

GEOTECNOLOGIAS E SUAS ABORDAGENS EM ESTUDOS GEOMORFOLÓGICOS: DESAFIOS E POSSIBILIDADES PARA ALÉM DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

GEOTECHNOLOGIES AND THEIR APPROACHES IN GEOMORPHOLOGICAL STUDIES: CHALLENGES AND POSSIBILITIES BEYOND GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS (GIS)

GÉOTECHNOLOGIES ET LEURS APPROCHES DANS LES ÉTUDES GÉOMORPHOLOGIQUES: DÉFIS ET POSSIBILITÉS AU-DELÀ DES SYSTÈMES D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE (SIG)

ARCHIMEDES PEREZ FILHO¹
LUCA LÄMMLE²
VINÍCIUS BORGES MOREIRA²

¹Instituto de Geociências, Laboratório de Geomorfologia - UNICAMP
E-mail: archi@ige.unicamp.br

²Instituto de Geociências, Laboratório de Geomorfologia - UNICAMP

Recebido 30/05/2020

Enviado para correção 10/06//2020

Aceito 23/06/2020

RESUMO

O conceito de Geotecnologia se consolidou associado a plataformas SIG's, *softwares* de geoprocessamento e/ou processamento digital de imagens. Com o aperfeiçoamento e surgimento de novas técnicas nas últimas décadas devido a constantes avanços tecnológicos, essa limitação conceitual deve ser ampliada, compreendendo geotecnologias como o conjunto de técnicas utilizadas para obtenção de dados em determinado local geográfico, com o objetivo de processar e analisá-los em função de uma hipótese proposta. O objetivo do presente trabalho é abordar as diferentes possibilidades de uso das mesmas a partir de alguns exemplos, além de fomentar a abordagem das mesmas no âmbito da geomorfologia brasileira. O procedimento metodológico ocorreu em duas etapas, sendo a primeira revisão de literatura sobre exemplos de técnicas que podem ser consideradas geotecnologias; e a segunda, análise e quantificação de publicações em anais dos últimos 10 anos do Simpósio Nacional de Geomorfologia (SINAGEO), obtendo, assim, panorama a partir da maior base de dados de trabalhos na temática realizados no Brasil. Ressalta-se que o pesquisador deve considerar a escala de análise adotada para utilizar as Geotecnologias, uma vez que a utilização ou correlação equivocada pode comprometer os resultados e até invalidá-los. Este parece ser o caminho a seguir, sendo a Geografia, Geologia e Geomorfologia brasileira parte desse movimento, contribuindo para o avanço da ciência.

Palavras-chave: Geotecnologias. Geomorfologia Brasileira. Abordagem Escalar.

ABSTRACT

The concept of Geotechnology consolidates the associated GIS platforms, geoprocessing software and / or digital image processing. With the improvement and the emergence of new techniques in the last decades, due to constant technological advances, this conceptual limitation must be expanded, the understanding of geotechnologies as the set of techniques used for local geographic data, in order to analyze and analyze the according to a proposed hypothesis. The objective of the present work is to approach the different possibilities of using these samples from some examples, in addition to promoting their approach within the scope of Brazilian geomorphology. The methodological procedure took place in two stages, the first review of the literature on examples of techniques that can be used geotechnologies; and second, analysis and quantification of publications in annals of the last 10 years of the Simpósio Nacional de Geomorfologia (SINAGEO), thus obtaining an overview from the largest database of works on the theme carried out in Brazil. It is emphasized that the researcher must consider an analysis scale adopted to use as Geotechnologies, since the use or wrong correlation can compromise the results and until they are invalid. It seems to be the way forward, being Geography, Geology and Brazilian Geomorphology, part of this movement, contributing to the advancement of science.

Keywords: Geotechnologies. Brazilian Geomorphology. Scalar Approach.

RÉSUMÉ

Le concept de Géotechnologie s'est consolidé associé aux plateformes SIG, aux logiciels de géotraitement et / ou au traitement d'images numériques. Avec l'amélioration et l'émergence de nouvelles techniques au cours des dernières décennies en raison des progrès technologiques constants, cette limitation conceptuelle doit être élargie, comprenant les géotechnologies comme l'ensemble des techniques utilisées pour obtenir des données dans un lieu géographique donné, dans le but de les traiter et de

les analyser, selon une hypothèse proposée. L'objectif du présent travail est d'approcher les différentes possibilités de les utiliser à partir de quelques exemples, en plus d'en promouvoir l'approche dans le cadre de la géomorphologie brésilienne. La démarche méthodologique s'est déroulée en deux étapes, la première revue de la littérature sur des exemples de techniques pouvant être considérées comme des géotechnologies; et la seconde analyse et quantification des publications dans les annales des 10 dernières années du Symposium National de Géomorphologie (SINAGEO), obtenant ainsi un aperçu de la plus grande base de données des travaux sur le thème réalisés au Brésil. Il est souligné que le chercheur doit tenir compte de l'échelle d'analyse adoptée pour utiliser les géotechnologies, car une mauvaise utilisation ou corrélation peut compromettre les résultats et même les invalider. Cela semble être la voie à suivre, la géographie, la géologie et la géomorphologie brésiliennes faisant partie de ce mouvement, contribuant à l'avancement de la science.

Mots clés: géotechnologies. Géomorphologie brésilienne. Approche scalaire.

INTRODUÇÃO

A produção do conhecimento científico está diretamente relacionada com o desenvolvimento de técnicas e habilidades, as quais vem se tornando cada vez mais robustas e refinadas com avanços tecnológicos. No âmbito da Geomorfologia brasileira, as complexidades e intensidades dos processos responsáveis pelas configurações do relevo, vem sendo tema de investigações desde longa data, contribuindo para avanços metodológicos, significativos sobre a temática (SILVEIRA, 1950, 1964; AZEVEDO, 1964; MUEHE, 1998; AB'SABER, 2007; FERNANDEZ *et al.*, 2017; PEREZ FILHO; RUBIRA, 2018; SOUZA; PEREZ FILHO, 2019; LÄMMLE; BULHÕES, 2019; MOREIRA; PEREZ FILHO, 2020; SOUZA *et al.*, 2020; MONTEIRO; CORRÊA, 2020, RABELO *et al.*, 2020), dentre outros. Deste modo, o arcabouço e imbricamento de novas técnicas e metodologias vem se tornando cada vez mais amplo, fato que passa a exigir mais do pesquisador e ao mesmo tempo pode permitir maior compreensão e validação de seus resultados.

Ao longo do desenvolvimento dos estudos geomorfológicos e criação de novas tecnologias, destaca-se o avanço da informática e consequentemente dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), amplamente utilizados nas mais diversas áreas do conhecimento, com destaque para a Geomorfologia, Geografia e Geologia. Tais avanços foram de grande relevância, pois, dentre outros fatores, transformou grande quantidade de material físico em digital, facilitando o acesso, manipulação e obtendo maior precisão na análise das organizações espaciais dos fenômenos.

Diversos estudos vêm sendo realizados utilizando o termo Geotecnologias (BOLES *et al.*, 2004; ARRUDA JUNIOR *et al.*; 2010; ZHANG *et al.*, 2015, CORREIA *et al.*, 2016; MARCHESINI *et al.*, 2017; SOUZA *et al.*, 2018; COSTA *et al.*, 2018), entretanto, percebe-se uma limitação conceitual direcionada apenas para plataformas digitais SIG'S, relacionados majoritariamente a *softwares* de geoprocessamento ou processamento digital de imagens. Contudo, percebe-se a emergência de torná-lo mais amplo, tendo em vista o constante avanço de técnicas e equipamentos inovadores, que podem ser apropriados com êxito nos estudos geomorfológicos, desconstruindo a perspectiva apenas do ambiente SIG e abordando geotecnologias como ampla gama de possibilidades, trazendo à tona interpretações mais literais do conceito. Assim, compreende-se por Geotecnologias, o conjunto de técnicas utilizadas para obtenção de dados de determinado local geográfico, com o objetivo de processar e analisá-los em função de uma hipótese proposta.

Diante desta proposta, o presente trabalho tem como objetivo abordar, algumas, das diferentes possibilidades do uso de Geotecnologias, que vem sendo utilizadas com frequência e êxito cada vez maior; e fomentar o debate em torno das mesmas, propondo geotecnologias como abordagem mais ampla, dando ao pesquisador autonomia de escolha, de acordo com a escala trabalhada.

Apresenta-se neste trabalho as seguintes técnicas como exemplo de abordagem Geotecnológica: Luminescência Óptica Estimulada (LOE), utilizada para realizar datações absolutas; Isótopos cosmogênicos utilizados principalmente para aferir taxas de erosão; *Ground Penetrating Radar* (GPR), radar de subsuperfície, que, dentre outras possibilidades, é capaz de representar o tipo de material em diferentes profundidades; Eletrorresistividade (ER) e Polarização induzida (IP), que consistem na investigação geolétrica de aspectos subsuperficiais; e análise de Fitólitos, capaz de identificar microfragmentos de vegetações pretéritas importante para a reconstrução paleoambiental.

MATERIAIS E MÉTODOS

A abordagem metodológica do trabalho ocorreu em duas etapas, sendo a primeira, revisão de literatura, referente as técnicas aqui exemplificadas de acordo com o potencial e recorrência das mesmas no âmbito da geomorfologia brasileira. Posteriormente, foi realizada análise e quantificação de publicações de anais dos últimos 10 anos do Simpósio Nacional de Geomorfologia (SINAGEO), considerado o principal evento na área da Geomorfologia, promovido pela União da Geomorfologia Brasileira (UGB). Nesse sentido, a partir deste critério, foram contemplados anais correspondentes às últimas cinco edições que ocorreram nas seguintes localidades: Recife/PE, Rio de Janeiro/RJ, Manaus/AM, Maringá/PR, Crato/CE.

Deste modo, foram criados três grupos baseados na presença de determinados termos associados à temática, sendo o primeiro identificando quantas vezes a palavra “Geotecnologias” aparece em títulos e palavras-chave dos referidos anais, independentemente de como foi interpretado; o segundo grupo foram identificados os termos: Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto, SRTM, Fotointerpretação, Sistema de Informação Geográfica (SIG), Imagens Orbitais/Não Orbitais, Modelo Digital de Elevação e Modelo Digital de Terreno; enquanto no terceiro selecionou-se os termos: Luminescência Ópticamente Estimulada (LOE), Isótopos Cosmogênicos, ¹⁰Berílio, Fitólitos, C14, Palinologia, GPR, Difratorômetro de raios x (DRX), Microscopia eletrônica de varredura (MEV), Palinologia e Geocronologia.

GEOTECNOLOGIAS E POSSIBILIDADES DE APLICAÇÕES

Luminescência Ópticamente Estimulada - LOE

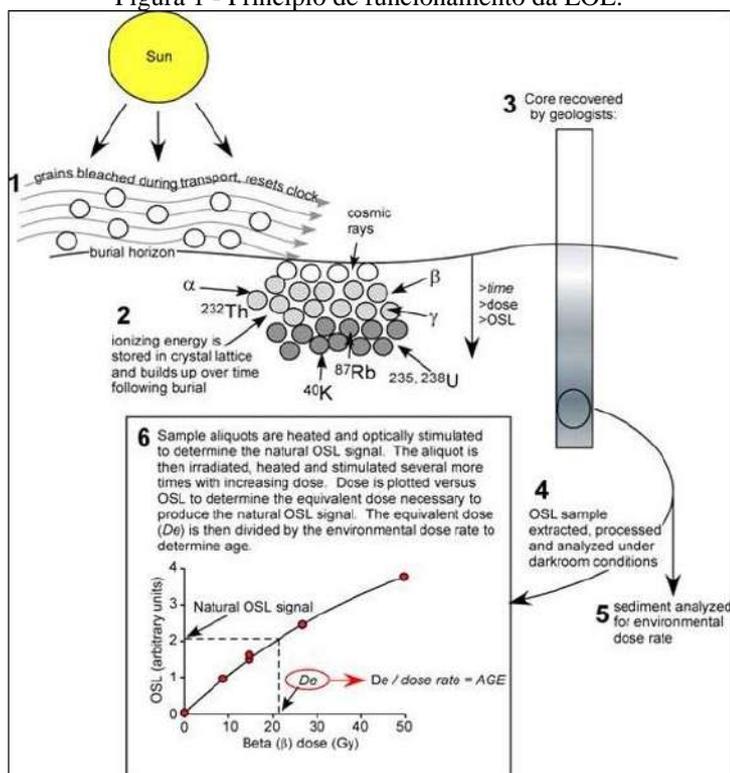
A LOE explora a luminescência inerente aos sólidos cristalinos (minerais quartzo e feldspato) encontrados em depósitos sedimentares. A abrangência temporal desta técnica vai de 100 antes do presente (A.P.) até 1Ma dependendo dos níveis de saturação do material analisado (AITKEN, 1998; WAGNER, 1998). Nesse sentido, a LOE é baseada numa gama de técnicas que levam em consideração o acúmulo de cargas radioativas produzidas por uma população de elétrons aprisionados em minerais cristalinos. A técnica estabelece, potencialmente, a última exposição dos sedimentos à luz do sol (SILVA, 2007), tendo sido desenvolvida significativamente no início da década de 1980 com as contribuições propostas por Huntley *et al.* (1985). Assim, pode ser utilizada nos depósitos sedimentares quaternários relacionados a eventos climáticos de diferentes magnitudes e eventos tectônicos.

De maneira geral, tal geotecnologia funciona da seguinte forma (figura 1): a energia empregada para a liberação dos elétrons proveniente da luz solar antes desses minerais serem recobertos por um novo evento deposicional, estabelece o tempo desde que a população aprisionada de elétrons foi liberada pela última vez. Esta liberação que produz um decaimento radioativo é mensurada através de sinais luminosos. Após soterrados, os elétrons presentes nos minerais retornam ao seu estado de base a partir de atrações de carga negativa dentro da unidade

do cristal, possibilitando a população de elétrons ser novamente aprisionada. Através da incidência de novos sinais luminosos é possível identificar a quantidade de elétrons aprisionados e estimar o período de última estabilização.

Neste contexto, liberação desses elétrons por estímulo luminoso reduz o sinal de LOE a zero. Quando os grãos são soterrados e conseqüentemente permanecem fora do alcance da luz solar, os elétrons começam a ser aprisionados novamente, ocorrendo um acúmulo de energia, por efeito da radiação ionizante emitida pelo decaimento de radioisótopos contidos no próprio depósito (MELLO, 2008). Uma parte desta radioatividade natural se origina dentro dos próprios grãos (radiação beta), mas a dose de radiação é oriunda, principalmente, do depósito em si (radiação gama).

Figura 1 - Princípio de funcionamento da LOE.



Fonte: Mallinson (2008).

Se o fluxo de radiação ionizante for constante, então o tempo de soterramento pode ser determinado pela medição da dose armazenada nos grãos, dividido pelo fluxo da radiação ionizante ambiental (dose ambiental). Sendo a fórmula para a sua medição expressada pela seguinte maneira:

$$\text{Idade} = \text{Paleodose} / \text{Dose Ambiental}$$

Onde: a paleodose também é conhecida como dose equivalente (ED), e corresponde à radiação ionizante de decaimento dos isótopos de urânio, tório e potássio, havendo também uma contribuição menor de radiação cósmica, a qual o material esteve exposto. Assim, a dose ambiental corresponde a taxa com que a amostra foi exposta a radiação ionizante, e, portanto, a taxa pela qual a população de elétrons foi acumulada.

Quando o intervalo de tempo considerado for igual há um ano, esta taxa é definida como “Dose anual”, sendo calculada a partir do equilíbrio radioativo do composto urânio e tório. A

contribuição dos raios cósmicos é estimada de acordo com a profundidade do material, altitude e latitude da área amostrada. O cálculo dessa dose anual é mais complexo em virtude de fatores externos como o intemperismo químico, de maneira que, a sua fórmula final, pode ser expressa da seguinte forma:

$$D_a = 0,92 (D_\beta) / 1 + 1,25 H_2O + D_x / 1 + 1,14 H_2O + D_c + D_\beta$$

Onde: D_a (dose anual); D_β (dose de radiação beta); D_c (dose de radiação cósmica); $D_\beta i$ (dose de radiação beta interna oriunda do K40 para as amostras e K – feldspato e H₂O (teor de água da amostra, expresso de 0 a 1). A viabilidade da datação é avaliada segundo Clarke (1999), nos sedimentos que sofreram um “zeramento” adequado do sinal de luminescência durante o transporte, e exibirão uma dose acumulada de radiação similar, desde que o material tenha uma sensibilidade homogênea, à radiação ambiental ionizante, confirmando desta forma a melhor adequação do método LOE para a datação de coberturas superficiais (MELLO, 2008).

Dentre as inúmeras possibilidades de aplicações, é possível destacar, por exemplo: obtenção de idades absolutas em colúvios; terraços fluviais, fluviomarinhos e marinhos; dentre outros, considerando-os como indicadores geomorfológicos de oscilações climáticas em diferentes escalas temporais, assim como, eventos de transgressões e regressões marinhas, contribuindo para realização de modelos e simulações com maior precisão.

Isótopos Cosmogênicos

Os isótopos cosmogênicos são resultantes da interação entre a radiação cósmica e elementos químicos que compõe a atmosfera, assim como em elementos que ocorrem nos primeiros metros da superfície terrestre. De acordo com Laureano *et al.* (2014), como produto desta relação, são geradas partículas secundárias que desencadeiam a formação de núclídeos cosmogênicos na superfície e subsuperfície, que podem se apresentar de forma estável (³He, ²¹Ne) ou na forma radioativa (¹⁰Be, ¹⁴C, ²⁶Al e ³⁶Cl) que possuem decaimento de meia vida.

Gomes *et al.* (2018) descreve que os núclídeos cosmogênicos terrenos são produzidos na superfície das rochas, solos e sedimentos, pela interação de raios cósmicos secundários com o núcleo dos átomos presentes em minerais, amplamente disponíveis na superfície terrestre como: feldspato, olivina e quartzo. A mensuração da razão isotópica presente nos minerais descritos, consiste na sua utilidade prática para a geomorfologia, sendo os processos de formação do relevo o principal aliado nas interpretações. Desta forma, a distribuição/concentração destes elementos durante seu transporte, conforme maior ou menor exposição à radiação, define sua composição no que diz respeito aos núclídeos cosmogênicos.

Dentre as possíveis aplicações dos isótopos cosmogênicos na geomorfologia Salgado (2008) destaca: Determinação de taxa de erosão em bacias hidrográficas; quantificação e mensuração de intensidade de episódios neotectônicos; determinação da origem de *stone-lines*; avanço e recuo de glaciares; taxas de erosão em áreas áridas e semi-áridas; datação de depósitos aluvionares; mensuração de processos erosivos diferenciais; e determinação da paleoexistência de colúvios já erodidos. Destaca-se a utilização do ¹⁰Be como isótopo cosmogênico de maior meia vida em minerais de quartzo, sendo utilizado em pesquisas pretéritas por Braucher *et al.* (2000); Pallàs *et al.* (2006); Salgado *et al.* (2007).

Os isótopos cosmogênicos de ¹⁰Be abarcam um período importante no espectro das técnicas geocronológicas, pois está circunscrito ao intervalo de tempo entre 100 mil anos a 5 milhões de A.P., abrangendo períodos que técnicas como LOE e datação por C¹⁴ não estão disponíveis (LAUREANO *et al.*, 2014).

A aplicação desta importante geotecnologia é complexa desde a coleta e preparação de amostras, até o uso de espectrometria por acelerador de massas para obtenção das idades e taxas, o que acaba exigindo amplo conhecimento dos processos físicos e mão de obra especializada. Dunai (2010) apresenta com maior detalhe os passos necessários para obtenção e aplicação do método envolvendo os isótopos cosmogênicos nas ciências da terra, ampliando as discussões aqui iniciadas.

Ground Penetrating Radar (GPR)

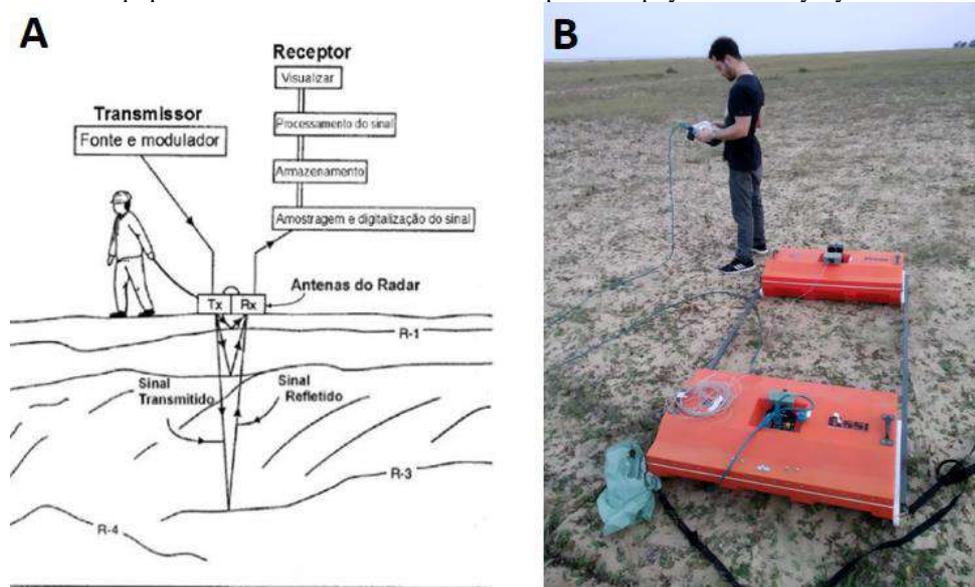
O GPR (*Ground Penetrating Radar*), conhecido também como Georadar, é uma técnica de imageamento de alta resolução, baseada na propagação e reflexão de ondas eletromagnéticas de rádio em frequências muito altas (normalmente entre 10 – 1000 MHz). Esta técnica é utilizada para localizar estruturas e feições geológicas em subsuperfície (Davis e Annan, 1989), possibilitando a discriminação detalhada da arquitetura deposicional de um determinado depósito. Considerando investigações de coberturas superficiais em terrenos predominantemente arenosos, o levantamento GPR possui resultados satisfatórios, sobretudo quando realizado através do arranjo em Perfilagem de Reflexão, a qual constitui-se na coleta dos dados utilizando o transmissor e a antena (PORSANI, 1999).

Os constituintes básicos e princípios do equipamento são apresentados na figura 2A. A fonte geradora produz um pulso de curta duração e alta voltagem, que é aplicado na antena transmissora, emitindo a onda eletromagnética para o subsolo, tendo parte da onda é refletida quando existir contraste de propriedades físicas.

Reynolds (1997) destaca que a antena receptora detecta este sinal refletido, que é amostrado, digitalizado e armazenado, sendo posteriormente gravado a amplitude do sinal em função do seu tempo de percurso, tempo que a onda eletromagnética leva desde a saída da antena transmissora até ser detectada na antena receptora. Assim, o dado armazenado é posteriormente processado e visualizado na unidade de CPU (*Central Processing Unit*), objetivando corrigir o posicionamento temporal e espacial dos refletores, tal como o eliminar ruídos melhorando a resolução, gerando “Radargramas” nos quais se realiza a identificação fácies, ou seja, feições nos refletores que descrevem como o sinal se propagou no meio, tanto ao longo do perfil quanto em profundidade. Obtidas as seções, analisa-se os dados e se extrai partes das seções obtidas. Na figura 2B é possível ver exemplo de utilização em terraço marinho.

Em estudos geomorfológicos, o objetivo na utilização de tal técnica pode ser um complemento importante, possibilitando identificar, por exemplo, estruturas sedimentológicas que subsidiam o refinamento e validação na interpretação do resultado de um determinado estudo. Em coberturas superficiais, é possível indicar o sentido das linearidades deposicionais e associá-las ao tipo de estratificação, que vai indicar um ou outro tipo de processo deposicional. Sendo assim, em uma área de estudo, ao espacializar os locais em trabalho de campo para utilização do equipamento, permiti identificar, dentre outras características, o tipo de estratificação predominante, correlacionando-as com o tipo de processo atuante em determinada área.

Figura 2 - A: Constituintes básicos de um sistema de GPR (REYNOLDS, 1997). B: exemplo de obtenção de dados com o equipamento modelo SIR3000 fabricado pela Geophysical Survey Systems Inc - GSSI.



Fonte: Laboratório de Geomorfologia IG/Unicamp (2020).

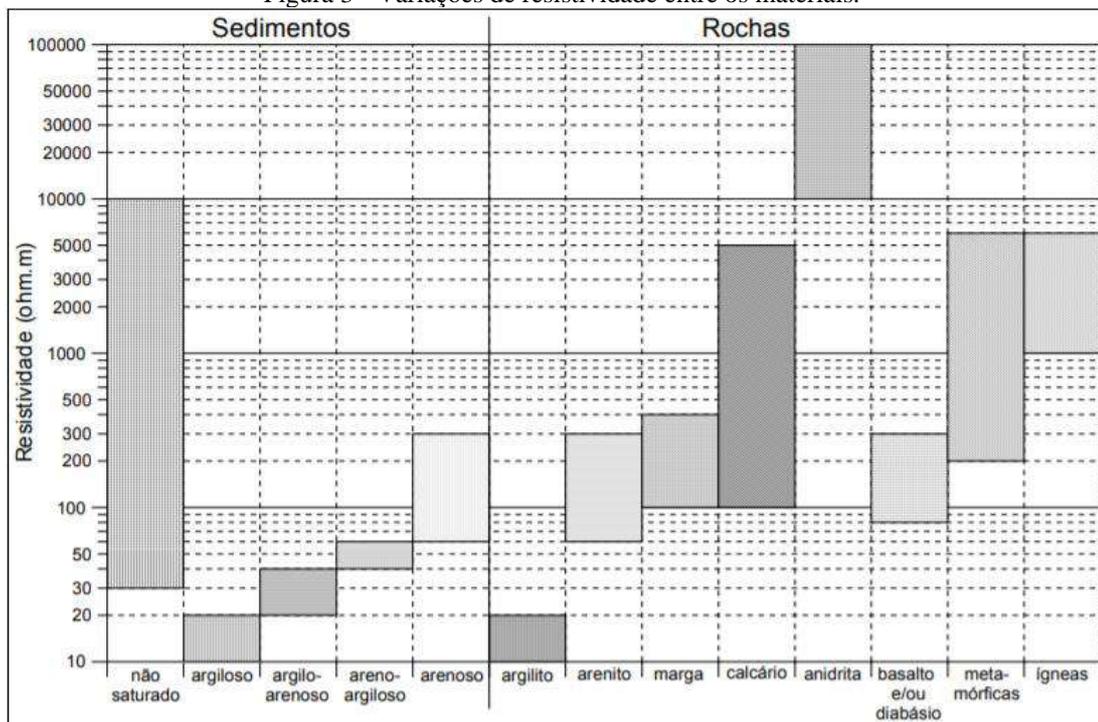
Eletrorresistividade (ER) e Polarização Induzida (IP)

A eletrorresistividade consiste na investigação de aspectos geofísicos subsuperficiais e é baseado na determinação da resistividade elétrica dos materiais, que juntamente com a constante elétrica e a permeabilidade magnética, irão reproduzir as propriedades eletromagnéticas da rocha e das coberturas superficiais. Sendo assim, de acordo com Braga (2006), com a utilização desta técnica, os diferentes materiais presentes na subsuperfície apresentam o parâmetro da resistividade elétrica, o qual irá refletir nas características dos materiais em investigação, possibilitando caracterizar, por exemplo, aspectos relacionados as coberturas superficiais, litologia, saturações diversas, estrutura, conteúdo de fluidos e outros.

A resistividade elétrica das rochas é importante, pois faz parte do arcabouço de outras propriedades e fenômenos, como a polarização elétrica induzida (IP), que é produzida no meio geológico após acionamento e interrupção da corrente elétrica injetada. Percebe-se neste procedimento que, ao desligar a corrente, o potencial não decai instantaneamente. Essas variações na voltagem no decorrer do tempo ou da frequência representa a medida da polarização induzida (SANTOS, 2012). Destaca-se que, diferente de outras técnicas (de datações por exemplo), para aferições geoeletricas não é necessário retirar material do terreno, o que se torna um ponto positivo em estudos geomorfológicos e ambientais em geral, tendo em vista algumas limitações de acesso em determinadas áreas.

Sumner (1976) sublinha que os minerais são consideravelmente consistentes em suas características elétricas, entretanto, de maneira agregada (como encontrada na natureza), há uma significativa variação de resistividade. Sendo assim, como relata Braga (2006), um mesmo tipo litológico pode apresentar ampla variação de valores de resistividade (figura 3), necessitando de calibração e execução cuidadosa para extração de medidas.

Figura 3 - Variações de resistividade entre os materiais.

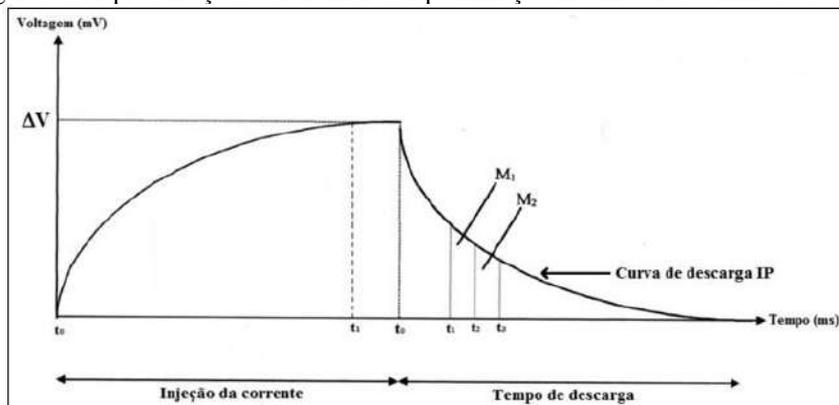


Fonte: Braga (2006). Adaptação: Autores (2020).

Iakubovskii e Liajov (1980) ressaltam que vários fatores influenciam uma corrente elétrica em determinada rocha. Já em relação à resistividade de sedimentos, Draskovits *et al.* (1990) ressaltam a correlação geológica-geoelétrica obtida por meio da técnica da sondagem elétrica vertical, apresentando a resposta da Polarização elétrica induzida de acordo com a granulometria dos materiais.

A polarização induzida é detectada quando a corrente elétrica ao ser injetada na crosta estabelece no meio geológico uma diferença de potencial primária. No momento em que a corrente é interrompida, ocorre uma tensão que não zera de imediato, mas descreve uma curva de descarga contínua em um determinado intervalo de tempo. A amplitude desta curva de descarga determina a magnitude da polarização contida no meio geológico onde o método foi utilizado. Esta curva pode ser analisada em sua totalidade ou em intervalos de tempo (figura 4) (DRASKOVITS & LASZLO, 2005; SANTOS, 2012).

Figura 4 - Representação do fenômeno da polarização induzida no domínio do tempo.

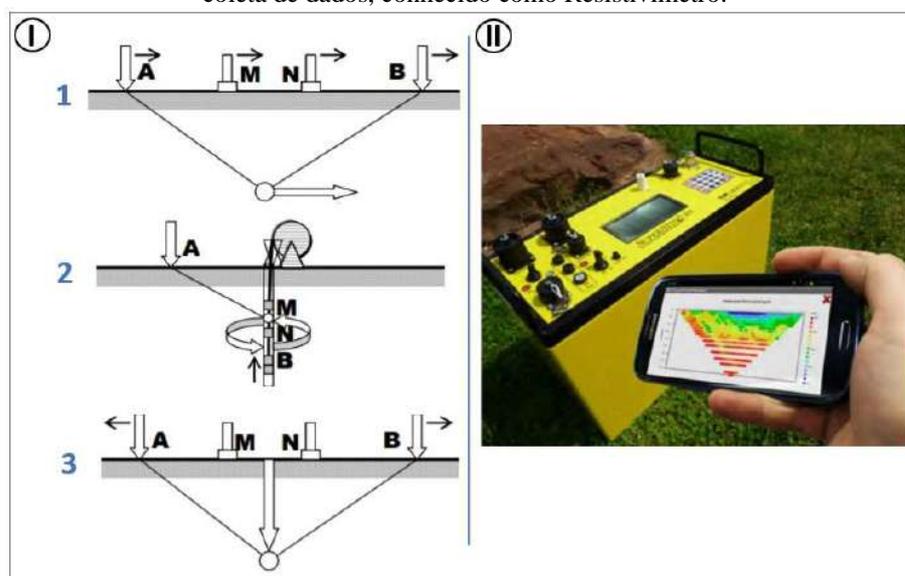


Fonte: Santos (2012). Adaptação: Autores (2020).

Para aquisição de dados de eletroresistividade e polarização elétrica induzida em campo, assim como outros dados Geoelétricos, utiliza-se aparelho conhecido como Resistivímetro, (figura 5-II). Silva (2018) destaca que é induzida uma corrente elétrica que pode ser contínua ou alternada, de baixa frequência (inferior a 10 Hz), agregada no terreno por meio de um ou mais pares de eletrodos posicionados na superfície, redistribuindo, então, as cargas elétricas superficiais e volumétricas, que contribuem para formar e sustentar um campo elétrico artificial em uma determinada área em torno dos eletrodos e permitindo aferir a diferença potencial entre os pontos distribuídos.

De acordo com Braga (2006, p. 28) “as técnicas de ensaios dos métodos Geoelétricos, podem ser de três tipos principais: caminhamentos, perfilagens e sondagens”, as quais, agregadas, permitem investigar faixas verticais e laterais em subsuperfície, sendo apresentadas na figura 5-I a seguir:

Figura 5 - I:Técnicas de campo mais utilizadas para ensaios geofísicos dos métodos geoelétricos. 1: Caminhamento elétrico; 2: Perfilagem elétrica; 3: Sondagem elétrica. II: Exemplo de equipamento utilizado para coleta de dados, conhecido como Resistivímetro.



Fonte: I - Braga (2006). II - Alpha Geofísica (2020) Modelo: SuperSting. Adaptação: Autores (2020)

A técnica do caminhamento elétrico ou investigação lateral, consiste em Investigações laterais das variações de parâmetros geoelétricos, a uma ou mais profundidades fixas efetuadas na superfície do terreno; a perfilagem elétrica ou investigação in situ, são investigações laterais e em profundidade das variações destes parâmetros, efetuadas no interior de furos de sondagens mecânicas; a sondagem elétrica consiste na investigação das variações de parâmetros geoelétricos com a profundidade, efetuadas na superfície do terreno a partir de um ponto fixo (BRAGA, 2006). Segundo Ward (1990), os métodos elétricos permitem realização de modelo após o processamento dos dados obtidos em uma área estudada, entretanto Braga (2007) afirma que para efetuar uma correlação adequada em determinada área de estudo, é fundamental entender aspectos da localização geográfica e litologia local em termos estratigráficos.

Análise de Fitólitos

Fitólitos consistem em micro partículas de sílica hidratada ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) que são formadas no interior das plantas durante seu crescimento (PIPERNO, 2006). Logo após a morte do vegetal ocorre o processo de decomposição, permitindo incorporação dos fitólitos às coberturas

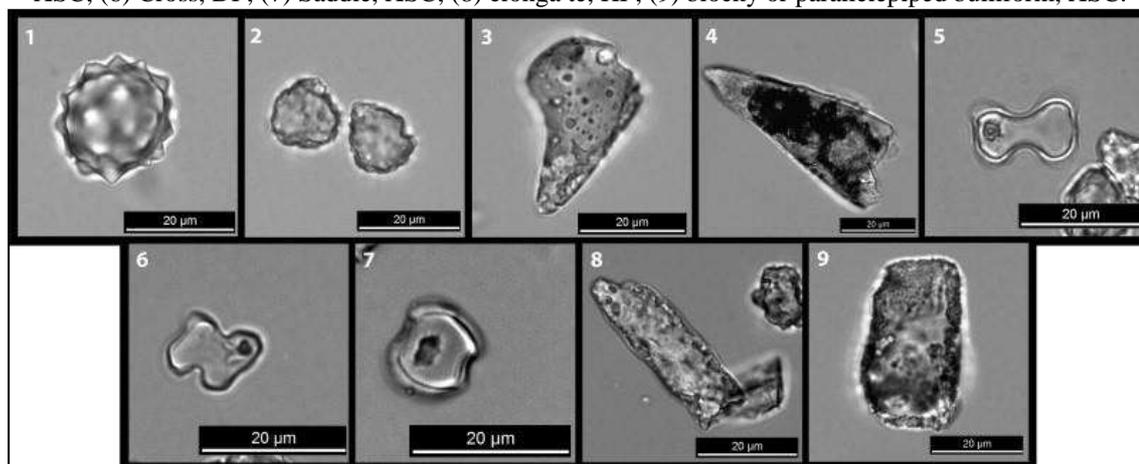
superficiais, sendo preservadas em meio geoquímico oxidante ao longo do tempo, o que não ocorre com outros proxy's de vegetação. De acordo com Paisani *et al.* (2016) estas partículas apresentam tamanhos variados entre 0,10 a 0,002 mm, equivalentes as frações granulométricas areia muito fina e silte.

A origem e fases de desenvolvimento de fitólitos nos vegetais, podem estar relacionados a vários fatores, incluindo: tipo de solo; idade da planta; ambiente climático de crescimento; quantidade de água no solo e, o mais relevante para este tipo de análise, afinidade taxonômica para a produção de fitólitos. As razões da produção de fitólitos pelas plantas também são poucos conhecidas, porém, Luz *et al.* (2015) destaca ao menos quatro possibilidades: Oferecer suporte mecânico para a estrutura das células; dar suporte aos órgãos e estruturas da planta; proteger a planta de herbívoros e parasitas; e neutralizar ânions e cátions nocivos ao desenvolvimento das plantas. (MADELLA, 2005)

Existem alguns protocolos que são utilizados para extração de fitólitos após a coleta das amostras da cobertura superficial em campo, destaca-se Alvarez *et al.* (2005) e Calegari *et al.* (2013). Por meio destes protocolos é indicada a seleção de cerca de 5g de material previamente desagregado em água, posteriormente promove-se a queima de matéria orgânica com peróxido de hidrogênio (H₂O₂ 35%), remoção de óxihidróxido de ferro e alumínio com ditionito (Na₂S₂O₄), retirada da fração argila com hexametáfosfato de sódio (Na₆PO₃), tamponado com carbonato de cálcio (Na₂CO₃), e por fim, extração dos fitólitos utilizando-se metatungstato de sódio (Na₆O₃₉W₁₂), (PAISANI, 2016).

Após a realização dos procedimentos acima citados, são confeccionadas lâminas para contagem e classificação de fitólitos em microscópio óptico, e posteriormente, são realizados os índices interpretativos. Desta maneira é possível identificar um conjunto de fitólitos (assembleia fitolítica) por meio do estudo da morfologia destas partículas, caracterizando uma formação vegetal pretérita, utilizando catálogos e atlas para auxílio interpretativo da taxonomia dos mesmos segundo Coe *et al.* (2014) e Piperno (2006). A figura 6 apresenta os principais fitotipos identificados por Coe *et al.* (2013) em assembleia de fitólitos na região costeira de Cabo Frio-RJ.

Figura 6 - Principais tipos de fitólitos observados em perfil na região costeira de Cabo Frio-RJ. 1) Globular echinate, XSC; (2) Globular granulate (DF); (3) Cuneiform bulliform, HF; (4) Acicular, XSC; (5) Bilobate, XSC; (6) Cross, DF; (7) Saddle, XSC; (8) elongate, HF; (9) blocky or parallelepiped bulliform, XSC.



Fonte: Coe *et al.* (2013).

Por meio das premissas apresentadas, os fitólitos são considerados muito eficazes nos estudos de reconstituição paleoambiental do Quaternário, principalmente quando são depositados *in situ* e não sofreram processos de transporte (PAROLIN *et al.*, 2017). A

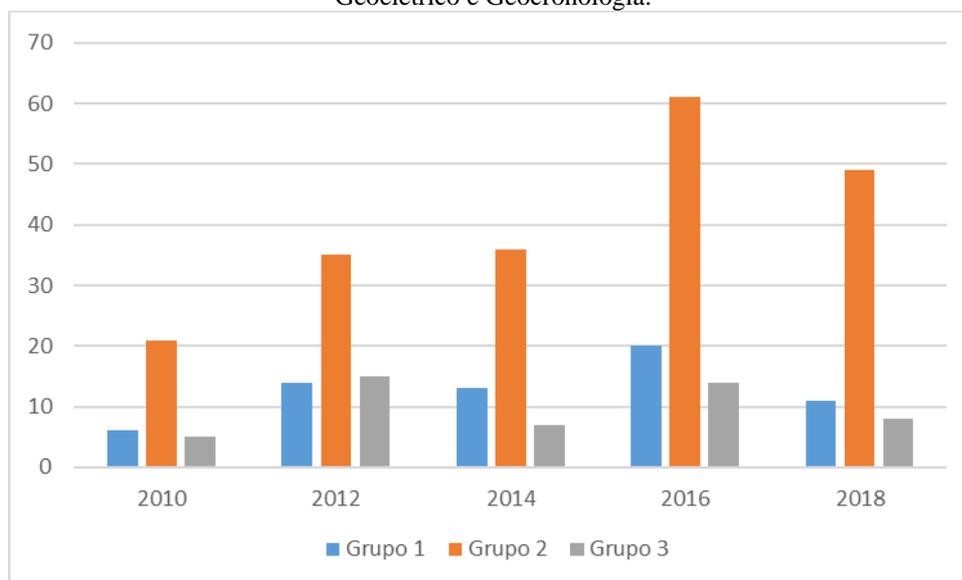
associação desta técnica com os estudos de geomorfologia, sedimentologia, pedologia e geocronologia por LOE ou C₁₄, aprimora os resultados obtidos, pois é possível associar diversas características paleoambientais/paleoclimáticas, correlacionando-as à idade de deposição do material.

O USO DAS GEOTECNOLOGIAS NO SINAGEO

Geotecnologias sempre estiveram presentes nas pesquisas geomorfológicas, sendo amplamente debatidas em eventos ou congressos da área, tendo representatividade nas publicações nacionais e internacionais com amplo espectro. Sendo assim, no recorte analisado para interpretar o uso das geotecnologias no SINAGEO, últimos dez anos, o termo geotecnologias aparece nos títulos e palavras-chave de todas as edições, possuindo recorrência em vários eixos temáticos, tendo suas métricas representadas na figura 7, pelo Grupo 1.

Observando os anais do SINAGEO, verificou-se que o termo geotecnologias, somente passou a ser considerado eixo temático a partir da edição de 2006, incluído juntamente com os trabalhos de mapeamento geomorfológico, possuindo estreita relação com SIG's e Sensoriamento Remoto. A partir de 2010, o eixo temático "Geocronologia e Geomorfologia do Quaternário" aparece como novidade, agrupando outro conjunto de técnicas, que até então apareciam em eixos distintos. Deste modo, fica evidente a correlação entre os eixos descritos e técnicas agrupadas, estabelecendo duas frentes de pesquisas em geotecnologias no SINAGEO, representadas pelos Grupos 2 e 3 respectivamente na figura 7.

Figura 7 - A representatividade das geotecnologias no SINAGEO. Grupo 1: Geotecnologias; Grupo 2: Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto, SRTM, Fotointerpretação, Sistema de Informação Geográfica (SIG), Imagens Orbitais/Não Orbitais, Modelo Digital de Elevação e Modelo Digital de Terreno; Grupo 3: Luminescência Opticamente Estimulada (LOE), Isótopos Cosmogênicos, Berílio, Fitólitos, C₁₄, Palinologia, GPR, Difratorômetro de raios x (DRX), Microscopia eletrônica de varredura (MEV), Palinologia, Método Geométrico e Geocronologia.



Fonte: UGB, 2020. Adaptação: Autores (2020).

10

Os Grupos 2 e 3 representam quanto algumas geotecnologias estão mais difundidas e são mais debatidas em detrimento de outras na geomorfologia, devido a fatores financeiros, formação especializada, aporte técnico de outras áreas, infraestrutura para pesquisa, dentre

outros, que são menos demandados pelas técnicas do Grupo 2, refletindo na maior quantidade de trabalhos apresentados no SINAGEO. Assim as geotecnologias do Grupo 3, são consideradas ainda emergentes na geomorfologia, necessitando maior divulgação e incentivo, pois possui maior potencial de crescimento em relação as técnicas do Grupo 2, consolidadas neste meio, fomentando ainda mais os debates tecnológicos e associações com outras áreas da ciência.

A tendência de crescimento em publicações que envolvem geotecnologias no SINAGEO (com exceção a 2018, onde ocorreu pequena redução do crescimento devido a menor quantidade de trabalho submetidos ao evento em relação a 2016) demonstra o crescente interesse na temática, que pode ser melhor explorada com a ampliação do conceito de geotecnologias proposto neste trabalho.

ABORDAGEM ESCALAR NAS GEOTECNOLOGIAS

Para aplicação das geotecnologias mencionadas neste trabalho, assim como no contexto mais amplo, é necessário levar em consideração a escala a ser utilizada para alcançar determinado objetivo. Nesse sentido, Ab'Sáber (1969) propõe três níveis escalares tradicionais da abordagem geomorfológica, sendo: Compartimentação do relevo; Estrutura superficial da paisagem e Morfodinâmica.

No primeiro nível, o autor destaca que a Geomorfologia se refere a análise do relevo regional, visando à compartimentação do mesmo, com enfoque genético e evolutivo, devendo considerar as características e descrição das formas em maior período temporal na escala da natureza. No segundo nível, busca-se informações sistemáticas sobre a estrutura superficial das paisagens, que expliquem os referidos compartimentos e formas de relevo, mediante o estudo das possíveis coberturas superficiais. O terceiro nível, entendido como mais recente, propõe o reconhecimento dos processos morfoclimáticos e pedogenéticos. Sendo assim, busca-se compreender a fisiologia da paisagem por meio da dinâmica climática, visando processos, com enfoque dinâmico, incluído também o homem nas suas análises (AB'SÁBER, 1969).

Diante dessa abordagem, a escolha da técnica a ser utilizada sobretudo nos estudos geomorfológicos, mas também em outras áreas do conhecimento, deve possuir escala de análise bem definida, uma vez que a correlação indevida da geotecnologia utilizada com a escala de análise para atingir um determinado objetivo, pode comprometer os resultados da pesquisa. Por outro lado, a pertinência da escolha da técnica com a abordagem escalar adequada, pode oferecer resultados suficientes para validação de uma hipótese. Nesse contexto, em caso de utilização de geotecnologias em trabalho de campo, por exemplo, é fundamental um planejamento anterior adequado, no sentido de não invalidar dados obtidos. Já em trabalhos que não demandam atividade de campo, devem possuir um planejamento coerente em gabinete para execução das etapas desejadas, usando geotecnologias baseadas no Grupo 2, para melhor acurácia.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conceito de Geotecnologias abordadas neste trabalho são exemplos de um universo de possibilidades de aplicação na Geomorfologia, sendo amplas em razão da quantidade de inovações tecnológicas que vem sendo atualmente desenvolvidas. A utilização das geotecnologias proporciona maior integração entre as áreas do conhecimento, pois não há exclusividade de técnicas para uma determinada disciplina, mas sim, possibilidades de aplicações a partir de um determinado objeto de estudo. Neste sentido, observa-se que existe maior tendência de colaboração entre pesquisadores, universidades e centros de pesquisa para

melhor aproveitamento das técnicas disponíveis e criação de outras, com finalidade de proporcionar maior troca de informação e aplicação, sendo comum a formação de grupos multidisciplinares, corroborando para o avanço do conhecimento científico no âmbito da geomorfologia.

Atualmente os órgãos de fomento, empresas, classe gestora/política, dentre outros grupos da sociedade, demandam inovações e novos caminhos de investigação, visando responder hipóteses e buscando avançar, por meio do uso das geotecnologias, novas fronteiras do conhecimento. Este parece ser o caminho a seguir, sendo a Geografia, Geomorfologia e a Geologia brasileira parte desse movimento, tendo muito a contribuir para o avanço da ciência.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. **Brasil, paisagens de exceção: o litoral e o Pantanal Mato-grossense patrimônios básicos**. Cotia, SP: Ateliê Editorial, 2007.

AB'SABER, Aziz Nacib. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 18, p. 1-23, 1969.

AITKEN, M.J. **An introduction to optical dating**. Oxford university press, oxford. 1998.

ALPHA GEOFISICA. **Resistivimento**. Disponível em:
<https://www.alphageofisica.com.br/produtos.html>. Acessado em: 05 jul. 2020.

ALVAREZ, M.F.; BORRELLI, N.; OSTERRIETH, M. Extracción de silicobiólitos em distintos sedimentos utilizando dos técnicas básicas. **The phytolitharien Bulletin of the Society for Phytolith Research**, v.17, n.2, p.1-8, 2005.

ARRUDA JUNIOR, E. R. DE; SEOANE, J. C. S.; MENEZES, P. M. L. DE.
GEOTECNOLOGIAS PORTÁTEIS E PRODUTOS GRATUITOS OU DE BAIXO CUSTO NO AUXÍLIO AO MAPEAMENTO. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 62, 11.

AZEVEDO, A. **Brasil: a terra e o homem**. Cia Editora Nacional, São Paulo. Vol. 1. p. 253-305, 1964.

BOLES, S.; XIAO, X.; ZHANG, Q.; MUNKHUTYA, S.; LIU, J.; OJIMA, D. S. Land cover characterization of Temperate East Asia: using multi-temporal image data of vegetation sensor. **Remote Sensing of Environment**, v. 90, p. 477-489, 2004.

BRAGA, A. C. O. **Geofísica Aplicada Módulo: Métodos Geométricos Aplicados nos Estudos de Captação e Contaminação das águas Subterrâneas** (Material didático – Apostila). Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2007.

BRAGA, A. C. O. **Métodos da Eletrorresistividade e Polarização Induzida Aplicados nos Estudos da Captação e Contaminação de Águas Subterrâneas: uma Abordagem Metodológica e Prática**, Tese (livre docência), Universidade Estadual Paulista, Rio Claro-SP, Brasil, 2006.

BRAUCHER, R.; BOURLÈS, D. L.; BROWN, E. T.; COLIN, F.; MULLER, J. P.; BRAUN, J. J.; DELAUNE, M.; MINKO, E.; LESCOUET, C.; RAISEBECK, G. M.; YIOU, F.

Application of in situ produced cosmogenic ^{10}Be and ^{26}Al to the study of lateritic soil development in tropical forest: theory and examples from Cameroon and Gabon. **Chemical Geology**, v.170, p. 95-111, 2000.

CALEGARI, M.R.; MADELLA, M.; VIDAL-TORRADO, P.; OTERO, X.L.; MACIAS, F.; OSTERRIETH, M. Opal phytolith extraction in oxisols. **Quaternary International**, v.287, p.56-62, 2013.

COE, H. E. G.; ALEXANDRE, A.; CARVALHO, C. N.; SANTOS, G. M.; SILVA, A. S.; SOUSA, L.; LEPSCH, I. F. Changes in Holocene tree cover density in Cabo Frio (Rio de Janeiro, Brazil): Evidence from soil phytolith assemblages. **Quaternary International**, v. 287, p. 63-72, 2013.

COE, H. E. G.; OSTERRIETH, M. **Synthesis of some phytolith studies in South America (Brazil and Argentina)**, Botanical Research and Practices. New York: Nova, p.1-26, 2014.

CORREIA, E. F. G.; RIBEIRO, G. P.; BAPTISTA, A. C. Modelagem Hidrológica Da Bacia Hidrográfica Do Rio Bengalas, Nova Friburgo, RJ, Utilizando o Potencial de Geotecnologias na Definição de Áreas de Risco de Inundação. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, n. 6, 17 fev. 2016.

COSTA, C. W.; LORANDI, R.; OLIVEIRA, T. A. DE; DE LOLLO, J. A. Cartografia geomorfológica e a compartimentação das formas do relevo em área de manancial Peri urbano na borda Nordeste da bacia sedimentar do Paraná. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 4, p. 1257-1288, 15 dez. 2018.

DAVIS, J.L.; ANNAN, A.P. Ground penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy. **Geophysical Prospecting**, v.37, 1989.

DRASKOVITS, P., LASZLO, V. **Indication of groundwater contamination with the induced-polarization IP method**. in D. K. Butler, ed., Near-surface geophysics: SEG, Investigations in Geophysics, no. 13, 551–562, 2005.

DRASKOVITS, P.; HOBOT, J.; VERO L, SMITH, B. Induced-polarization surveys applied to evaluation of groundwater resources, Pannonian Basin, Hungary. USA. **Investigations in Geophysics**, nº 4. Induced Polarization Applications and Case Histories. Society of Exploration Geophysicists, Ed. Stanley H. Ward, p. 379–396, 1990.

DUNAI, T.J. **Cosmogenic nuclides: principles, concepts and applications in the Earth Surface Sciences**. Cambridge University Press: Cambridge, 187p., 2010.

FERNANDEZ, G. B.; PEREIRA, T. G.; ROCHA, T. B.; MALUF, V.; MOULTON, M.; OLIVEIRA FILHO, S. R. Classificação Morfológica das dunas costeiras entre o Cabo Frio E o Cabo Búzios, litoral do estado do Rio De Janeiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, p. 595-622, 2017.

GOMES, C. H.; SPERANDIO, D. G.; DESSART, R. L. Nuclídeos cosmogênicos: uma análise sobre um século de pesquisa em Geociências. **Terra Didática**, v.14, n.13, p-207-216, jul/set, 2018.

HUNTLEY, D. J.; GODFREY-SMITH, D. I.; THEWALT, M. L. W. **Optical dating of sediments**. *Nature*, v. 313, n. 5998, p. 105, 1985.

IAKUBOVSKII, I.U.V.; LIAJOV, L.L. **Exploración eléctrica**. Espanha, Editorial Reverté, S.A., 421 p., 1980.

LÄMMLE, L.; BULHÕES, E. M. R. Impactos de obras costeiras na linha de costa: O Caso do Porto do Açú, Município de São João da Barra, RJ. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, v. 13, p. 131-152, 2019.

LAUREANO, F. V.; GRANGER, D. E.; KARMANN, I.; NOVELLO, V. F. Datação de soterramento utilizando os isótopos cosmogênicos ¹⁰Be e ²⁶Al: síntese metodológica e breve revisão de suas aplicações em geociências. **Geonomas**, v.22, n.2, p.18-27, 2014.

LUZ, L. D.; KALINOVSKI, E. C. Z.; PAROLIN, M.; SOUZA FILHO, E. E. Estágio atual do conhecimento sobre fitólitos no Brasil. **Terræ Didática**, v.11, n.1, p.52-64, 2015.

MADELLA, M.; ALEXANDRE, A.; BALL, T. International Code for Phytolith Nomenclature 1.0. **Annals of Botany**, v.96, n.2. p.253-260. 2005.

MALLINSON, D.; BURDETTE, K.; MAHAN, S.; BROOK, G. Optically stimulated luminescence age controls on late Pleistocene and Holocene coastal lithosomes, North Carolina, USA. **Quaternary Research**, 69(1), 97-109, 2008.

MARCHEZINI, V.; IWAMA, A. Y.; MAGALHÃES DE ANDRADE, M. R.; TRAJBER, R.; ROCHA, I.; OLIVATO, D. Geotecnologias para Prevenção de Riscos de Desastres: Usos e Potencialidades dos Mapeamentos Participativos. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 1, 23 jan. 2017.

MELLO, J. S. **Dinâmica geomorfológica de ambiente de encosta em Brejo da Madre de Deus – PE**. Uma abordagem morfoestratigráfica aplicada aos depósitos colúviais. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco.2008. 126p.

MONTEIRO, K. A.; CORRÊA, A. C. B. Application of morphometric techniques for the delimitation of Borborema Highlands, northeast of Brazil, eastern escarpment from drainage knick-points. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 103, p. 102729-102741, 2020.

MOREIRA, V. B.; PEREZ FILHO, A. Das superfícies de aplainamento aos pulsos climáticos holocênicos: a evolução da paisagem em relevos de chapada. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 176-195, 2020.

PAISANI, S. D. L.; PAISANI, J. C.; OSTERRIETH, M. L.; PONTELLI, M. E. Significado paleoambiental de fitólitos em registro pedoestratigráfico de paleocabeceira de drenagem - superfície de palmas - água doce (sul do Brasil). **Geociências**, v.35, n.3, p.426-442, 2016.

PALLÀS, R.; RODÉS, A.; BRAUCHER, R.; CARCAILLET, J.; ORTUÑO, M.; BORDONAU, J.; BOURLÈS, D.; VILAPLANA, J. M.; MASANA, E.; SANTANACH, P. Late Pleistocene and Holocene glaciation in the Pyrenees: a critical review and new evidence

from ^{10}Be exposure ages, south-central Pyrenees. **Quaternary Science Reviews**, v.25, n.2, p.937-963, 2006.

PAROLIN, M., MONTEIRO, M., COE, H., & COLAVITE, A. P. Considerações Paleambientais do Holoceno Médio por Meio de Fitólitos na Serra do Cadeado, Paraná. **Revista Do Departamento De Geografia**, v.(spe), p. 96-103, 2017.

PEREZ FILHO, A.; RUBIRA, F. G. Evolutionary interpretation of Holocene landscapes in eastern Brazil by optimally stimulated luminescence: Surface coverings and climatic pulsations. **Catena**, v. 172, p. 866-876, 2018.

PIPERNO, D.R. **Phytolith: a comprehensive guide for archaeologists and paleoecologists**. Lanham MD, Atlas Mira Press, 2006.

PORSANI, J. L. **Ground Penetrating Radar (GPR): Proposta metodológica de emprego em estudos geológico-geotécnicos nas regiões de Rio Claro e Descalvado, SP**. 1999. 159p. Tese (Doutorado em Geociências) – Curso de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1999.

RABELO, J.; MAIA, R. P.; BEZERRA, F. H. R.; SILVA, C. C. N. Karstification and fluid flow in carbonate units controlled by propagation and linkage of mesoscale fractures, Jandaíra Formation, Brazil. **Geomorphology**, v. 357, p. 1-17, 2020.

REYNOLDS, J. M. **An introduction to applied and environmental geophysics**. John Wiley and Sons, England, 1997.

SALGADO, A. A. R. Aplicação dos Isótopos cosmogênicos à Geomorfologia: Trabalhos já realizados e perspectivas futuras. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia – SINAGEO, VIII., 2008, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UGB, 2008. P. 1-10.

SALGADO, A. A. R.; VARAJÃO, C. A. C.; COLIN, F.; BRAUCHER, R.; NALINI, H. A.; VARAJÃO, A. F. D. Study of the erosive and denudational processes in the upper Córrego Maracujá Basin (Quadrilátero Ferrífero/MG - Brazil) by the in situ-produced cosmogenic ^{10}Be method. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.32, p. 905-911, 2007.

SANTOS, C. J. **Caracterização Hidrogeológica No Jardim Limoeiro, Camaçari-Ba, Utilizando O Método Geofísico Elétrico**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal da Bahia, Salvador-BA, Brasil, 2013.

SILVA, D. G. **Evolução paleoambiental dos depósitos de tanques em Fazenda Nova, Município de Brejo da Madre de Deus, Pernambuco**. Dissertação de Mestrado, Universidade federal de Pernambuco, 155p., 2007.

SILVA, S. B. **Métodos Elétricos: Fundamentos Fenomenológicos E Eletroresistividade Sobre Contatos Verticais**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal da Bahia, Salvador-BA, Brasil, 2018.

SILVEIRA, J. D. **Baixadas Litorâneas Quentes e Úmidas**. - Tese de concurso à cadeira de Geografia Física da Fac. de Fil. da Univ. de São Paulo. (Ed. do autor), 1950.

SILVEIRA, J. D. **Morfologia do litoral**. In: Azevedo, A. (ed.). Brasil: a terra e o homem. Vol. 1. Cia Editora Nacional, São Paulo. Pp. 253-305, 1964.

SOUZA, A. D. DE; SOBRAL, M. DO C. M.; CANDEIAS, A. L. B. GEOTECNOLOGIAS APLICADAS ÀS AUDITORIAS DE OBRAS PÚBLICAS NO BRASIL: PANORAMA GERAL E PERSPECTIVAS. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 8, 17 ago. 2018.

SOUZA, A. O.; PEREZ FILHO, A.; LÄMMLE, L.; SOUZA, D. H. Holocene climate pulses and structural controls on the geomorphological estuarine evolution of The Iguape River, São Paulo, Brazil. **Continental Shelf Research**, In Press, 2020.

SOUZA, A. O.; PEREZ FILHO, A. Late Holocene coastal dynamics, climate pulses and low terraces in the coast of the state of São Paulo, southeast, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 92, p. 234-245, 2019.

SUMNER, J. S. **Principles of induced polarization for geophysical exploration**. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 277 p., 1976.

União da Geomorfologia Brasileira – UGB. **SINAGEOS**. 2020. Disponível em: <http://lsie.unb.br/ugb/sinageos>. Acessado em: 20 jun. 2020.

WAGNER, G. A. **Age determination of young rocks and artifacts: physical and chemical clocks in quaternary geology and archaeology**. Springer, New York. Springer, 466p, 1998.

WARD, S. **Resistivity and Induced Polarization Methods**. Geotechnical and Environmental Geophysics, Vol. 1, SEG, 147-189, 1990.