e reflexões. In: STEINKE, V. A.; SILVA, C. A.; FIALHO, E. S. (Org.). **Geografia da Paisagem: múltiplas abordagens**. Volume I. Brasília: UnB, 2022.

CAVALCANTI, L. C. S.; CORRÊA, A. C. B. Geossistemas e Geografia no Brasil. **Revista Brasileira de Geografia (IBGE)**, Rio de Janeiro, v. 61, n. 2, p. 3-33, jul./dez., 2016.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. Editora Blucher, 1999. 256p.

CHRISTOPHERSON, R. W. **Geosystems: an introduction to Physical Geography**. Hoboken: Prentice Hall, 1997.

COLEMAN, D.C. **Big ecology: the emergence of ecosystem science**. Univ of California Press, 2010. 235p.

CORRÊA, R. L. Espaço: um conceito-chave da Geografia. In: CASTRO, I. E. de C.; GOMES, P. C. C.; CORRÊA, R. L. (Org.). **Geografia: conceitos e temas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995.

DEININGER, M. et al. Inter-hemispheric synchronicity of Holocene precipitation anomalies controlled by Earth's latitudinal insolation gradients. **Nature Communications**. v. 11, n. 5447, p. 1-9. 28 out. 2020.

DOKUCHAEV, V. V. **Para o ensino sobre as zonas da natureza: zonas horizontais e verticais do solo**. São Petersburgo: Casa de impressão municipal de publicações de São Petersburgo, 1899. (Em russo).

DUTRA-GOMES, R.; VITTE, A. C. O Geossistema pela Complexidade: Uma releitura das Esferas Geográficas. **REVISTA DO DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**, v. 35, p. 15-27, 2018.

DYAKONOV, K. N. Landscape studies in Moscow Lomonosov State University: development of scientific domains and education. In: DYAKONOV, K. N., KASIMOV, N. S., KHOROSHEV, A. V., KUSHLIN, A. V. **Landscape analysis for sustainable development: theory and applications of landscape science in Russia**. Moscou: Alexplublishers, 2007. p. 11-20.

ETCHEVARNE, C. A ocupação humana do Nordeste Brasileiro antes da ocupação portuguesa. **REVISTA USP**, São Paulo, n.44, p. 112-141, dezembro/fevereiro 1999-2000.

ETCHEVARNE, C. Ambiente de ocupação humana em uma região do Baixo São Francisco, Bahia. **Clio arqueológica**. 15. 2002. p.61-88.

FONSECA, D.N. et al. Coupling of tectonic factors and precipitation variability as a driver of Late Quaternary aggradation in Northeast Brazil. **Earth surface: processes and landforms**. v45(14)2020. p.3525-3559.

GERASIMOV, IP. **Atlas físico-geográfico do mundo**. Publicação da Academia de Ciências da URSS e da Diretoria Principal de Geodésia e Cartografia do Comitê Civil do Estado da URSS, 1964. 298p. Disponível em: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/40728>. Acesso 07 jun 2024.

IB (2024a). **Instituto Botânico em homenagem. V.L. Academia Russa de Ciências Komarov**. Disponível em: <https://www.binran.ru/>. Acesso em 07 jun 2024.

IB (2024b). Laboratório de Geografia e Cartografia da Vegetação – Referência histórica. In: **Instituto Botânico em homenagem. V.L. Academia Russa de Ciências Komarov**. Disponível em: <https://www.binran.ru/structure/podrazdelenia/laboratoriya-geografii-i-kartografii-rastitelnosti/istoricheskaya-spravka/>. Acesso em 07 jun 2024.

IPNI (2024). Soczava, Viktor Borisovich (1905-1978) In: **International Plant Names Index**. Published on the Internet <https://www.ipni.org/a/9850-1>, The Royal Botanic Gardens, Kew, Harvard University Herbaria & Libraries and Australian National Herbarium. [Retrieved 07 June 2024].

ISACHENKO, A. G. **Ciência da Paisagem e Regionalização Físico-Geográfica**. Moscou: Vyshaya Shkola. 1991. (Em russo.)

ISACHENKO, A. G. **Principles of Landscape Science and Physical Geographic Regionalization**. Melbourne: Melbourne University Press, 1973.

LIKENS, G.E. *et al.* Effects of forest cutting and herbicide treatment on nutrient budgets in the Hubbard Brook watershed-ecosystem. **Ecological monographs**, v. 40, n. 1, p. 23-47, 1970.

KATO, D. S.; MARTINS, L. A. P. A “**sociologia de plantas**”: Arthur George Tansley e o conceito de ecossistema (1935). *Filosofia e História da Biologia*, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 189-202, 2016.

MARQUES NETO, R. **PAISAGEM E GEOSSISTEMAS**: bases teórico-metodológicas da Geografia Física aplicada. Editora CRV, 2023.

MATEO RODRÍGUEZ, J. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. **Geocologia de paisagens**: uma visão geossistêmica da análise ambiental. 6 ed. Fortaleza: Imprensa Universitária UFC, 2022.

MONTEIRO, C. A. F. Os geossistemas como elemento de integração na síntese geográfica e fator de promoção interdisciplinar na compreensão do ambiente. **Revista de Ciências Humanas**, Florianópolis, v. 14, n. 19, p. 67-101, 1996.

MONTEIRO, C. A. F. **Geossistemas**: a história de uma procura. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2001.

NEVES, C. E. Geossistema e Geografia Soviética: os legados teórico-metodológicos e a importância dos institutos e estações experimentais de pesquisa. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE HISTÓRIA DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 15., 2016, Florianópolis. **Anais....** Florianópolis: UFSC, 2016. p. 1-18.

NEVES, C. E.; SODRE, M. T. Por um Geossistema complexo: articulações teóricas e operacionais apoiadas por núcleos e redes de pesquisa. **REVISTA DO DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**, v. 41, p. e169705, 2021.

ODUM, E.P. The Strategy of Ecosystem Development: An understanding of ecological succession provides a basis for resolving man's conflict with nature. **Science**, v. 164, n. 3877, p. 262-270, 1969.

OLIVEIRA, C. S. **Dinâmica e (re)organização espacial dos sistemas ambientais atuantes em bacias hidrográficas do domínio Tropical Atlântico**. 2019. 271 f. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Presidente Prudente, 2019.

RENARD, K.G. *et al.* The revised universal soil loss equation. In: **Soil erosion research methods**. Routledge, 2017. p. 105-126.

SCHUSTER, A. et al. Da pré-história para a história indígena no Baixo São Francisco: arqueologia do período de contato dentro de um contexto Kariri. **Habitus**. Goiânia, v. 18, n.1, p. 179-206, jan./jun. 2020. DOI 10.18224/hab.v18n1.7873.

SNYTKO, V. A., SOBISEVICH, A. V.. Scientific path of Viktor Borisovich Sochava and his contributions for Landscape Analysis. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, 41 (3), 1-7, 2020. DOI 10.33958/revig.v41i3.723.

SOBISEVICH, A. V., SNYTKO, V. A., POSTIKOV, A. V. The surrounding environment monitoring in the Soviet Union: a review of establishing new "ecological" science // IOP Conference Series: **Earth and Environmental Science**. 2019. Vol. 350. # 1. P. 1–6.

SOCHAVA, V .B. Algumas noções e termos da Geografia Física. **Relatórios do instituto de Geografia da Sibéria e do Extremo Oriente**, Novosibirsk, vol. 3, p. 50-59, 1963. (Em russo)

SOCHAVA, V. B. **Topologia dos geossistemas de estepes**. Leningrado: Casa de Publicações de “Ciências” Divisão de Leningrado, 1970. (Em russo).

SOCHAVA, V. B. O Estudo de geossistemas. **Métodos em Questão**, São Paulo, n. 16. Traduzido por Carlos Augusto Figueiredo Monteiro e Dora de Amarante Romariz, p. 1-52, 1977.

SOCHAVA, V. B. **Introdução à Teoria do Geossistema**. Novosibirsk, Nauka, 1978. (Em russo).

SOCHAVA, V. B. O estudo de geossistemas. **Métodos em questão (IGUSP)**, São Paulo, n. 16, 1977.

SOCHAVA, V.B. **Problemas de Geografia Física e Geobtânica**. Obras Seleccionadas. Nauka: Novosibéria. 1986. 345p. (em russo).

SOUSA, L.B. *et al.* Estimation of actual evapotranspiration and mapping of cultivated areas in a basin of the São Francisco integration project (PISF), semiarid of Pernambuco state. 2021. **IRRIGA**, 2021, v. 26, n. 3, p.565-583.

TANSLEY, A. G. The use and abuse of vegetational concepts and terms. **Ecology**, vol. 16, n. 3, p. 284-307, 1935.

TROPPEMAIR, H. **Geossistemas e Geossistemas Paulistas**. Edição do autor, 2000. 105p.

UNESCO. **International vegetation classification and mapping**. Rome: UNESCO, 1973. 102p. Disponível em: https://wiki.met.no/_media/polarprofile/products/metadatavocab/icmv.pdf .Acesso em 07 jun 2024.

USDA.UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Urban Hydrology for Small Watersheds**. TR-55. Washington: USDA, 1986.

UPER. História do Departamento em Fotografias – Chefes de Departamento.2024 In: **UPER-Universidade Estatal Pedagógica Russa em homenagem a A.I. Herzen**. Disponível em:<https://www.herzen.spb.ru/about/struct-uni/fac/f-geo/kafedry/kafedra-fizicheskoy-geografii-i-prirodopolzovaniya/dopolnitelnaya-informatsiya-o-kafedre/istoriya-v-fotografiyakh/> .Acesso em 07 jun 2024.

UTIDA, G. et al. Climate changes in Northeastern Brazil from deglacial to Meghalayan periods and related environmental impacts. **Quaternary Science Reviews**. v. 250, 106655. 15 dez. 2020.

VAN DYNE, G.(Ed.). **The ecosystem concept in natural resource management**. Elsevier, 1969. 382p.

VOROBIEV, V.V.; SNYTKO, V.A.; NECHAEVA, E.G. **Viktor Borisovich Sochava: trajetória de vida, criatividade acadêmica**. Novosibirsk, SO RAS publishing house, 2001, 194 p. (em russo).

VYSOTSKY, G. Sobre os mapas fito-topológicos, sua forma de compilação e seu significado prático. **Pedologia**, São Petersburgo, n. 2, p.97-124, 1909. (Em russo).

ZUCHKOVA, V. K.; RAKOVSKAIA, E. M. **Métodos de Investigação em Geografia Física Integrada**. Moscow: Academia. 2004. (Em russo).

SOBRE OS AUTORES

Lucas Cavalcanti  - Possui graduação em Engenharia Química, mestrado em Química e doutorado em Química pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, e três pós-doutorados em Química (UNICAMP; Università Cattolica del Sacro Cuore, Roma; Universidade Federal de Santa Catarina). Professora titular da Universidade Federal de Santa Catarina do Campus de Curitibanos, aposentada em maio de 2021.

E-mail: lucas.cavalcanti@ufpe.br

Fredson Pereira da Silva  - Doutor em Geografia pela Universidade Estadual do Ceará (UECE). Mestre em Ecologia Humana e Gestão Socioambiental pela Universidade do Estado da Bahia (UNEB). Especialista em Ensino de Geografia pela Universidade de Pernambuco (UPE). Graduado em Geografia pela Universidade de Pernambuco (UPE).

E-mail: fredson.silva@ufpe.br

Riclaudio Silva Santos  - Doutor em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco (2024). Mestre em Geografia pela Universidade Federal de Sergipe (Linha de Pesquisa: Dinâmica Ambiental) (2018). Graduado em Licenciatura em Geografia pela Universidade Federal de Sergipe, Campus Professor Alberto Carvalho (2016). Membro do grupo de pesquisa em Geografia de Paisagens Tropicais (PAISAGEO), da Universidade Federal de Pernambuco. Membro do Laboratório de pesquisa em dinâmicas de paisagens intertropicais (INTERTRÓPICOS), da Universidade Federal de Pernambuco. Tem interesse na área de Geografia Física, atuando principalmente com ensino de geociências, cartografia de paisagem, geossistemas, geomorfologia, dinâmica ambiental, sensoriamento remoto e geoprocessamento. Usuário de informática avançado, com curso em manutenção de hardwares e redes, e uso de softwares.

E-mail: riclaudio.silva@ufpe.br

Adalto Moreira Braz  - Doutor em Geografia (UFG), Mestre e Geógrafo (UFMS). Atualmente é Pesquisador Independente associado aos Grupos de Pesquisa: PAISAGEO (UFPE); Geoecologia das Paisagens do Cerrado (UFG); DIGEAGEO (UFMS) e atua como Especialista de Geoprocessamento na iniciativa privada. Realizou estágio de pesquisa na Universidade de Lisboa (IGOT). Foi Pesquisador Visitante (Jovens Pesquisadores) na Universidade de Coimbra (DEPGEOTUR).

E-mail: adaltobraz.geografia@gmail.com

Data de submissão: 12 de agosto de 2024
Aceito para publicação: 09 de setembro de 2024
Data de publicação: 12 de setembro de 2024