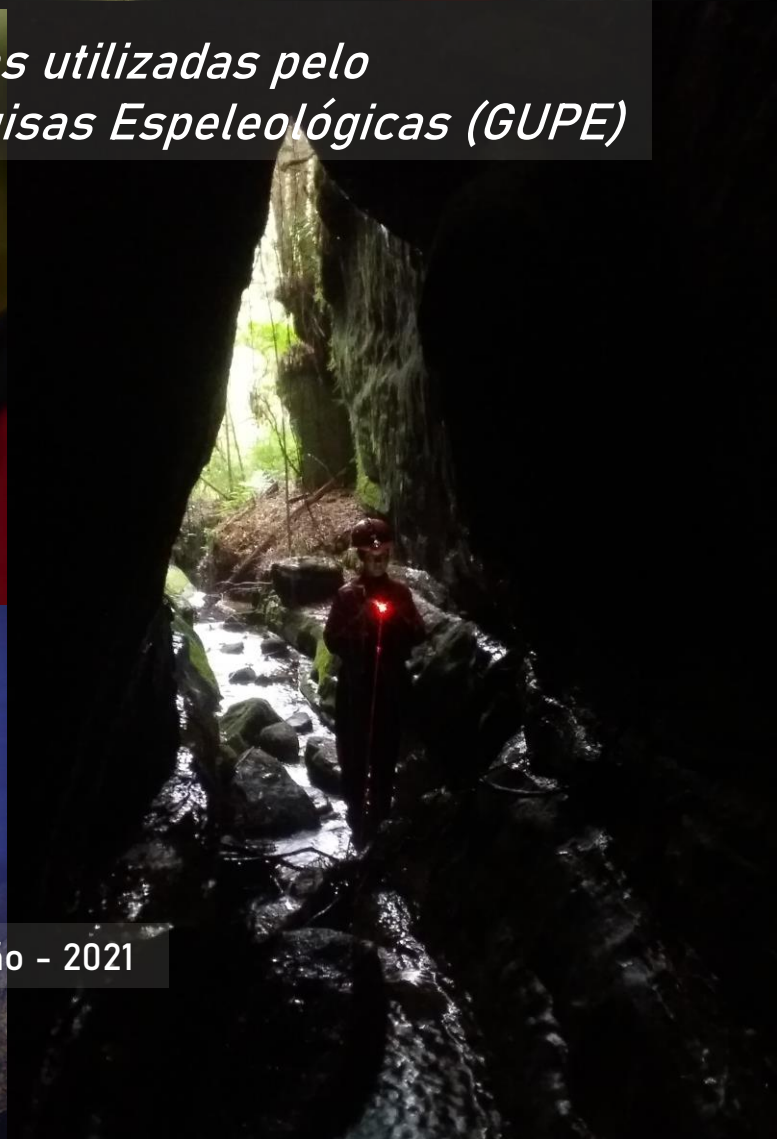
Guia prático para a realização de topografia de cavidades subterrâneas

Métodos e técnicas utilizadas pelo Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas (GUPE)



2ª Edição - 2021

Autores
Henrique Simão Pontes, Laís Luana Massuqueto e Nair Fernanda Burigo Mochiutti

Projeto gráfico
Henrique Simão Pontes

Fotografias da capa
Angelo Eduardo Rocha
Henrique Simão Pontes

Editora GUPE-Ponta Grossa

2ª Edição

Maio de 2021

ISBN nº 978-65-995128-0-3

Todos os direitos autorais das imagens, textos e figuras deste guia pertencem ao Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas (GUPE), sua reprodução é permitida desde que citada a seguinte fonte:

Pontes, H.S; Massuqueto, L.L.; Mochiutti, N.F.B.. Guia prático para a realização de topografia de cavidades subterrâneas: métodos e técnicas utilizadas pelo Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas (GUPE). Editora GUPE-Ponta Grossa, 2ª Edição. 2021. 47p.

Cara leitora e caro leitor,

Este guia serve para todos que apreciam e conhecem as cavidades subterrâneas e, ao mesmo tempo, têm o objetivo de representá-las cartograficamente, sintetizando informações diversas e mostrando-as em um plano cartográfico.

O que apresentamos aqui é um conjunto de técnicas, métodos e ferramentas utilizado pelo Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas (GUPE), baseado na experiência de outros grupos espeleológicos e espeleólogos e espeleólogas que se dedicam na técnica e arte de topografar cavernas. Destacamos que há outros métodos, técnicas e ferramentas para mapeamento espeleológico, cada um com suas características e suas adaptações. Assim, nosso objetivo é mostrar um conjunto de procedimentos e equipamentos para mapeamento em ambientes subterrâneos que o GUPE tem utilizado nos últimos anos, pois com os avanços tecnológicos, é fundamental a adaptação das técnicas e instrumentos, a fim de melhorar os levantamentos e produzir materiais cartográficos de melhor qualidade.

Apesar de existirem vários métodos de mapeamento subterrâneo, estas técnicas possuem um padrão em comum: determinar uma sequência de pontos (denominados bases topográficas) unidos por linhas (denominadas visadas) definidas através de medidas de distância, da orientação azimutal e da inclinação. Esta sequência de medidas irá percorrer todas as galerias da cavidade subterrânea. A partir destas mensurações, adicionando as medidas laterais, altura e profundidade de cada ponto, juntamente com os detalhes da caverna, será possível produzir o mapa espeleológico.

Este material guiará de forma prática, todas (os) as (os) espeleólogas (os), profissionais e demais interessadas (os) no descobrimento, exploração e estudo de cavidades subterrâneas, mostrando como realizar o mapeamento de uma caverna.

1. PLANEJANDO A ATIVIDADE DE CAMPO

Exploração de campo em espeleologia não significa somente entrar nas cavernas e conhecê-las, mas também exige que a (o) espeleóloga (o) conheça algumas características do local a ser explorado. Às vezes é preciso ter senso de localização e bom preparo físico para encontrá-las. Atualmente, as explorações têm um planejamento facilitado devido à disponibilidade de um recurso de fácil acesso, o *Google Earth*[1], o qual fornece imagens orbitais gratuitas, atuais e de boa qualidade, capazes de oferecer ótima visualização da localização de cavidades ou de locais potenciais para a ocorrência de cavernas.

Cartas topográficas e bússolas, apesar de parecerem ser equipamentos ultrapassados, utilizados em décadas passadas, ainda são extremamente importantes para a prospecção espeleológica, pois são fáceis de adquirir, principalmente no caso de cartas topográficas[2], e há modelos (no caso das bússolas) de baixo custo para aquisição, se comparados com as novas tecnologias. Atualmente o uso de aparelho receptor GPS (*Global Position System*), além da agilidade para obtenção de dados, oferece mais precisão para a navegação e localização em campo. Há equipamentos de alta precisão como o GPS geodésico, capaz de fornecer a coordenada de um ponto com poucos centímetros de erro, mas seu valor é tão grande quanto a sua precisão! Nem sempre é possível adquirir um aparelho receptor GPS, então há formas de realizar a navegação utilizando aplicativos de smartphone[3]. Em paralelo, há programas que possibilitam uma interface entre o *Google Earth*, ambientes de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e o GPS[4], permitindo inserir pontos e caminhos no GPS (para orientação em campo) como também baixar e tratar arquivos coletados em campo com o receptor.

Essas ferramentas fornecem importante suporte para a realização de atividades de campo de qualidade, mas, além disso, é necessário um pouco de coragem e disposição da (o) espeleóloga (o), errando e acertando caminhos, abrindo trilhas em locais remotos,

[1] Para baixar o *Google Earth*, acesse: https://www.google.com.br/earth/download/gep/agree.html

[2] Para baixar cartas topográficas do estado do Paraná, acesse: http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Dados-geoespaciais-de-referencia

[3] Para baixar o Gaia GPS (topografias), acesse: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.trailbehind.android.gaiagps.pro&hl=pt_BR&gl=US

[4] Para baixar o *Trackmaker*, acesse: https://www.trackmaker.com/main/pt/download-gps-software-gratis

ficando expostos às intempéries, tudo para atingir os principais objetivos: encontrar cavidades naturais subterrâneas, para explorá-las e estudá-las a fim de garantir sua proteção.

Antes de todos os trabalhos de campo do GUPE há um planejamento, destacando ao menos, os objetivos, métodos, equipe e cronograma da atividade (Figura 1). Desta maneira, as prospecções e explorações desenvolvem-se com maior êxito. O planejamento é essencial para qualquer atividade de campo em qualquer área de conhecimento. Com o planejamento adequado, o sucesso da prospecção é certo, bons resultados e boas produções certamente serão gerados.

Para topografar uma caverna esta situação não é diferente: é necessário realizar um planejamento prévio, envolvendo tempo de trabalho, equipe, logística, acesso, métodos e técnicas, materiais utilizados, questões de segurança, entre outros detalhes que possam vir a contribuir ou atrapalhar o desenvolvimento do trabalho. Por isso, antes de iniciar a topografia de uma cavidade, lembre-se que uma atividade bem planejada facilita o cumprimento dos objetivos previamente determinados.

Figura 1: reunião virtual do Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas (GUPE) para planejamento de atividade de campo.

2. EU CONHEÇO A CAVIDADE QUE VOU TOPOGRAFAR?

Há uma diferença quando você conhece a caverna a ser topografada e quando não a conhece. Quando você a conhece, de certa forma, pode-se dizer que a topografia fica facilitada, pois o posicionamento de bases topográficas pode ser previamente planejado, auxiliando diretamente na progressão do mapeamento.

Se você não conhece a caverna, precisará de mais um membro na equipe de topografia, denominado (a) explorador (a). Enquanto a topografia vai sendo realizada, este indivíduo é responsável por explorar a caverna e descobrir novos pontos por onde o mapeamento percorrerá. Assim, quando você conhece a caverna antes da topografia, a equipe está ciente das dificuldades e obstáculos nela presentes, por isso, durante o planejamento e preparação do trabalho de mapeamento, tudo será levado em consideração para não ocorrer interferências durante o levantamento topográfico. Isto pode evitar gastos não desejados e tempo perdido, por isso é essencial que as (os) espeleólogas (os) se atentem com esta questão.

Importante: Se o local a ser topografado não apresentar as condições necessárias para garantir a segurança de todas as pessoas envolvidas no levantamento topográfico, não execute a atividade! A proteção da vida e a garantia de bem estar da equipe de mapeamento deve, sempre, estar em primeiro lugar. A pessoa que estiver coordenando a topografia deverá se nortear a partir do princípio da precaução e da razoabilidade, respeitando os limites de cada integrante e as adversidades impostas pelo ambiente de trabalho.

3. A EQUIPE DE TOPOGRAFIA

Antes de apresentar os componentes de uma equipe de mapeamento espeleológico, é válido apontar que com os equipamentos e tecnologias disponíveis atualmente, é possível realizar o mapeamento com apenas uma pessoa. Entretanto, a possibilidade de mapear sozinho não significa que você deva estar sozinho na caverna, pois por questões de segurança isto não é indicado.

Mas se o interesse do grupo for dividir as tarefas da topografia de cavernas, é possível envolver diretamente quatro pessoas, conforme descrito a seguir:

- Desenhista

Responsável por realizar o desenho da caverna nas três dimensões possíveis: planta baixa (mapa), perfis longitudinais e seções transversais. A (o) desenhista é responsável não só pelo desenho do contorno da cavidade, mas por representar outros elementos que a compõem (espeleotemas, feições geomorfológicas, aspectos hidrográficos etc.). Este indivíduo também é responsável por anotar (em planilha específica – analógica ou digital) as medidas gerais (azimute, inclinação, distância das visadas entre bases e das laterais, altura e profundidade). A (o) desenhista tem que ter boa noção de dimensão, escala e proporção, pois é de sua responsabilidade representar um plano real (a caverna, a qual é composta por diversas irregularidades) no plano cartográfico (2D).

- Ponta de trena

Antigamente essa posição era ocupada pela pessoa que segurava a ponta da trena métrica de fita e levava até o ponto de medida. Atualmente, com o uso da trena a *laser*, a (o) ponta de trena é a (o) responsável por realizar as medidas métricas da caverna (distância da visada entre bases, distâncias laterais, altura e profundidade e outras auxiliares quando necessárias). Este membro da equipe deve ter cautela durante a leitura das medidas, destacando o momento em que ele pronuncia a (ao) desenhista tais valores, pois em cavernas com água, o barulho pode atrapalhar e podem ser anotados valores errados. O ideal é que a (o) desenhista repita os valores em voz alta para o/a ponta de trena, para assegurar os dados anotados.

- Instrumentista

A (o) instrumentista é responsável por realizar a leitura dos equipamentos (bússola, clinômetro e GPS). Sua atenção é de fundamental importância para a confecção do mapa da caverna. Se este membro errar uma leitura de azimute ou inclinação o mapa poderá sofrer erros significativos e o produto final não terá a acuracia necessária, por isso, a (o) responsável por esta função deve ter prática no uso da bússola e clinômetro (ou trena a *laser* com tais funções acopladas). Atente-se com situações que geram interferência nos equipamentos e consequentes erros de medidas, como por exemplo, ferramentas de metal próximas da bússola (até mesmo a lanterna pode interferir!). Em cavernas com água, com muito barulho, a (o) instrumentista também deve tomar cuidado ao pronunciar as medidas, atentando-se que a (o) desenhista tenha escutado os valores corretos. Novamente, devido às novas tecnologias, a (o) instrumentista, com o uso de determinadas trenas a *laser* que possuem distanciômetro, clinômetro e bússola acoplados, consegue acumular as funções de instrumentista e ponta de trena.

- Auxiliares

As (os) auxiliares são todas e todos que fornecem suporte geral para a realização da topografia da caverna. Podem ser: um (a) explorador (a) (quando a caverna ainda não é conhecida); fotógrafo (a): tira fotos de pontos importantes da caverna, tanto para representar suas feições e elementos, como também para auxiliar no desenho da caverna pelo (a) desenhista; leiturista: auxilia a (o) instrumentista na leitura e repasse dos dados a (ao) desenhista; e posicionador (a) de bases: auxilia no posicionamento das bases topográficas, indica os melhores lugares e onde podem ser executadas as melhores visadas, com o intuito de facilitar a progressão da topografia. As (os) auxiliares são pessoas que ajudam na elaboração da topografia, fornecem suporte ao andamento do levantamento e realizam ações que contribuem direta ou indiretamente com o mapeamento espeleológico.

O posicionamento das bases topográficas é de responsabilidade de todos os membros que estão participando do mapeamento. Cada um pode interferir no posicionamento de bases, visando as melhores locações e, principalmente, objetivando a melhoria da topografia.

O (a) desenhista, na maioria das vezes, é o (a) coordenador (a) da topografia. Ele (ela) é responsável por projetar o produto final, ou seja, todo o levantamento tem que ser realizado visando auxiliar o (a) desenhista, para que a pessoa possa gerar um mapa de

qualidade, representativo e fiel às características da cavidade. É o (a) desenhista quem determina a graduação de detalhamento da topografia antes de iniciá-la, conforme será descrito detalhadamente adiante.

Todos os membros da equipe de topografia têm importância equivalente, um depende do outro para o sucesso do trabalho de topografia, por isso, a equipe deve estar em sintonia e "*falar a mesma língua*", ou seja, estar ciente dos termos, conceitos, técnicas, métodos e instrumentos utilizados durante o trabalho.

4. INSTRUMENTOS UTILIZADOS NA TOPOGRAFIA DE CAVIDADES SUBTERRÂNEAS

Os instrumentos utilizados para mapear cavernas variam de acordo com a disponibilidade e quantidade de integrantes na equipe de topografia. Assim, a seguir são apresentados os diferentes equipamentos que podem ser utilizados para o mapeamento de cavidades naturais subterrâneas:

- ***Bússola Geológica Brunton:*** este equipamento já foi bastante utilizado nas topografias do GUPE, devido a sua precisão (leituras de até 0,5°) e ao fato de que as bússolas geológicas apresentam clinômetro acoplado em sua estrutura. Esta bússola serve para obter medidas de inclinação, azimute e rumo em graus (tendo como referência o norte verdadeiro) (Figura 2).

Figura 2: bússola geológica Brunton, modelo utilizado pelo GUPE em trabalhos de mapeamento espeleológico e levantamentos geológicos.

- ***Bússola de visada com clinômetro:*** este modelo de bússola permite obter medidas de azimute e inclinação (em graus) por meio de um visor com mira, onde é possível atingir maior precisão dos referidos valores obtidos de uma

base em relação à outra (Figura 3). Este equipamento é bastante usado na espeleologia.

Figura 3: bússola de visada com clinômetro, outro equipamento de medidas de azimute e inclinação utilizado pelo GUPE em mapeamento de cavernas.

- ***Caneta* ou ponteira *touch:*** quando a topografia da caverna é realizada empregando aplicativos em *smatphones* ou *tablets,* a caneta ou ponteira *touch* é fundamental. Este equipamento facilita o desenho devido à capacidade de toque fino na tela do aparelho, permitindo a elaboração de detalhes no mapa que não seriam possíveis de serem realizados com a ponta dos dedos.
- ***Clinômetro (quando não houver na bússola ou na trena laser):*** o clinômetro é um equipamento que serve para obter medidas de inclinação representada em graus. No caso de utilizar a bússola geológica e alguns modelos de bússola de visada, este equipamento vem acoplado, não necessitando um clinômetro a parte.
- ***Trena métrica de PVC:*** a trena métrica de PVC serve para realizar medidas gerais de distância, com precisão menor. Geralmente usam-se trenas com alcance superior a 10 metros, mas dependendo do tamanho da cavidade, este valor deve ser maior. Contudo, com a chegada ao mercado das trenas

a *laser* e, principalmente, com a redução do preço destes equipamentos, as trenas métricas de PVC têm deixado de ser usadas.

- ***Trena a laser:*** a utilização da trena a *laser* é uma evolução na topografia de cavidades subterrâneas, apesar de ser um equipamento de maior custo se comparado com as trenas métricas de PVC, seu uso gera agilidade e precisão nas medidas de distância, principalmente aquelas em pontos de difícil acesso, como abismos e tetos altos. Alguns modelos de trenas, como dito anteriormente, possuem clinômetro e bússola acoplados, o que permite que apenas uma pessoa exerça as funções de instrumentista e ponta de trena. Com o uso deste equipamento a precisão das três medidas (distância, inclinação e azimute) atinge um nível alto, o que permite produzir mapas com bom grau de detalhamento. Atualmente, o GUPE vem utilizando uma trena a *laser* que executa as três medidas mencionadas anteriormente (Figura 4).

Figura 4: trena *laser* com bússola e clinômetro. Este modelo utilizado pelo GUPE não é um DISTOX, por isso, ao utilizar este tipo de trena, todas as medidas devem ser inseridas manualmente no *TopoDroid*.

- ***Papel milimetrado:*** o papel milimetrado (folhas soltas ou caderneta com folhas milimetradas) é utilizado para realizar o desenho da caverna pela (o) desenhista. Este material possibilita que a (o) desenhista represente os

detalhes da cavidade em escala, baseada nas quadriculas de milímetro. Com o papel milimetrado, orienta-se que a escala do desenho em folha seja de 1:100 (1 centímetro no papel é igual a 100 centímetros/1 metro no real), desta forma, o erro do desenho poderá ser controlado entre 5 a 10 centímetros. Contudo, devido à umidade e gotejamento existente no interior de algumas cavernas, o uso de papel vegetal pode ser um desafio.

- ***Smartphone ou tablet com aplicativo de mapeamento espeleológico:*** o uso de aplicativos em *smartphones* ou *tablets* são ferramentas que revolucionaram o mapeamento de cavernas. Além de diminuir a geração de erros diversos, possibilita o acompanhamento imediato da grade geométrica criada automaticamente com as medidas obtidas pela (o) instrumentista/ponta de trena. A grade geométrica é lançada automaticamente em projeção horizontal em uma aba específica para produção do croqui, sem a necessidade de cálculos. Esta condição aumenta a acurácia e precisão do desenho como também da grade geométrica, principalmente quando combinada com medidas obtidas com trena a *laser* com bússola e clinômetro acoplados. O uso destes aplicativos também facilita o tratamento final dos dados em escritório, permitindo agilidade no levantamento, além de fornecer automaticamente medidas de desnível total, projeção horizontal, área e volume da cavidade mapeada. Há vários aplicativos de mapeamento de cavernas, tanto para sistemas operacionais *Android* como para *IOS*, contudo o GUPE tem utilizado o *TopoDroid*[5] (exclusivo para *Android*) e a extensão denominada Cave3D[6]. Ao utilizar *smartphones* ou *tablets* para a topografia de cavernas é essencial o emprego de bolsas estanques para proteção dos equipamentos eletrônicos.
- ***Tripé com adaptador e miniprisma com baliza desmontável:*** quando há a necessidade ou o interesse de um levantamento topográfico de maior detalhe se indica a utilização de um tripé (Figura 5) e de um adaptador de bússola (ou de trena a *laser* com bússola e clinômetro acoplados). De

[5] Para baixar o TopoDroid, acesse: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.topodroid.DistoX&hl=pt_BR&gl=US

[6] Para baixar o Cave3D, acesse: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.topodroid.Cave3D&hl=pt_BR&gl=US

preferência, este adaptador deve conter mecanismo de comandos para movimento de inclinação e rotação horizontal sensíveis, de toque fino (Figura 6). O miniprisma com baliza, em conjunto com o tripé, possibilita o nivelamento entre as bases topográficas, garantindo medidas com erros menores (Figura 7). Estes três equipamentos devem conter sistema de nivelamento com bolhas, a fim de garantir o nivelamento dos equipamentos de medição. Contudo, dependendo das dificuldades impostas pela cavidade, ou mesmo o tamanho destes ambientes e o tempo disponível para a realização do levantamento, a utilização destes equipamentos pode se tornar inviável.

Figuras 5 e 6: exemplo de tripé com adaptador de trena a laser utilizado pelo GUPE. A figura da direita mostra em detalhe o adaptador com botões de rosca de toque fino para movimentação horizontal (seta azul) e vertical (seta vermelha).

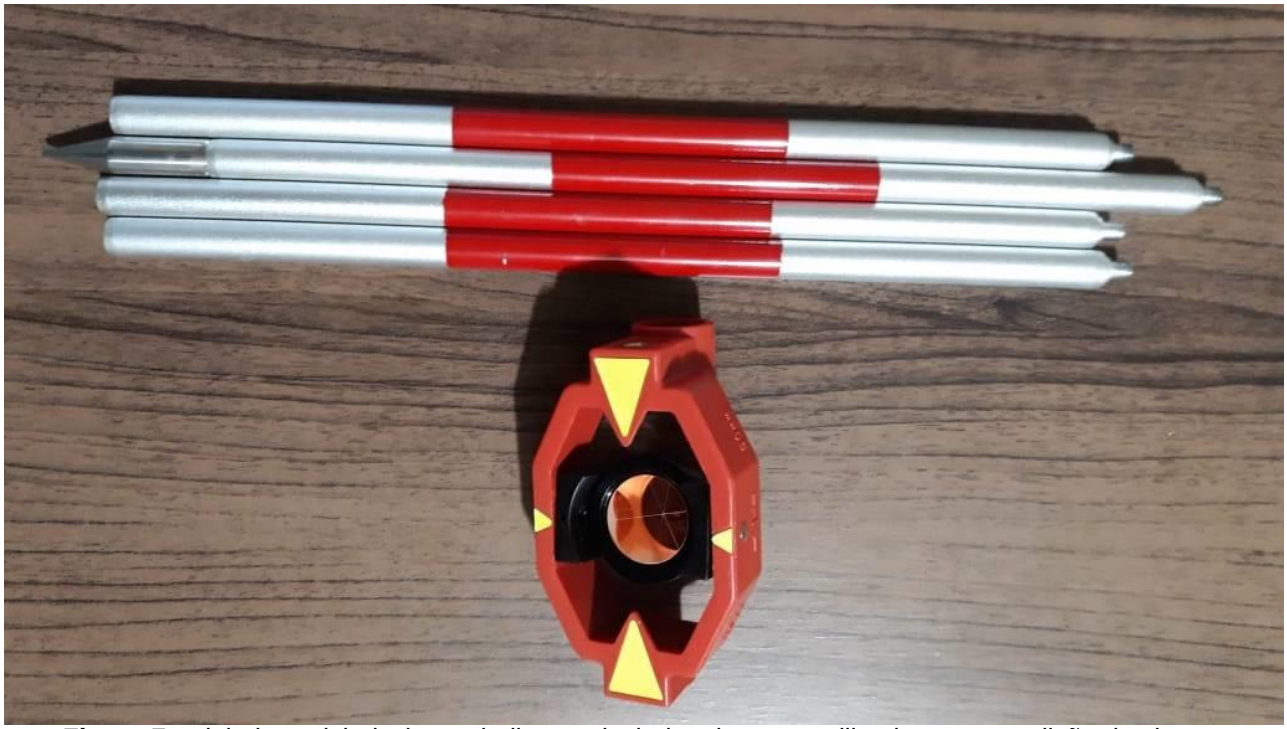


Figura 7: miniprisma (abaixo) com balizas articuladas de rosca utilizadas para medição das bases topográficas de vante. O GUPE utiliza este material conjuntamente com o tripé com adaptador da trena a laser para a realização de mapeamentos com maior detalhe e precisão.

- ***Lápis, borracha e apontador:*** na utilização de papel milimetrado ou caderneta para a realização do desenho da cavidade, estes materiais são essenciais e orienta-se não utilizar caneta. Quanto mais apontado o lápis, melhor será a representação sobre as quadrículas de milímetro do papel. Adicionalmente, o uso de uma régua e de um transferidor é importante, principalmente o segundo, para auxiliar na representação do azimute nos casos de orientação do croqui diretamente na folha milimetrada.
- ***Receptor GPS:*** este equipamento é utilizado para obtenção de coordenadas (geográficas ou UTM), propiciando a localização espacial das cavidades subterrâneas (Figura 8). A partir das coordenadas obtidas com este equipamento, a planta baixa da caverna poderá ser georreferenciada e projetada (amarrada) em uma carta topográfica ou em um ambiente SIG – Sistemas de Informação Geográfica. As coordenadas podem ser obtidas em campo em SAD-69 ou WGS84, contudo devem ser convertidas para o Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul (SIRGAS 2000).

Figura 8: aparelho receptor GPS (*Global Position System*) utilizado pelo GUPE para prospecção, mapeamento e demais levantamentos espeleológicos.

5. TERMOS E SÍMBOLOS UTILIZADOS E SEUS SIGNIFICADOS

Apresentamos aqui uma lista com os principais termos relacionados à topografia espeleológica, alguns deles mencionados ao longo do texto:

- ***Amarrar:*** ligar um ponto na topografia, adicionar um ponto de referência na representação.
- ***Aclive:*** um determinado terreno que se está subindo, que se eleva com inclinação para o alto (graus de inclinação positivos).
- ***Azimute:*** direção de um determinado ponto representada por número variando de 0 a 360, medido em graus, sempre em relação ao norte (magnético ou verdadeiro).
- ***Bases topográficas:*** são pontos específicos determinados pela equipe de topografia, caracterizados como os limites extremos de uma visada. São como estações para a realização das medidas de distância entre bases, inclinação, azimute, distâncias laterais, altura e profundidade. Podem ser fixas, quando marcadas permanentemente com algum artifício (por exemplo, tinta) em um ponto da caverna (teto, parede, bloco de rocha) ou quando utilizado algum elemento fixo da cavidade (por exemplo, uma estalactite, a ponta de um bloco de rocha, uma estalagmite), ou flutuantes, quando definidas como de caráter temporário (podem ser marcadas com estaca, um ponto aleatório na parede – sem marcação, no centro da galeria com o uso de tripé etc.).
- ***Base zero:*** trata-se de um ponto de georreferenciamento da topografia, assim é uma base topográfica situada para fora da cavidade. Estas situações devem ser indicadas no desenho da topografia e nos comandos do aplicativo *Topodroid* (quando no uso deste), para que a visada entre as bases topográficas 0 e 1 não sejam contabilizadas no desenvolvimento linear e projeção horizontal da caverna.
- ***Bússola Geológica Brunton:*** bússola de alta precisão (leituras de até 0,5°), comumente utilizada em levantamentos geológicos. Apresenta medidas a partir do norte verdadeiro, pois possui regulagem para correção da declinação magnética da Terra. Apresenta um clinômetro acoplado em sua estrutura com dois níveis de bolha e suporte para posicionamento em tripé.
- ***Bolha:*** serve para nivelar a bússola, tripé, baliza ou trena, com o intuito de obtenção de medidas mais precisas.
- ***Cavidade natural subterrânea:*** de acordo com o Decreto Federal nº 6.640/2008, "*entende-se por cavidade natural subterrânea todo e qualquer espaço subterrâneo*

acessível pelo ser humano, com ou sem abertura identificada, popularmente conhecido como caverna, gruta, lapa, toca, abismo, furna ou buraco, incluindo seu ambiente, conteúdo mineral e hídrico, a fauna e a flora ali encontrados e o corpo rochoso onde os mesmos se inserem, desde que tenham sido formados por processos naturais, independentemente de suas dimensões ou tipo de rocha encaixante" (Brasil, 2008). Cavidade natural subterrânea é um termo que também engloba as fendas, dolinas, abrigos, casas de pedra, buracos, grunhas, tocas e outros termos utilizados regionalmente para referenciar estes ambientes.

- ***Correção topográfica:*** corrigir erros referentes à topografia utilizando cálculos, medidas, observações, informações, entre outras formas.

- ***Corte ou seção transversal:*** representação em forma de desenho que permite observar o contorno de uma galeria, uma passagem, um salão etc. Trata-se de um corte transversal ao eixo da visada entre bases.

- ***Derivação:*** é o movimento de uma base topográfica para facilitar a visada subsequente. Trata-se de uma visada curta, geralmente algo inferior a 1 metro de distância, onde é medido apenas distância, inclinação e azimute. Este movimento deve ser realizado com total critério e cuidado, devendo ser rigorosamente representado para não gerar erros no mapa da caverna. Orienta-se utilizar este artifício somente em caso de extrema necessidade.

- ***Desenvolvimento linear:*** é a extensão real da caverna, tratam-se da soma das medidas de todas as galerias, salões e passagens. O desenvolvimento linear pode ser contínuo, quando a soma ocorre incluindo a porção de ligação de uma galeria com outra transversal, recobrindo partes da galeria principal, ou descontínuo, quando este recobrimento é desconsiderado na soma final. Sugere-se o uso do método da descontinuidade para a determinação do desenvolvimento linear e projeção horizontal, a fim de evitar superdimensionamento da extensão da cavidade.

- ***Desnível:*** é a medida entre o ponto mais alto da caverna e o ponto mais baixo acessível pelo ser humano.

- ***Declive:*** um determinado terreno que se está descendo, ou seja, que ao ser percorrido tem inclinação para baixo (graus de inclinação negativos).

- ***Desenhista:*** é o ou a membro da equipe de topografia responsável por realizar o desenho da caverna e anotar os valores das medidas obtidas pela (o) ponta de trena e instrumentista.

- Distâncias horizontais e verticais da base topográfica: são as medidas obtidas a partir da base topográfica, em relação às laterais esquerda e direita, altura e profundidade, sempre em um ângulo de 90 graus a partir da visada. Estas medidas mostrarão as dimensões de uma seção (corte) transversal de um determinado trecho da cavidade.

- Escala: relação entre a representação cartográfica (o desenho) e o plano real (o objeto, elemento, espaço que está sendo representado/desenhado). Esta proporção pode ser indicada através da escala gráfica ou numérica, sendo que é de extrema importância utilizar uma das duas formas no mapa espeleológico, como em qualquer outro tipo de mapa. O GUPE tem adotado o uso apenas de escala gráfica em seus mapas, a fim de facilitar a dinâmica de impressão do material cartográfico.

- Galeria, conduto, salão, passagem, braço, duto: tratam-se das porções ou compartimentos de uma cavidade subterrânea.

- Grade ou malha geométrica: são as linhas formadas pelas medidas das visadas entre bases, distâncias laterais (direita e esquerda), medidas auxiliares, da profundidade e altura a partir das bases topográficas.

- Grau: unidade de medida utilizada para definir a inclinação e o azimute de uma visada. No caso de medidas de inclinação pode ser positivo ou negativo (ver aclive/declive).

- Inclinação: é a medida em graus ou ângulo (positivo ou negativo) de uma determinada superfície ou terreno em relação ao plano horizontal (ver aclive/declive).

- Instrumentista/leiturista: é o (a) responsável por realizar a leitura dos equipamentos (bússola, clinômetro, GPS). Conforme já apontado, com o uso de determinadas trenas a *laser*, esta pessoa consegue acumular as funções de instrumentista e ponta de trena.

- Leitura: é o ato de realizar uma medição com um equipamento (bússola, clinômetro, trena) e pronunciá-la para a equipe de topografia.

- Legenda: serve para mostrar o significado dos objetos representados no mapa por meio de símbolos (linhas, polígonos, círculos, pontos, desenhos etc.).

- Linha de entrada ou linha de pingueira: é a exata entrada da caverna, o ponto inicial para mensuração do desenvolvimento linear de uma cavidade subterrânea (ponto zero da caverna).

- Norte Magnético: é o norte que a agulha da bússola aponta, devido ao pólo magnético da Terra.

- Norte verdadeiro: é o norte com a correção da declinação magnética da Terra. Pode ser obtido com uma bússola geológica.

- Perfil ou seção longitudinal: é um desenho que representa a caverna vista de lado, um detalhe lateral desta. Acompanha as visadas entre as bases.

- Planta baixa: é o mapa em questão, trata-se do plano horizontal no qual a cavidade foi representada (o desenho em folha).

- Plotar: determinar a posição de algo em um mapa (topográfico, por exemplo). Projetar o levantamento topográfico de uma cavidade em um mapa topográfico é uma plotagem.

- Ponta de trena: é a (o) membro da equipe de topografia responsável por realizar as medidas de distâncias presente na caverna durante o mapeamento. Esta pessoa pode acumular a função de instrumentista quando no uso de trenas a *laser* que realizam medição de distância, inclinação e azimute.

- Ponto zero da cavidade: trata-se do ponto inicial da cavidade subterrânea, o exato trecho que marca a transição do ambiente superficial ao subterrâneo. Para abismos, o ponto zero se obtém a partir do ponto médio entre os desníveis da borda do abismo (Figura 9), para os demais tipos de cavidades define-se o ponto zero a partir do ponto médio da linha de entrada/pingueira (Figura 10).

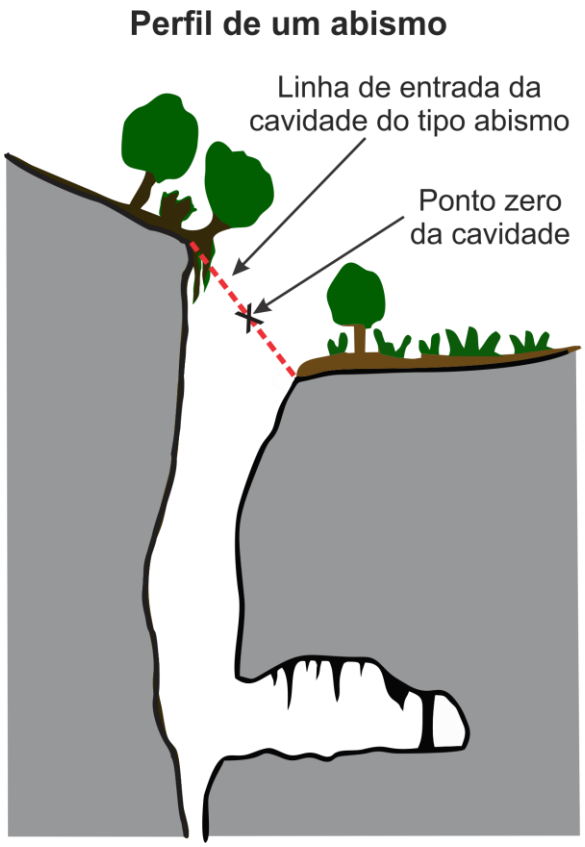


Figura 9: a linha tracejada mostra a entrada de um abismo. Quando a base topográfica 1 não for posicionada no ponto zero é necessário realizar correções nos valores de desenvolvimento, somando ou subtraindo a medida sempre em relação ao ponto zero.

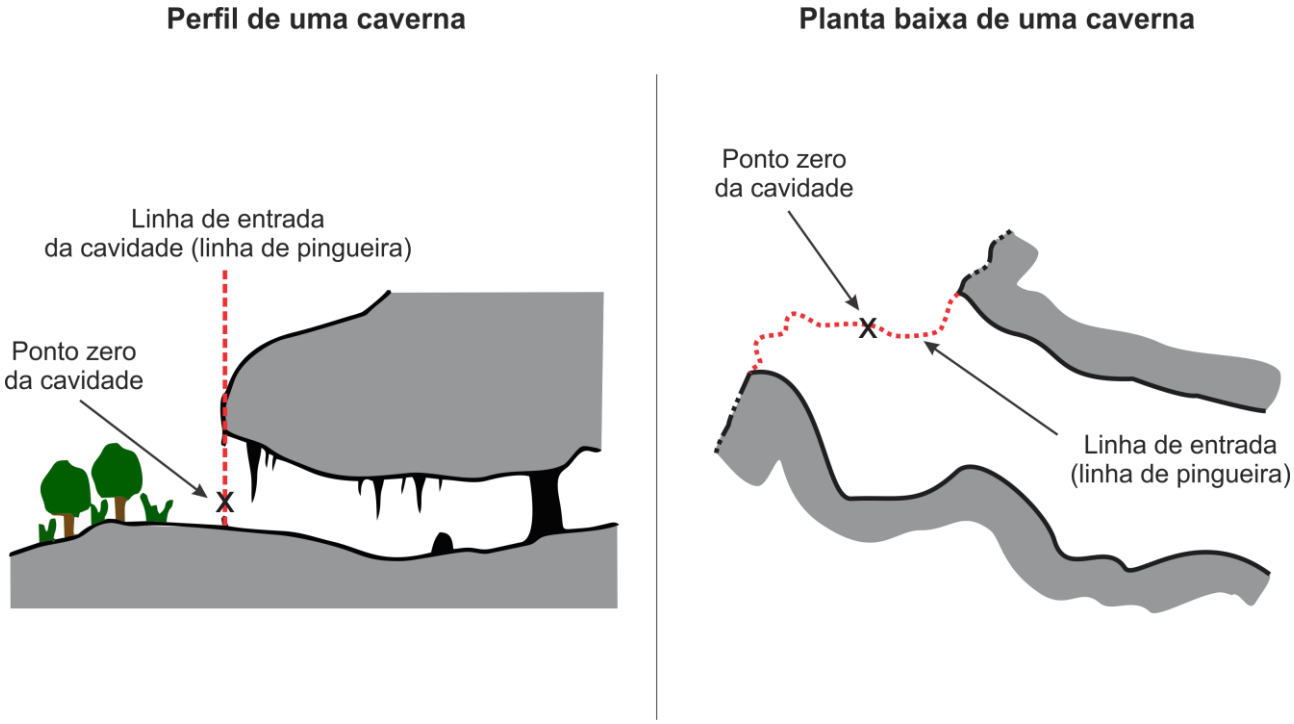


Figura 10: a linha tracejada mostra a linha de entrada (pingueira) de uma caverna. No ponto médio desta linha é onde deve ser posicionada a base topográfica 1.

- ***Progressão topográfica:*** trata-se do caminhamento do levantamento topográfico, à medida que as bases vão sendo instaladas, as medidas extraídas e o desenho criado, a topografia vai progredindo.

- ***Projeção horizontal:*** é o desenvolvimento da caverna projetada no plano cartográfico, já com os valores de distância corrigidos, devido à inclinação de suas galerias. Com o uso de aplicativos para o mapeamento espeleológico a grade geométrica é automaticamente lançada em projeção horizontal. Entretanto, para definir a projeção horizontal total da cavidade é preciso realizar um cálculo utilizando a fórmula **PH = cos θ DL x DL**, onde *cos θ DL* é o cosseno do ângulo do desenvolvimento linear e *DL* é o desenvolvimento linear.

- ***Prumo:*** serve para alinhar a bússola, trena a *laser* e clinômetro exatamente em linha vertical em um ângulo de 90º em relação à linha do horizonte, sempre respeitando uma altura predeterminada das bases em relação ao piso da caverna.

- ***Ré:*** visada no sentido contrário a progressão topográfica (ao caminhamento da topografia).

- ***Recobrimento:*** quando há vazios de medidas na cavidade é preciso realizar manobras para fechar estes vazios métricos. Nestes casos, orienta-se a utilização de medidas auxiliares.

- *Rumo:* é uma medida obtida a partir do norte, mas representada dentro de um quadrante (de 0 a 90 graus). Pode estar dentro de um dos quatro quadrantes (Norte-Leste; Norte-Oeste; Sul-Leste ou Sul-Oeste). As convenções mundiais na área da geologia sempre apresentam um determinado rumo baseando-se no Norte (N-E ou N-W). Um exemplo de leitura de um rumo: N 45° W (isso significa que a direção é: a partir do norte, inclina-se 45 graus para oeste). Observação: o rumo N 45° W é o mesmo que azimute 315°. As medidas de rumo obtidas no primeiro quadrante devem ser lidas de Norte para Leste, no segundo quadrante do Sul para o Leste, no terceiro quadrante do Sul para o Oeste e no quarto quadrante do Norte para o Oeste.

- *Trena:* é o equipamento utilizado para realizar medidas de distância, pode ser trena de PVC ou trena a *laser*. Esta última ganha destaque por sua agilidade e precisão nas medidas, além de apresentar diversos recursos que facilitam sobremaneira o trabalho topográfico, como medidores de inclinação e azimute.

- *Vante:* visada no sentido da progressão topográfica (do caminhamento da topografia).

- *Vazio métrico:* é uma porção da caverna onde ocorre um vazio de medidas devido a procedimentos durante a topografia. O (a) desenhista deve estar atento a isto e realizar manobras que acertem os detalhes sem perder a precisão e acurácia do mapa. Para evitar este tipo de problema, a pessoa que assumir o cargo de desenhista deve solicitar a inserção de mais bases topográficas ou medidas auxiliares com visadas a partir do método da irradiação para cobrir as áreas de vazios.

- *Visada:* a união de duas bases forma uma linha reta denominada visada, ou seja, situa-se entre as bases topográficas e é definida a partir de medidas de distância, inclinação e orientação azimutal.

As (os) espeleólogas (os) que estiverem topografando uma cavidade devem estar habituadas (os) com os termos espeleológicos convencionais, os quais se referem às formas e feições das cavernas, incluindo todos os elementos que as compõem.

A (o) desenhista deve conhecer também os símbolos utilizados para representar as formas, feições e elementos da caverna, para que estes sejam representados de maneira legível e compreensível, para qualquer pessoa que leia o mapa espeleológico. Os símbolos devem seguir uma ordem e serem expressos em uma legenda.

Durante o mapeamento, para representar os elementos da cavidade a (o) desenhista deve utilizar as convenções cartográficas (símbolos) para mapeamento espeleológico desenvolvidas pelo GUPE (figuras 11, 12 e 13). O aplicativo *TopoDroid*

possui símbolos próprios, por isso, caberá a (ao) desenhista a tarefa de cuidar criteriosamente da legenda durante o mapeamento, a fim de garantir o reconhecimento das feições durante o tratamento dos dados em escritório e substituição dos símbolos, de acordo com as convenções utilizadas pelo GUPE. Com o intuito de evitar problemas durante o tratamento dos dados da topografia e produção do mapa final da cavidade, orienta-se que a mesma pessoa que assumiu o papel de desenhista execute o tratamento final das informações geradas pelo mapeamento.

Figura 11: convenções cartográficas do Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas (GUPE).

Figura 12: convenções cartográficas do Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas (GUPE).

Figura 13: convenções cartográficas do Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas (GUPE).

6. MÉTODOS DE PROGRESSÃO TOPOGRÁFICA

De acordo com Magalhães e Linhares (1997) existem quatro métodos para a progressão da topografia espeleológica, ou seja, o avanço do mapeamento e posicionamento das bases topográficas: poligonal aberta, poligonal fechada, triangulação e irradiação.

A poligonal aberta é a mais comum, serve para mapeamento de cavernas retilíneas, sem bifurcações, e as bases topográficas não fecham poligonais, ou seja, o caminho percorrido durante o levantamento não cruza porções já topografadas (Figura 14).

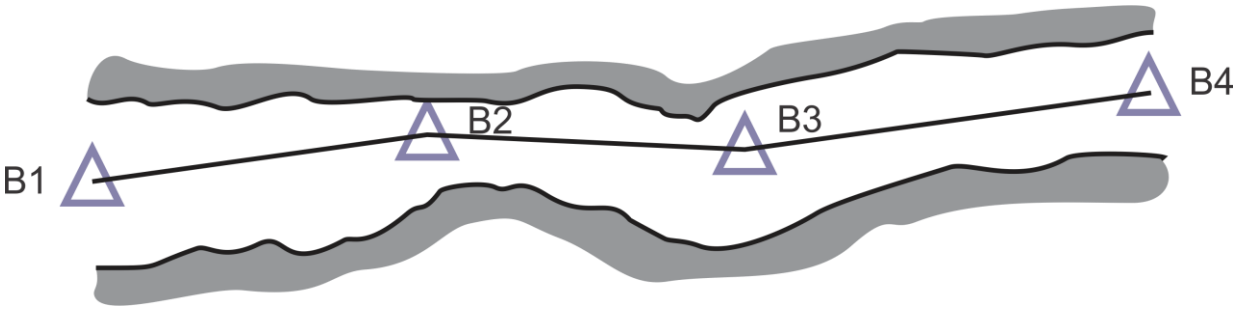


Figura 14: método de mapeamento por poligonal aberta, com bases sequenciais, sem cruzamento.

O método da poligonal fechada é utilizado para cavernas com vários condutos e passagens que se ramificam e se conectam adiante. Assim, as bases topográficas se encontram e fecham uma ou várias poligonais (Figura 15). O uso deste método possibilita testar a qualidade do levantamento, uma vez que a distância entre as bases topográficas no fechamento da poligonal determina o grau de precisão e acurácia do trabalho.

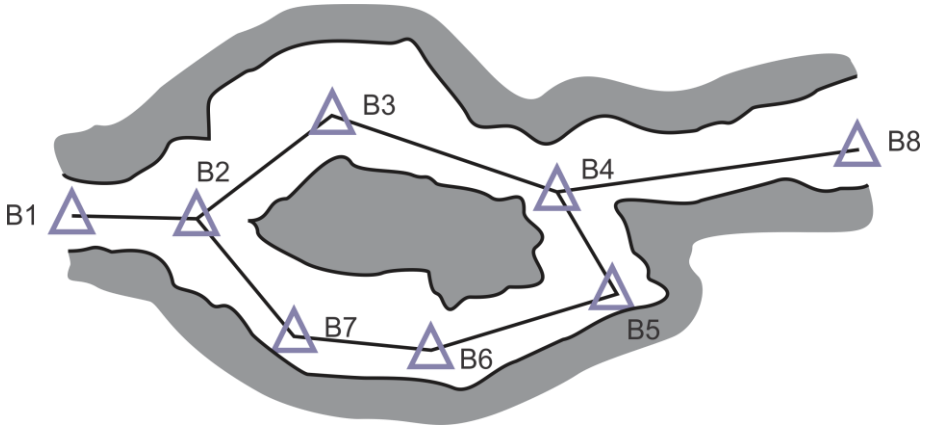


Figura 15: método de mapeamento utilizando a poligonal fechada.

A triangulação é indicada para grandes cavidades, as bases são dispostas em posições em que as visadas triangulam a galeria, geralmente encostando as bases nas paredes e fechando poligonais, porém trata-se de um procedimento complexo e demorado (Figura 16).

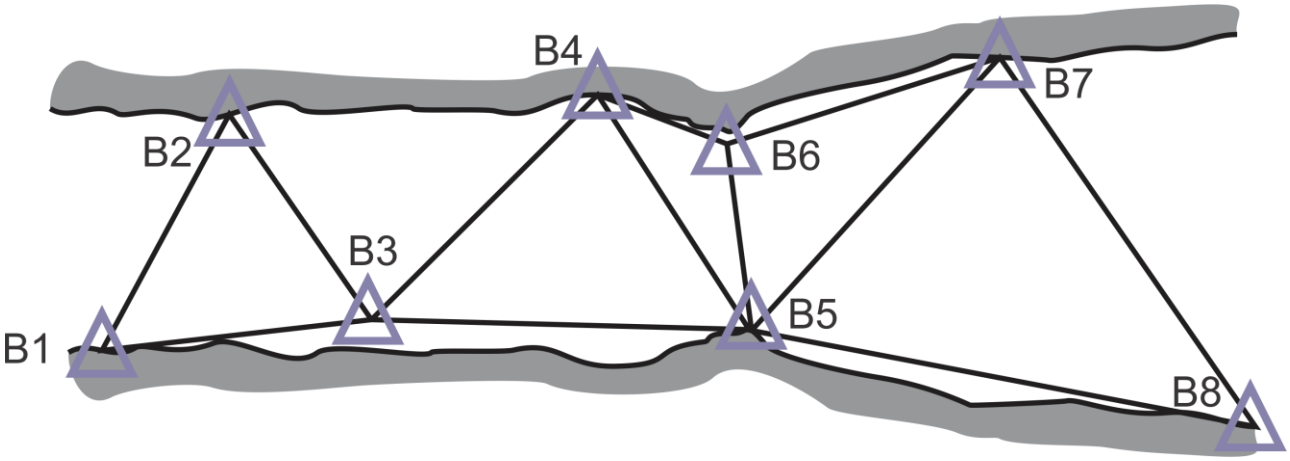


Figura 16: método da triangulação com várias poligonais fechadas.

A irradiação também é um método frequentemente utilizado para ambientes amplos, grandes salões ou galerias. Trata-se da irradiação de várias bases topográficas a partir de uma base central cobrindo a área a ser mapeada em sua amplitude total (360º) (Figura 17). A irradiação não necessariamente precisa ser realizada com o posicionamento de bases topográficas, pode ser feita com medidas auxiliares. Orienta-se a posição de base topográfica quando há continuidade da galeria e, consequentemente, da topografia.

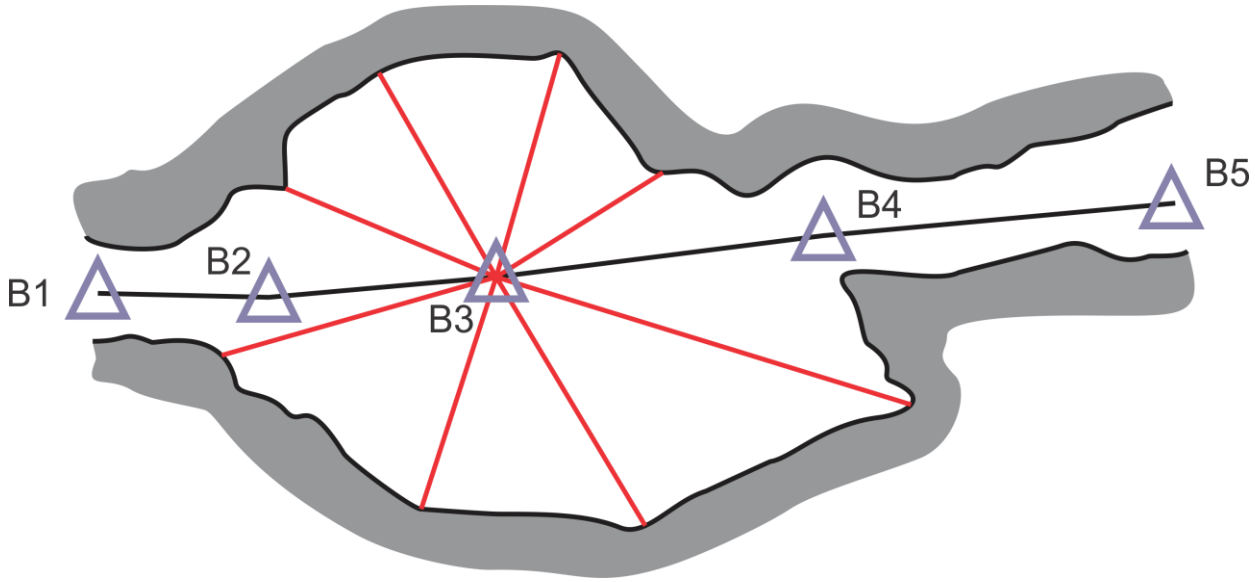


Figura 17: exemplo de mapeamento com método de irradiação com bases e visadas auxiliares.

Não há método mais correto ou menos correto. Não cabe a equipe de topografia determinar à revelia o método da progressão topográfica, na verdade são as condições morfométricas da cavidade subterrânea que irão indicar qual o método ideal a ser utilizado. As condições do ambiente subterrâneo geram vários desafios para o mapeamento espeleológico, então é muito comum a aplicação do método misto, ou seja, a combinação de dois ou mais métodos (Figura 18).

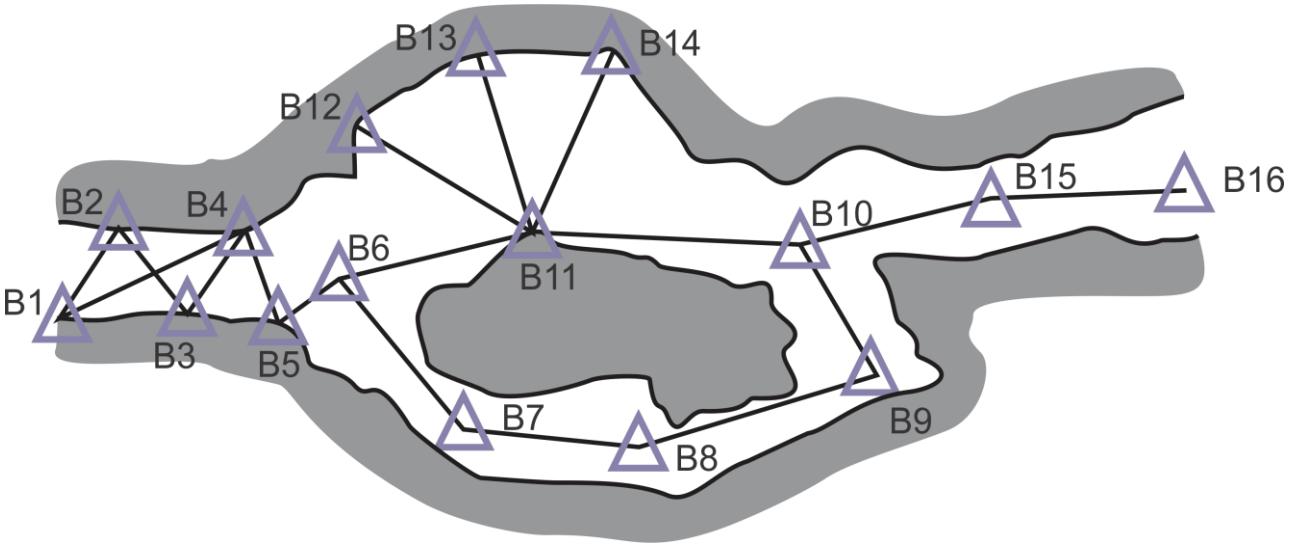


Figura 18: exemplo de mapeamento com a utilização de vários métodos de progressão topográfica (método misto).

7. INICIANDO A TOPOGRAFIA DE CAVERNAS

Neste tópico vamos apresentar o passo a passo para a realização do mapeamento de cavidades subterrâneas. Entendemos que a topografia de cavernas é algo sistemático, existem etapas específicas que devem ser seguidas. Por isso, é importante estar atento a cada fase e a cada procedimento, para evitar erros e equívocos e conseguir produzir um bom resultado final.

PASSO 1 – Escolha do grau de detalhamento do mapa

Para definir o grau de detalhamento do mapeamento de uma cavidade subterrânea há dois métodos de graduação conhecidos mundialmente, o da *Union Internationale de Spéléologie* (UIS) e o da *British Cave Research Association* (BCRA). O Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas (GUPE) utiliza o método de graduação proposto pela UIS (HÄUSELMANN, 2012), traduzido e organizado no Quadro 1:

Quadro 1: proposta de graduação do levantamento topográfico de cavernas da UIS.

	Descrição da graduação	Precisão de comprimento	Bússola	Ângulo	Razão de erro esperada
-1	Sem mapa disponível	-	-	-	-
0	Não graduado	-	-	-	-
1	Esboço de memória, sem escala	-	-	-	-
2	Mapa compilado a partir de anotações, esboços e estimativas feitos na caverna. Sem uso de instrumentos	-	-	-	-
3	Direções medidas com bússola, distâncias medidas por corda, passos ou dimensões corporais. Inclinações significativas estimadas	0,5 m	5º	-	10%
4	Levantamento com bússola e trena usando bases propositalmente escolhidas e fixadas. Inclinações medidas com clinômetro ou pelas componentes horizontal e vertical de uma linha	0,1 m	2º	2º	5%
5	Levantamento com bússola e trena. Direções e inclinação a partir de instrumentos calibrados, distâncias por trena de fibra de vidro ou metálica ou taquimetria	0,05 m	1º	1º	2%
6	Levantamento ou triangulação utilizando instrumentos calibrados montados sobre tripés para direções e inclinação. Distâncias por trena calibrada, taquimetria precisa ou equipamento do tipo DistoX calibrado	0,02 m	0,25º	0,25º	1%
X	Levantamento com teodolito ou meio	variável	-	-	variável

	equivalente				
Graduação dos detalhes do mapa					
0	Não graduado				
1	Esboço de memória. Sem escala, mas indica proporções aproximadas				
2	Detalhes de anotações, esboços e estimativas de direções e dimensões feitos na caverna				
3	Detalhes de desenhos feitos na caverna. O desenho não precisa ser em escala, as dimensões das passagens podem ser estimadas. Detalhes significativos precisam ser desenhados com acurácia suficiente				
4	Detalhes de desenhos feitos na caverna em escala, com base em medições de detalhes significativos em relação aos pontos levantados, normalmente pelo menos grau 4. Todos os detalhes de interesse espeleológico geral devem ser mostrados com acurácia suficiente de modo a que eles não estejam em erro apreciável na escala de mapeamento. Dimensões das passagens dever estar medidas				
Sufixos de qualificação					
A	Nada foi feito para se obter certeza adicional de acurácia				
B	As poligonais fechadas do levantamento estão devidamente fechadas e ajustadas				
C	O levantamento é confiável com base em instrumentos e pessoas que foram checados e corrigidos dos efeitos de possíveis anomalias				
D	O levantamento é checado e corrigido por métodos eletromagnéticos				
E	Os dados do levantamento não foram transcritos manualmente, mas foram baixados eletronicamente				
F	As entradas foram medidas com precisão				

Fonte: traduzido a partir de Häuselmann (2012).

Notas adicionais (auxiliam na definição da precisão e exatidão do mapa)

Grau -1: somente para fins de banco de dados - significa que o mapa da caverna ainda não foi desenhado;

Grau 0: somente para fins de banco de dados. Se um levantamento da caverna não for graduado, sua qualidade não pode ser avaliada. Isso é comum para mapas históricos e antigos;

Grau 3: um clinômetro Silva ou equivalente, medidas relativamente simples sem leituras precisas, qualificam para o grau 3. Mapeamento de cabeça a cabeça dos integrantes da equipe de mapeamento qualificam apenas para o grau 3. As medições de Topofil se qualificam geralmente para o grau 3 ou 4;

Grau 4: medidas com Topofil podem qualificar para o grau 4 se os disparos do levantamento não forem muito longos e se houver cuidado na leitura correta de todos os dados. O telêmetro a laser pode ser usado nos graus 4 e 5. Para atingir o grau 4, bases fixas e reencontráveis do levantamento devem ser feitas. Elas não precisam estar necessariamente nas paredes; pontos montados sobre tripés com um comprimento definido acima do piso também são aceitos;

Grau 5: DistoX calibrado, DUSI ou instrumentos equivalentes atingem o grau 5. Com uma calibração da medida de comprimento eles atingem o grau 6. Se não forem calibrados, eles devem ser graduados com 1! Topofil usado para abismos pode atingir o grau 5. Para

atingir o grau 5, as coordenadas do levantamento devem ser calculadas (coordenadas XYZ, coordenadas não polares lançadas com escalímetro e transferidor);

Grau X: modelos de teodolito ou outro equipamento semelhante podem variar, bem como as técnicas de medição. Portanto, todos os levantamentos de grau X devem incluir, na descrição escrita da caverna, especificação dos instrumentos e técnicas utilizadas, bem como uma estimativa da provável acurácia do levantamento;

Detalhe do mapa grau 4: a principal diferença entre o detalhamento grau 3 e 4 é que, para se obter grau 4, o desenho deve ser feito em escala dentro da caverna ou por cálculos e registros dos comprimentos em papel ou desenhando sobre levantamentos prévios baixados do computador;

Sufixo C: indica que a bússola, o clinômetro e as pessoas que utilizaram estes equipamentos foram checados quanto a anomalias. Anomalias magnéticas em bússolas, anomalias de inclinação nos clinômetros e anomalias oculares em pessoas são relativamente comuns. Para atingir o grau 5 todos os instrumentos devem estar calibrados. Grau 5 e sufixo C são, portanto, redundantes;

Sufixo D: usado para informar que os principais locais percorridos dentro da caverna foram posicionados (radiolocalizados) por meio de métodos eletromagnéticos (ou outros), a fim de determinar o posicionamento absoluto do levantamento em relação à superfície;

Sufixo E: indica que os dados foram baixados eletronicamente dos instrumentos (DistoX etc.), eliminando assim possíveis erros de transcrição;

Sufixo F: será usado ou em mapas que representam cavernas diferentes (para indicar que as entradas foram medidas com precisão) ou em mapas de cavernas que contém dados XYZ absolutos em uma malha. Sem informações adicionais na descrição escrita, presume-se que a técnica de medição para localizar as entradas foi feita pelo menos de acordo com o grau que foi usado na caverna. A determinação das coordenadas de entrada a partir de mapas se qualifica para as classes 1 a 3 (para mapas de alta qualidade); levantamentos de superfície para grau 3 a 6 e leituras de GPS de 3 a X, dependem dos instrumentos e métodos usados, disponibilidade de satélites etc. A fim de alcançar o sufixo F, a posição da entrada deve ser determinada ou por levantamento de superfície de pelo menos grau 4, ou por boa localização com GPS ou meios equivalentes.

Depois de analisar criteriosamente em qual graduação o mapa espeleológico se enquadra, é necessário apontá-la na descrição do produto final. A notação acordada pela UIS segue a seguinte sequência: **UISv2 4-2-BC** para um levantamento de grau 4, detalhes do mapa 2 e qualificação adicional B e C (esta sequência é apenas um

exemplo). O número da versão (v2) foi adicionado a fim de rastrear eventuais futuras revisões da proposta de Häuselmann (2012).

PASSO 2 – Abertura de nova topografia no *TopoDroid*[7]

Ao iniciar uma nova topografia no *TopoDroid*, deve-se dar o comando para não permitir a comunicação *bluetooth*. Esta opção só deve ser acionada quando na utilização de trena *laser* do tipo DistoX. Após, o símbolo de soma na tela inicial do aplicativo deve ser selecionado (Figura 19a), o que indica que um novo levantamento está sendo adicionado. Depois, uma janela intitulada “nova topo” abrirá automaticamente (Figura 19b).

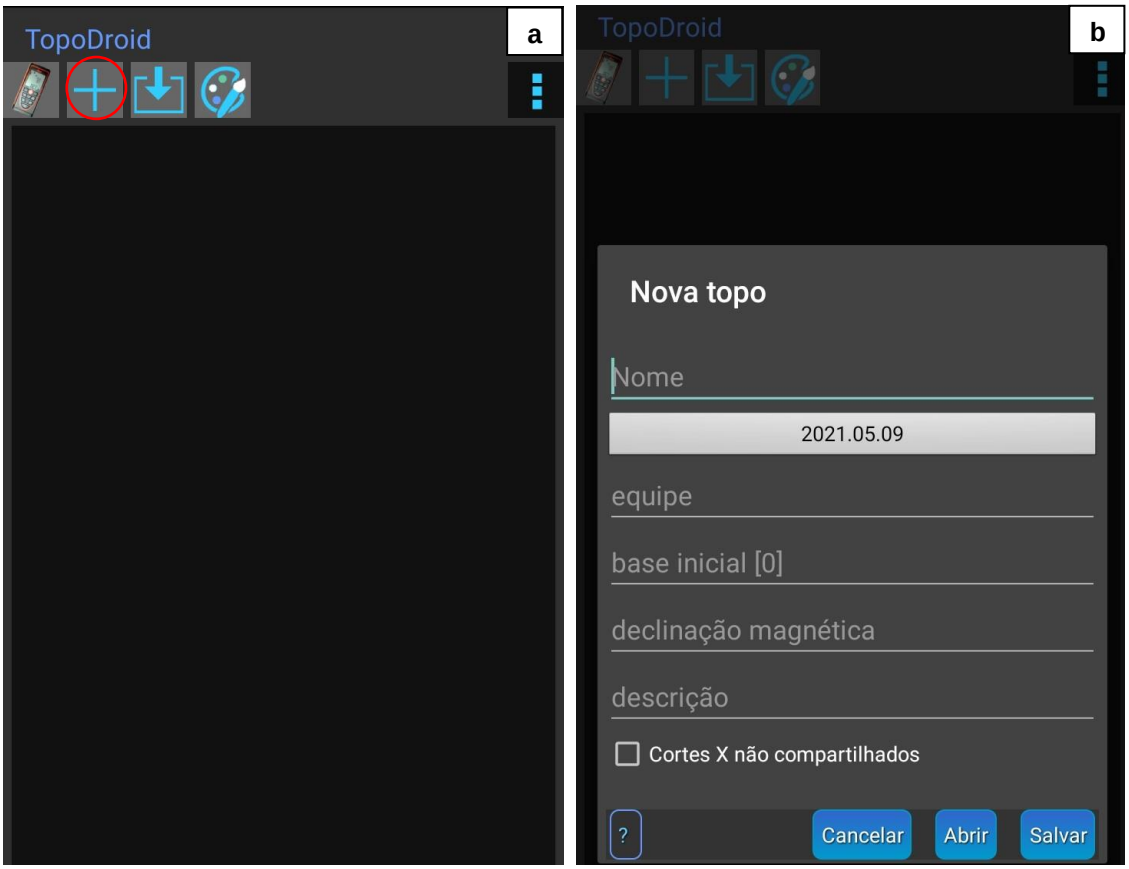


Figura 19: Telas do *TopoDroid* - a) tela inicial; b) tela após adição de nova topografia.

O preenchimento do **nome** é obrigatório e se refere à denominação atribuída à cavidade subterrânea que será mapeada. Uma lista com todos os nomes das cavidades

[7] Para conhecer de forma detalhada o *TopoDroid* sugerimos a leitura do manual do usuário disponível no próprio aplicativo e também em PDF no endereço: https://sites.google.com/site/speleoapps/home/topodroid/user-manual

já mapeadas ou com mapeamento em andamento aparecerão na tela inicial a partir do avanço dos trabalhos. O nome não deve incluir o caractere "/" (barra). A **data** já vem pré-definida (data atual), seguindo o formato ano/mês/dia. Os nomes dos integrantes do trabalho de mapeamento devem ser inseridos em **equipe**.

A **base inicial** deve ser 1 se a topografia iniciar na linha de pingueira, ou 0 se começar em um ponto externo. A **declinação magnética** está "desativada" por padrão. Se esse dado já for conhecido pode ser inserido, caso contrário, pode-se pesquisar pelo mesmo posteriormente, em escritório, depois de se obter as coordenadas de um ponto fixo (a entrada da caverna, por exemplo) com o GPS. A declinação deve ser inserida em graus decimais. A faixa de valores aceita é -360°, 360°. A **descrição** é opcional, mas é interessante preenchê-la com dados básicos da cavidade e/ou do levantamento. As seções ou **cortes x** na base podem ser compartilhados entre os esboços de levantamentos ou exclusivas para cada esboço. Esta escolha deve ser feita quando o levantamento é criado e não pode ser modificada posteriormente porque afeta os esboços existentes. Após a inserção dos dados da nova topografia, a mesma pode ser salva, e estará disponível na tela inicial do aplicativo.

PASSO 3 – Posicionamento da base topográfica 1

Na medida em que as bases vão sendo posicionadas elas deverão ganhar números crescentes, para facilitar a interpretação e a progressão da topografia. A base topográfica 1 deverá estar situada no início exato da caverna (ponto zero da cavidade), conforme mostram as figuras 9 e 10.

PASSO 4 – Definição do local da base topográfica 2

Após, deverá ser posicionada a base topográfica 2 (Figura 20). Sugere-se a utilização de um ponto que apresente uma visada não muito longa (no máximo 10 metros), pois quanto mais próximas forem as bases topográficas, mais detalhe o mapa terá e, consequentemente, as distorções são diminuídas e os erros evitados. Lembre-se que se você estiver na base 1, obrigatoriamente, a base 2 deverá ser visível, sem nenhum obstáculo que possa impedir ou atrapalhar a leitura dos equipamentos, sobretudo a distância da visada.

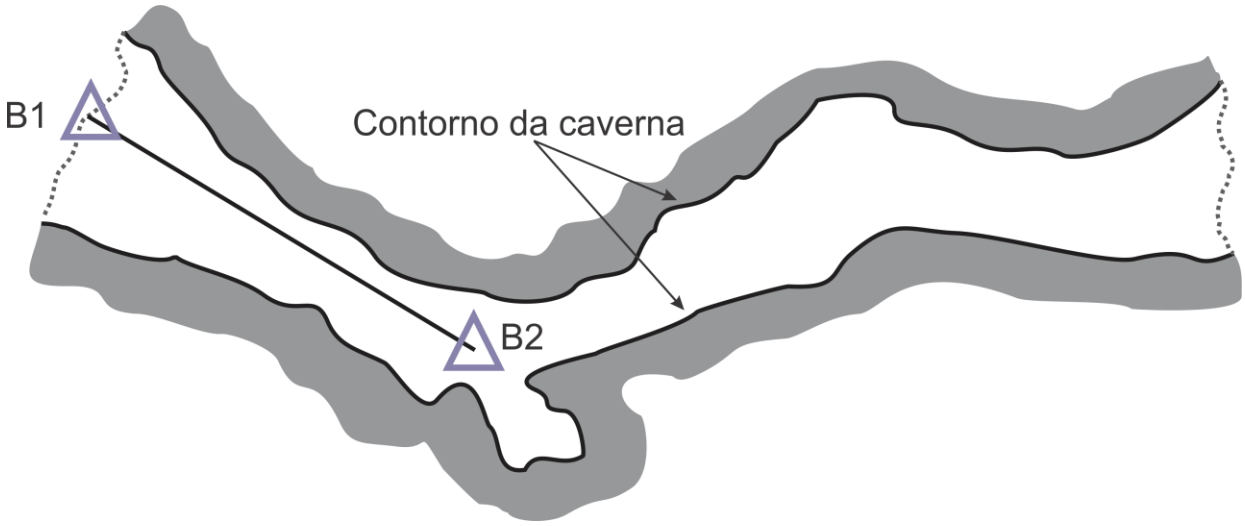


Figura 20: posicionamento das bases topográficas 1 e 2 (B1 e B2). A linha preta representa a visada topográfica 1.

PASSO 5 – Leitura das medidas da visada e distâncias horizontais e verticais da base topográfica

Depois de posicionadas as bases, a pessoa que estiver responsável pelos instrumentos de medição deverá ler a distância, inclinação e o azimute da visada, posicionando os equipamentos sobre a base topográfica (respeitando a altura predeterminada em relação ao piso da caverna).

Após, deverá realizar as medidas de distâncias horizontais e verticais na base topográfica 1, incluindo a lateral direita, lateral esquerda, profundidade e altura. Este conjunto de medições deve ser realizado em todas as bases topográficas do mapeamento espeleológico (figuras 21 e 22).

Importante: no método adotado pelo Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas (GUPE), as medidas laterais devem sempre estar encaixadas em ângulo reto (90°) em relação à visada e as medidas verticais devem ser realizadas em ângulo reto (90°) em relação à linha do horizonte.

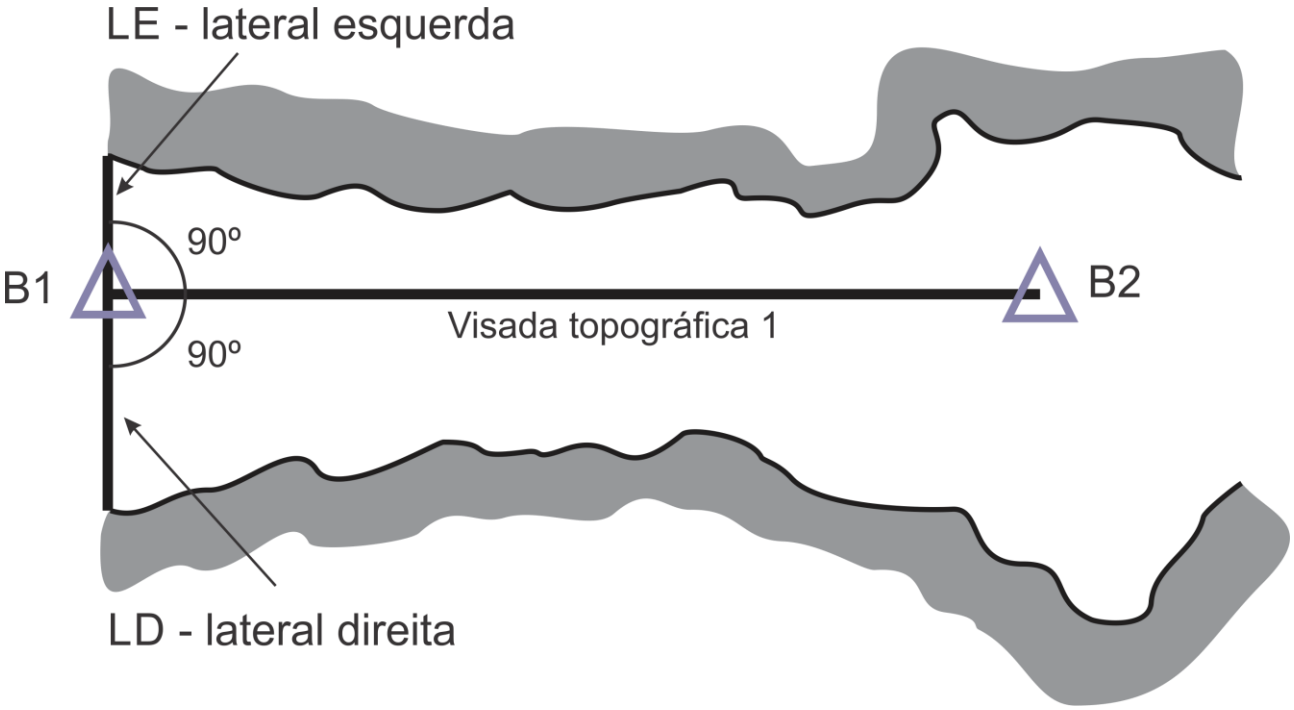


Figura 21: no exemplo acima (planta baixa de uma suposta cavidade) é possível observar as medias de distância da lateral esquerda (LE) e lateral direita (LD) da caverna, realizadas a partir da base até as paredes da cavidade, sempre formando um ângulo de 90° em relação à visada.

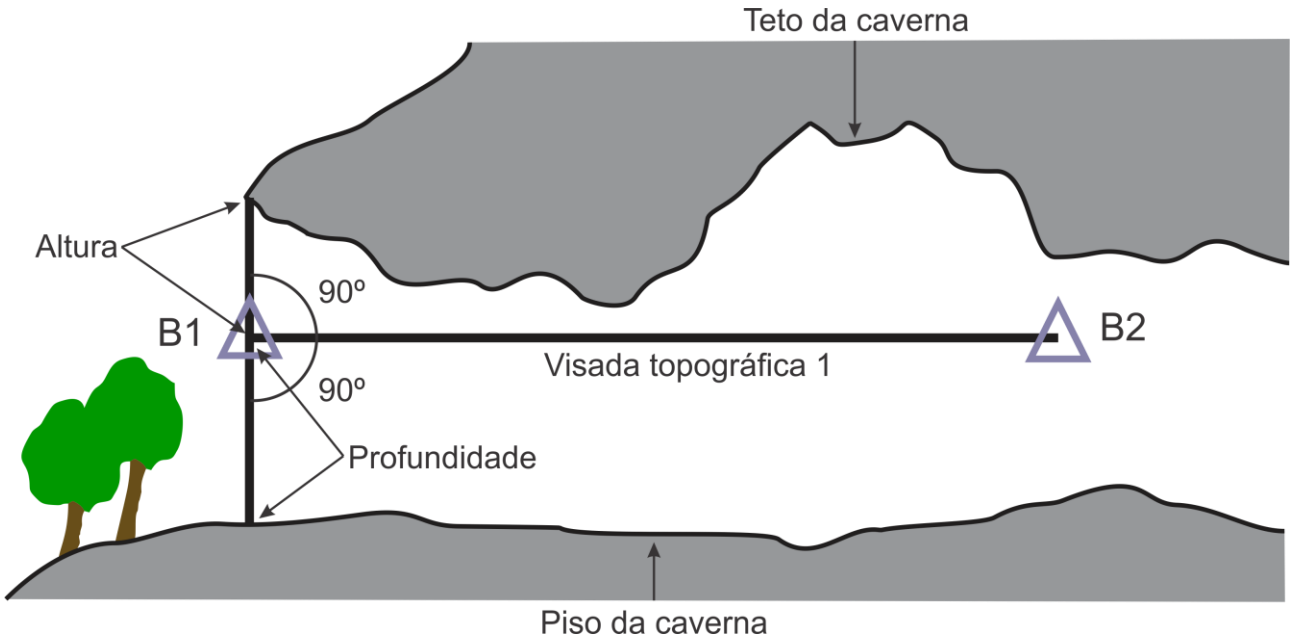


Figura 22: no exemplo acima (perfil longitudinal da cavidade fictícia apresentada na Figura 4) é possível observar as medias de altura e profundidade da caverna realizadas na base topográfica 1 (B1). As medidas de altura e profundidade devem ser realizadas sempre em ângulo reto (90°) em relação à linha do horizonte. Assim como no caso das distâncias das laterais esquerda e direita, as medidas de altura e profundidade neste exemplo formam um ângulo de 90° em relação à visada devido ao fato da inclinação estar em 0°.

PASSO 6 – Inserção dos valores das medidas no *Topodroid*

Se a equipe de topografia não utilizar um aplicativo para mapeamento de cavernas, como, por exemplo, o *TopoDroid* (programa de uso padrão do GUPE), os valores das medidas deverão ser inseridos em uma ficha específica, denominada de formulário de topografia. Este formulário deve conter no mínimo as seguintes informações: nº da base topográfica, distância entre bases, inclinação, azimute, distâncias horizontais (laterais direita e esquerda), distâncias verticais (altura e profundidade) e observações.

Para incluir os valores das medidas no *Topodroid* deve ser clicado no botão "inserir medidas manualmente", conforme mostra a Figura 23a. Na sequência, será aberta uma nova aba para inclusão dos valores obtidos (Figura 23b).

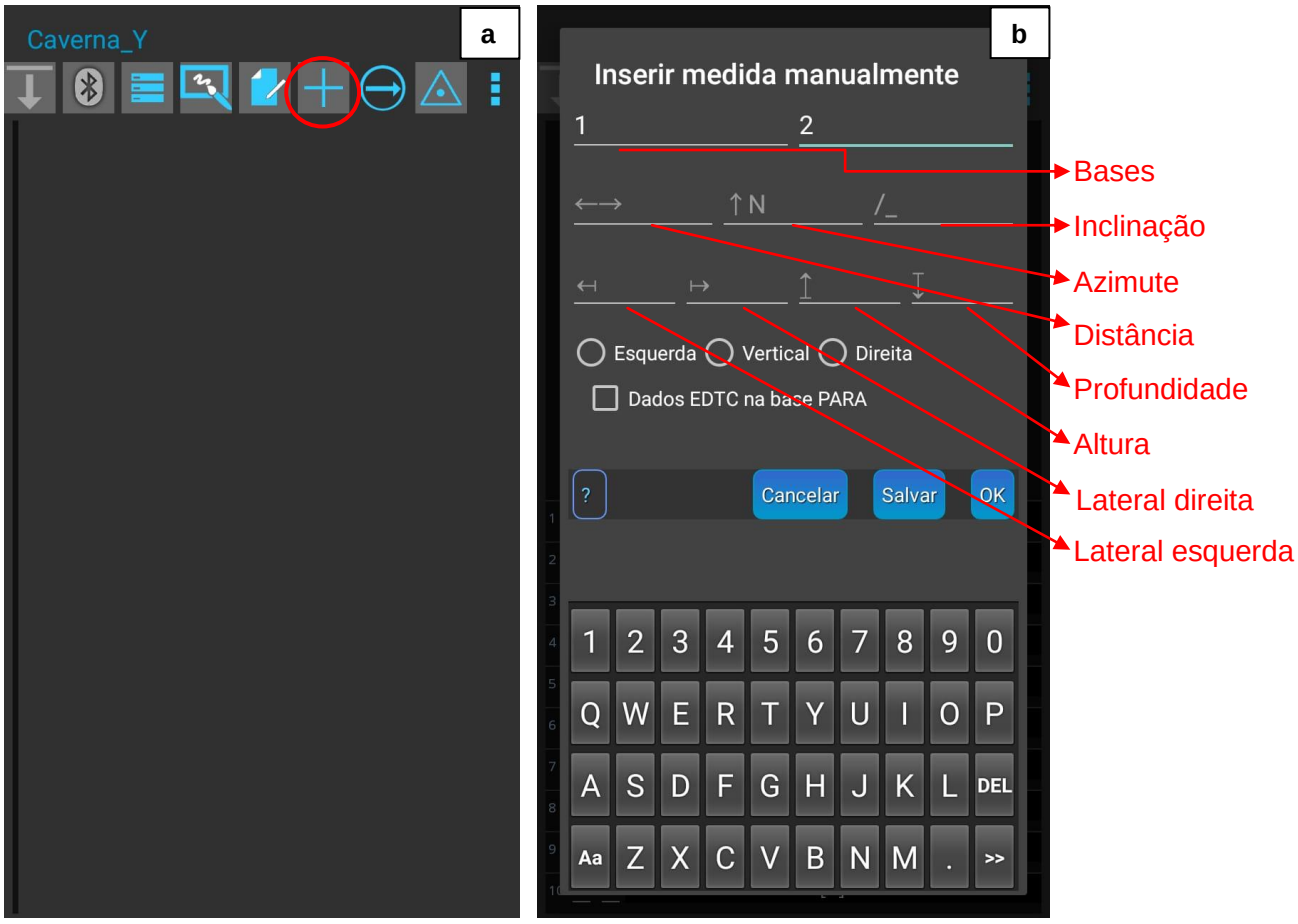


Figura 23: Telas do *TopoDroid* - a) tela inicial com circulo indicando botão para inserir medidas manualmente; b) tela com os espaços para inclusão dos valores levantados durante a topografia.

Após inserir as medidas e clicar no botão salvar, automaticamente a aba retorna para a página inicial, apresentando as mensurações, conforme mostra a Figura 24a. Depois da inserção dos dados é possível realizar correção nos valores das medições e do

número das bases, caso necessário, conforme indicado na Figura 24a e b, basta clicar nas medidas que sequencialmente abrirá uma aba de formatação.

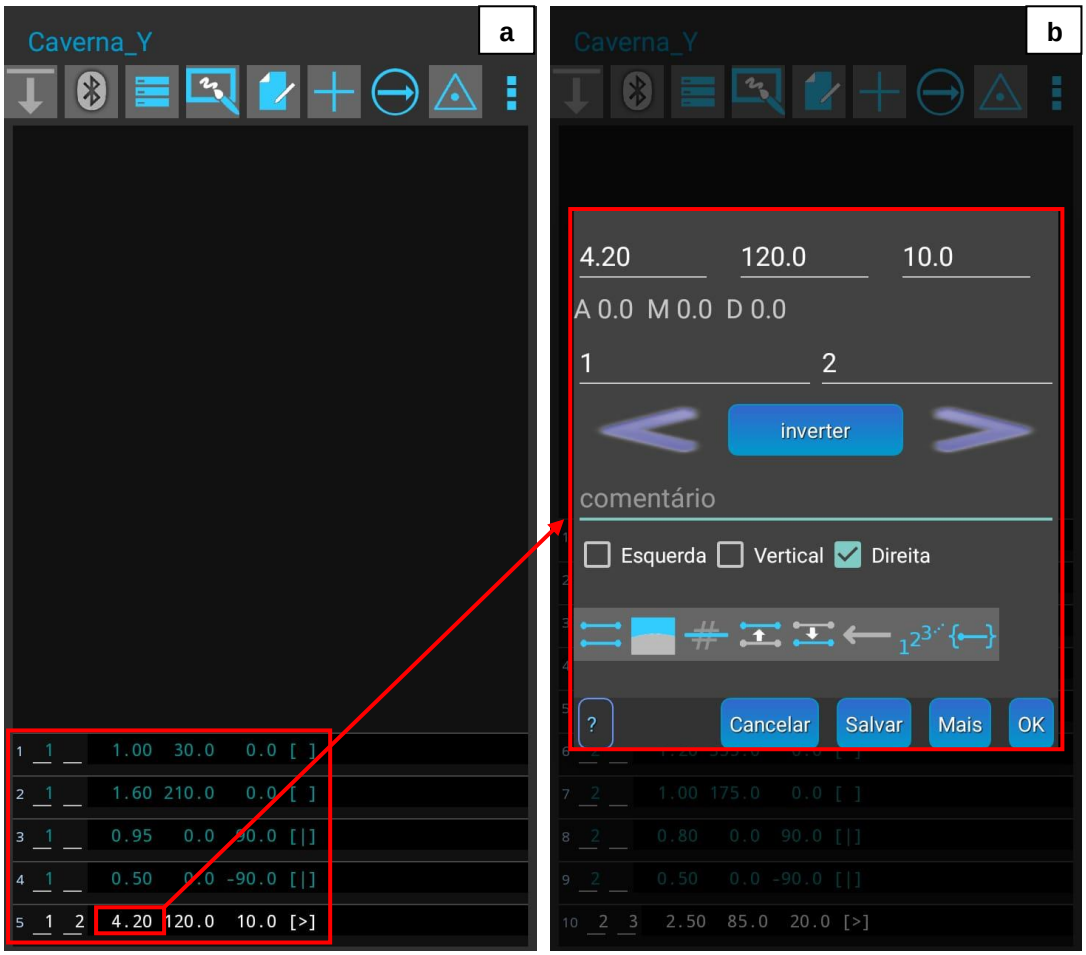


Figura 24: Telas do *TopoDroid* - a) tela inicial com as medidas da primeira base; b) tela para possíveis correções dos dados após inserção dos valores. Na figura a, o retângulo menor, indica o local de clique para a abertura da tela de formatação (figura b).

PASSO 7 – Criação de novo croqui da topografia no *TopoDroid*

Com a definição das bases topográficas 1 e 2 e a inserção das medidas desta primeira visada no *TopoDroid*, já será possível iniciar o desenho do croqui da topografia no aplicativo, uma vez que a grade ou malha geométrica é gerada automaticamente pelo aplicativo. No entanto, a definição de uma terceira base e o lançamento dos dados da visada entre a base 2 e a base 3 facilitará esse processo, permitindo a (ao) desenhista ter mais elementos para compor o desenho desse trecho inicial da cavidade.

A Figura 25a mostra a tela do aplicativo com a primeira visada fictícia salva. Para abrir a tela de desenho basta clicar no ícone do “pincel” e, na janela “croqui da topo”,

clicar em “<1> PLANTA” (Figura 25b). A tela que se abrirá na sequência mostrará a grade sobre a qual o desenho será realizado (Figura 26a). Para desenhar os contornos da cavidade e elementos que caracterizam o espaço subterrâneo, deve-se selecionar o ícone do “lápis”, e, com a caneta *touch* ou o dedo, iniciar o desenho. Na barra inferior está disponível o banco de símbolos do *TopoDroid*, com opções de linhas, pontos e áreas. Para mover o desenho, ampliá-lo ou reduzi-lo, é necessário desabilitar o ícone lápis. Outras funções muito utilizadas estão nomeadas na Figura 26b.

Na utilização de caderneta para o desenho da topografia, conforme já destacado, para facilitar a representação em escala, do real para o cartográfico, o desenho deve ser realizado em papel milimetrado em escala 1:100 (1 metro do plano real é igual à 1 cm no plano cartográfico/no papel milimetrado). Este procedimento facilitará a execução da topografia.

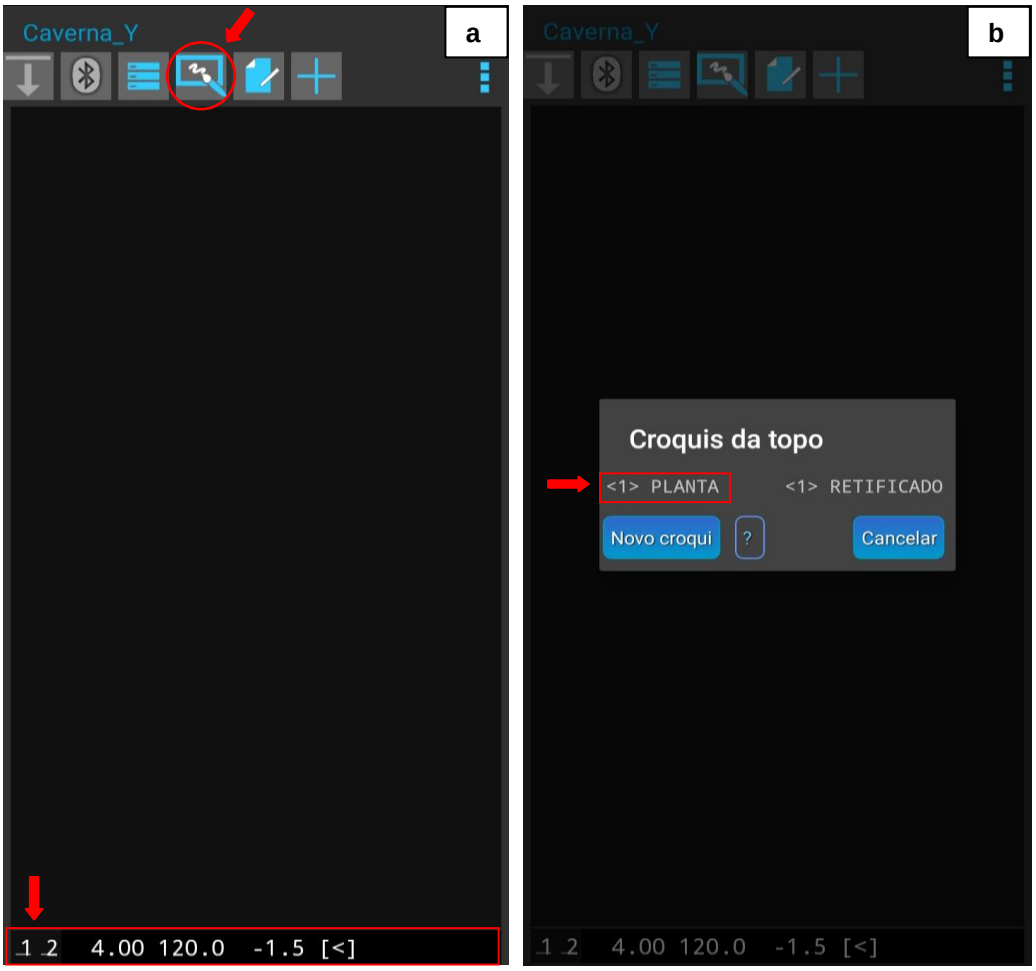


Figura 25: Telas do *TopoDroid* - passos para a criação do croqui da topografia (a e b).

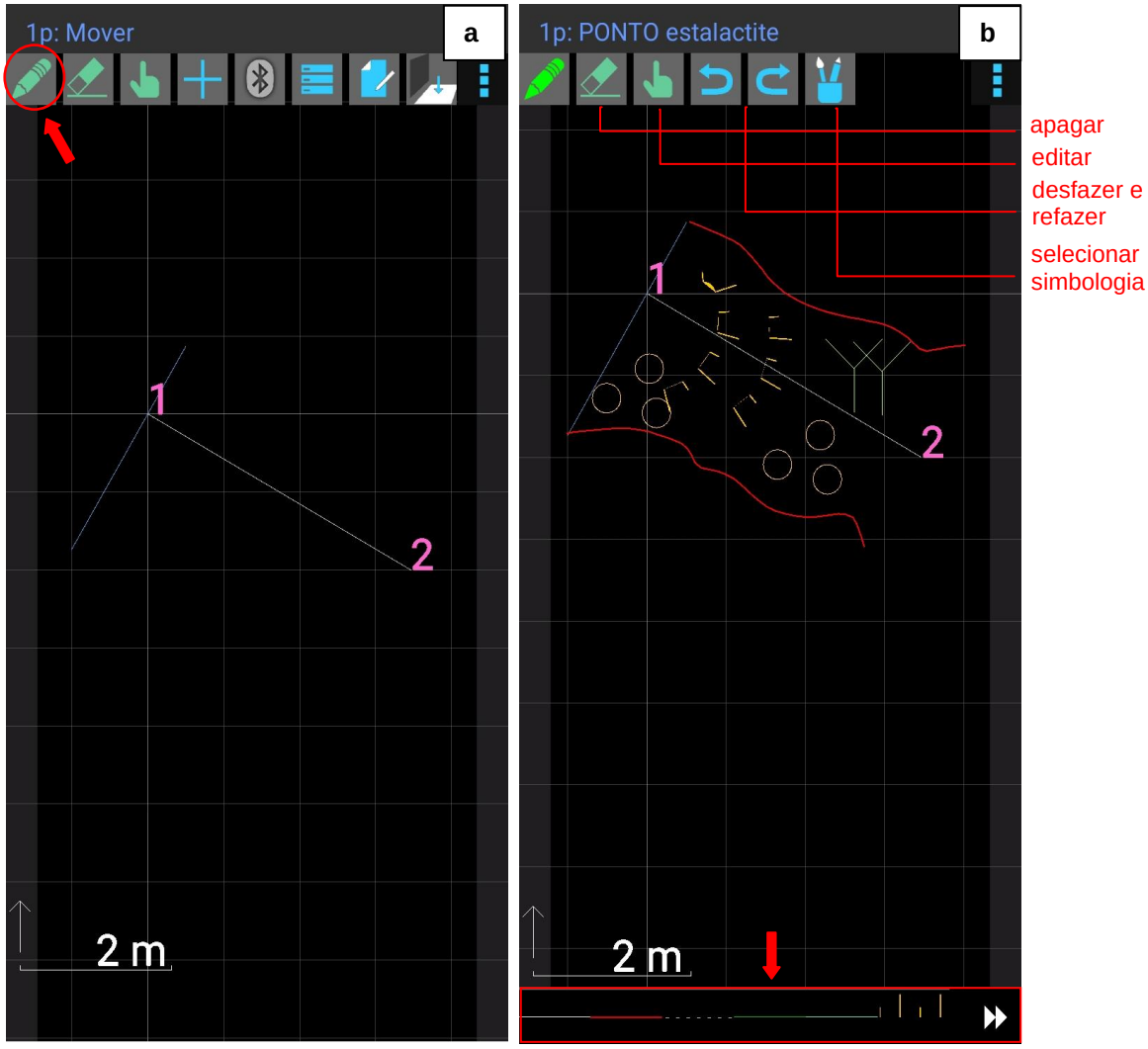


Figura 26: Telas do *TopoDroid* - passos para a criação do croqui da topografia (a e b).

PASSO 8 – Criação de seções transversais

Além da planta baixa, outras representações que podem ser realizadas durante o levantamento topográfico são as seções transversais (para ver o contorno de uma porção da cavidade) e os perfis longitudinais. As seções são muito importantes, pois quanto mais representativos forem os detalhes da caverna, mais informações forem obtidas, maior será a qualidade do mapa e a fidelidade em relação ao real. Os perfis longitudinais devem ser realizados, preferencialmente, sobre as visadas topográficas e as seções transversais nas bases topográficas, buscando representar locais estratégicos da caverna, como entrada, porção central, galerias complexas (com sobreposição, por exemplo), mudanças de tamanho de condutos, galeria em falha etc.

Depois de executar as quatro medições (lateral esquerda, lateral direita, altura e profundidade), o (a) desenhista representará o contorno da galeria, respeitando a estrutura medida (o desenho sempre será uma aproximação do real, lembre-se, é uma representação, mas tente ser o mais fiel possível!).

É importante que o desenho da seção transversal fique sempre ao lado do seu corte, colocando nas laterais as indicações em letra (A-B; C-D; E-F etc.) tanto no corte, quanto na planta baixa (Figura 27). Isso serve tanto para o desenho em papel milimetrado como para o *TopoDroid*.

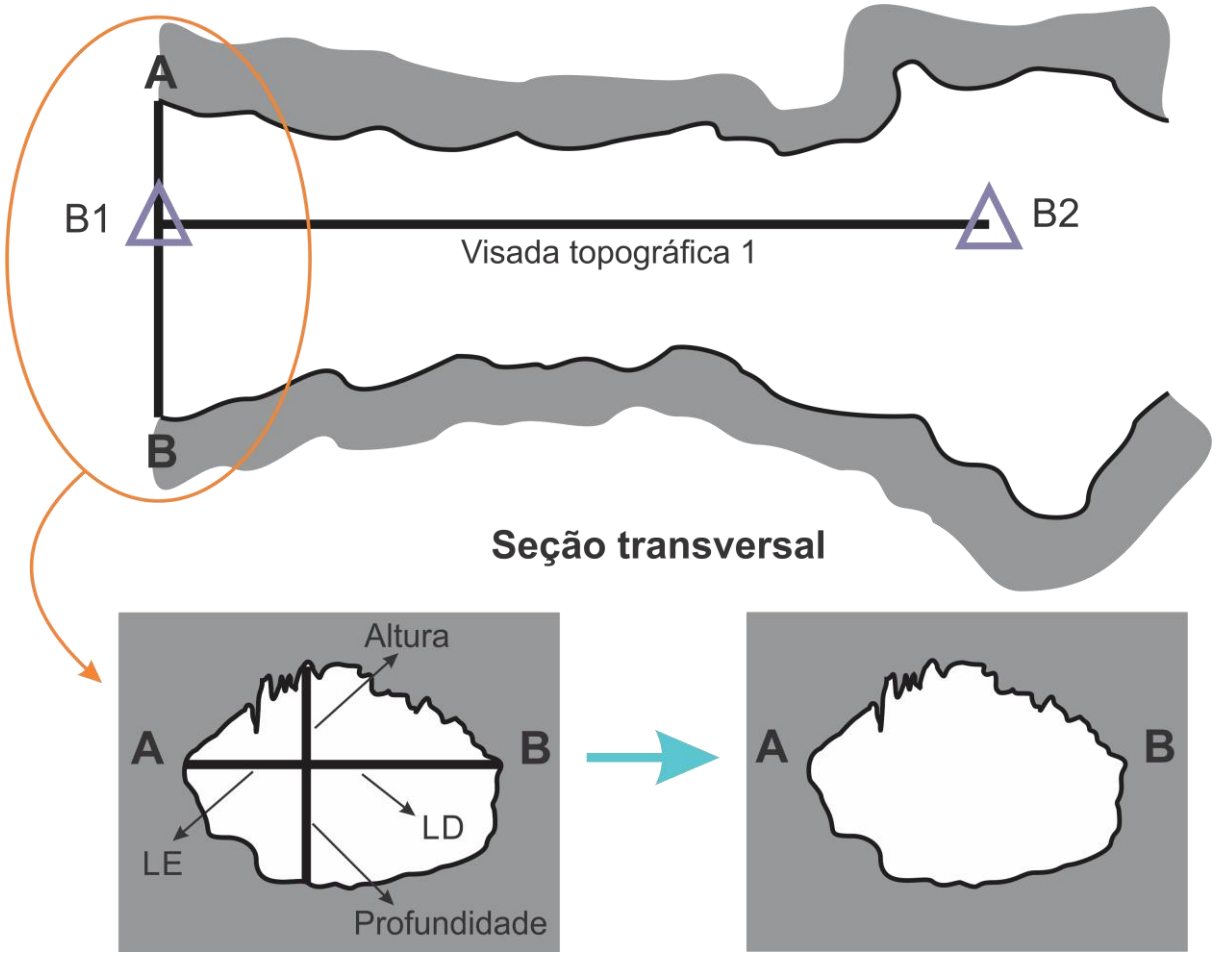
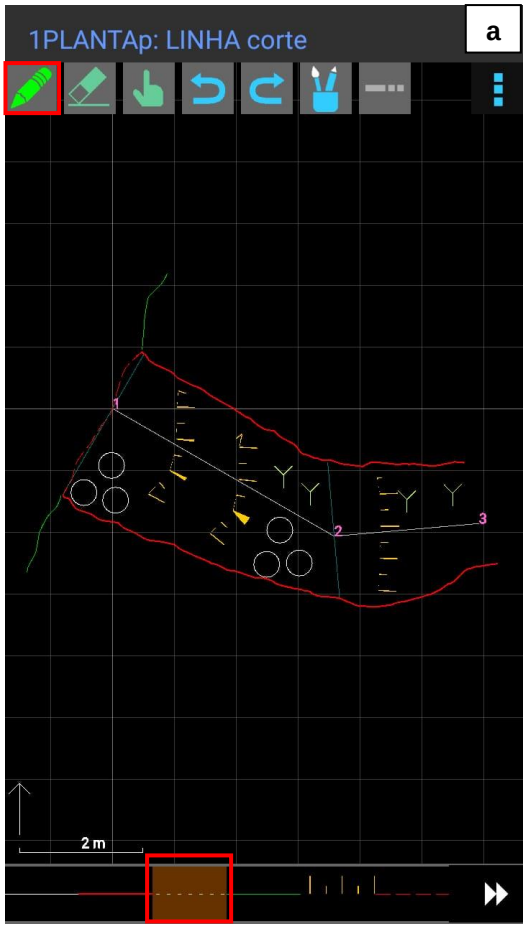
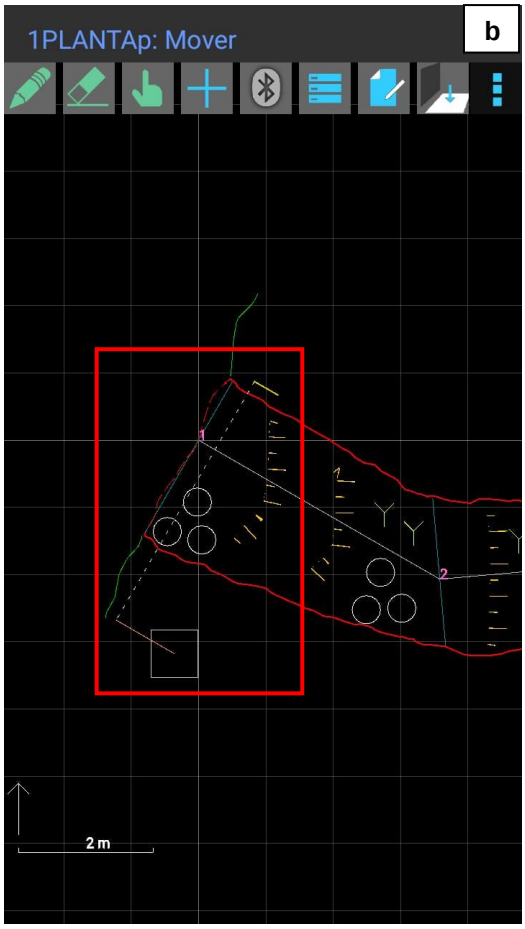
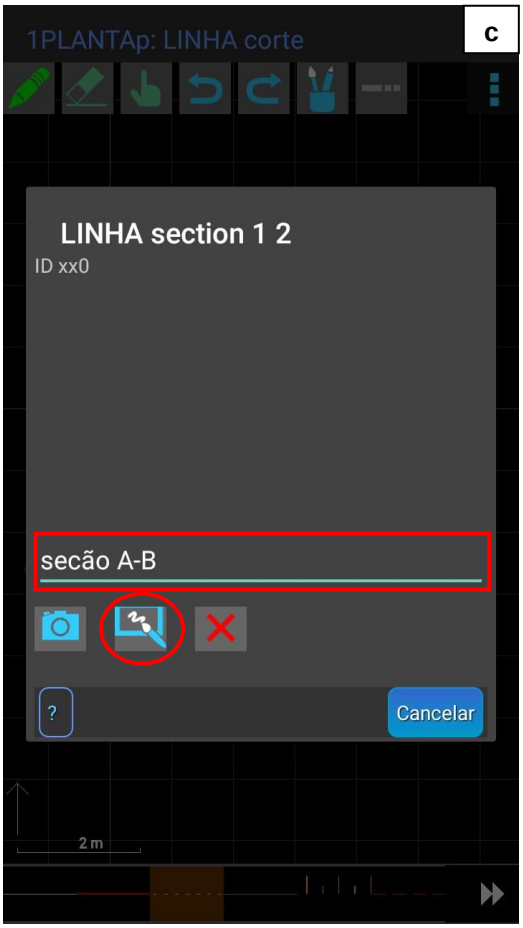


Figura 27: notar a seção transversal realizada na suposta caverna. Utilizando as medidas da lateral direita (LD), lateral esquerda (LE), altura e profundidade (medidas realizadas sempre em uma base topográfica), a (o) desenhista poderá realizar o desenho de um corte transversal da cavidade. Observe que há uma indicação com as letras A e B na planta baixa, como também na seção, isto é essencial para localizar qual ponto da caverna é este corte e pra que direção se está olhando (no exemplo, o corte indica que o indivíduo está olhando para dentro da cavidade).

Para a elaboração das seções da topografia no *TopoDroid*, é preciso seguir as orientações apontadas na Figura 28.


1PLANTAp: LINHA corte
a
2 m


1PLANTAp: Mover
b
2 m


1PLANTAp: LINHA corte
c
LINHA section 1 2
ID xx0
seção A-B
?
Cancelar
2 m

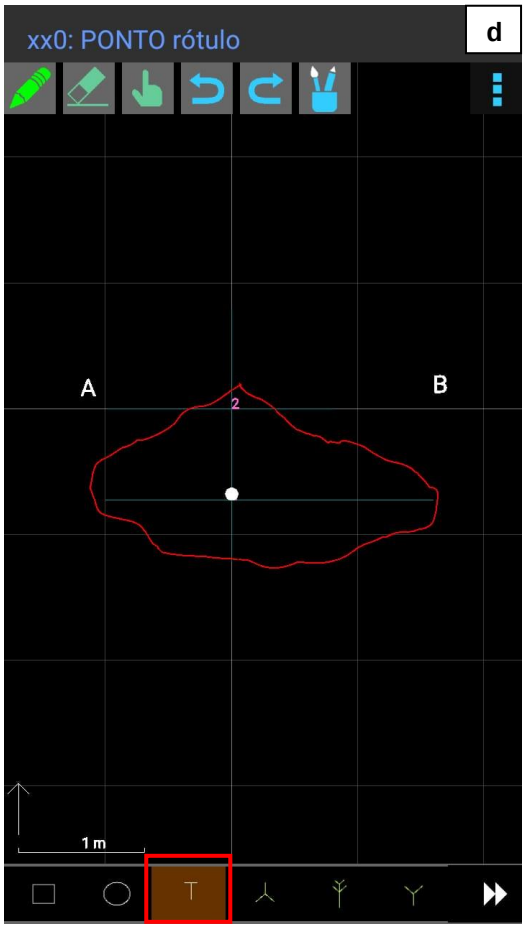

xx0: PONTO rótulo
d
A
B
1 m

Figura 28: Telas do *TopoDroid* - a) após clicar no botão de edição (lápis), clicar no elemento “corte” (indicado com o quadrado vermelho); b) traçar a linha de corte no mapa (planta baixa), de forma transversal à visada (preferencialmente sobre a base topográfica ou o mais próximo possível); c) após estabelecer a linha de corte, automaticamente abrirá uma aba com formatações iniciais da seção. O retângulo indica o local para nomear a seção, sugere-se o uso de letras, exemplo: A-B, C-D, E-F. Para desenhar a seção é preciso clicar no botão edição de desenho, conforme botão circulado em vermelho; d) automaticamente, abrirá uma nova aba, onde será possível realizar o desenho a partir da grade de medidas de altura, profundidade e laterais esquerda e direita. Para inserir as letras A-B no corte, clicar no símbolo “rótulo” presente na aba dos pontos (indicado com o quadrado vermelho).

PASSO 8 – Posicionamento da base topográfica 3

Após realizar as medidas na base topográfica 1, o próximo passo é definir a localização da base topográfica 3 e manter a base topográfica 2 como ponto de leitura para a segunda visada do mapeamento.

A progressão topográfica deve seguir esta ordem, repetindo igualmente os passos anteriores. Lembre-se que ao posicionar nova base topográfica você sempre deverá manter a base topográfica de vante da visada anterior, por exemplo: tendo como últimas medidas as realizadas na visada topográfica 2, entre as bases topográficas 2 e 3, para realizar a visada 3 deve ser posicionada a base 4, mantendo a base 3 como ponto de medição da visada, e assim sucessivamente (Figura 29).

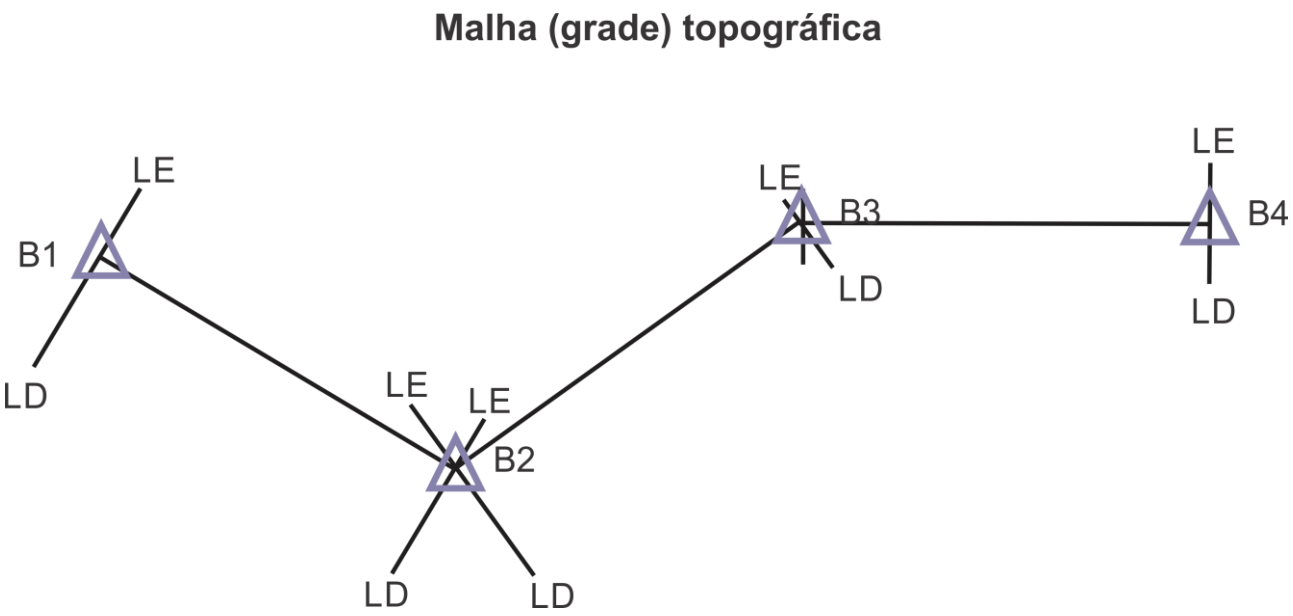


Figura 29: com o término da progressão topográfica (no método da poligonal aberta, conforme exemplo), as medidas realizadas formarão a malha topográfica (esqueleto da caverna), isto auxilia na realização do desenho dos contornos da cavidade e demais elementos do ambiente subterrâneo.

PASSO 9 – Medidas auxiliares

Devido às irregularidades presentes na cavidade e a própria complexidade do ambiente subterrâneo, como por exemplo, grandes extensões e diferentes padrões de desenvolvimento, são frequentes as situações que exigem medições adicionais, além das visadas entre as bases topográficas. Nestes casos utilizam-se as medidas auxiliares (Figura 30).

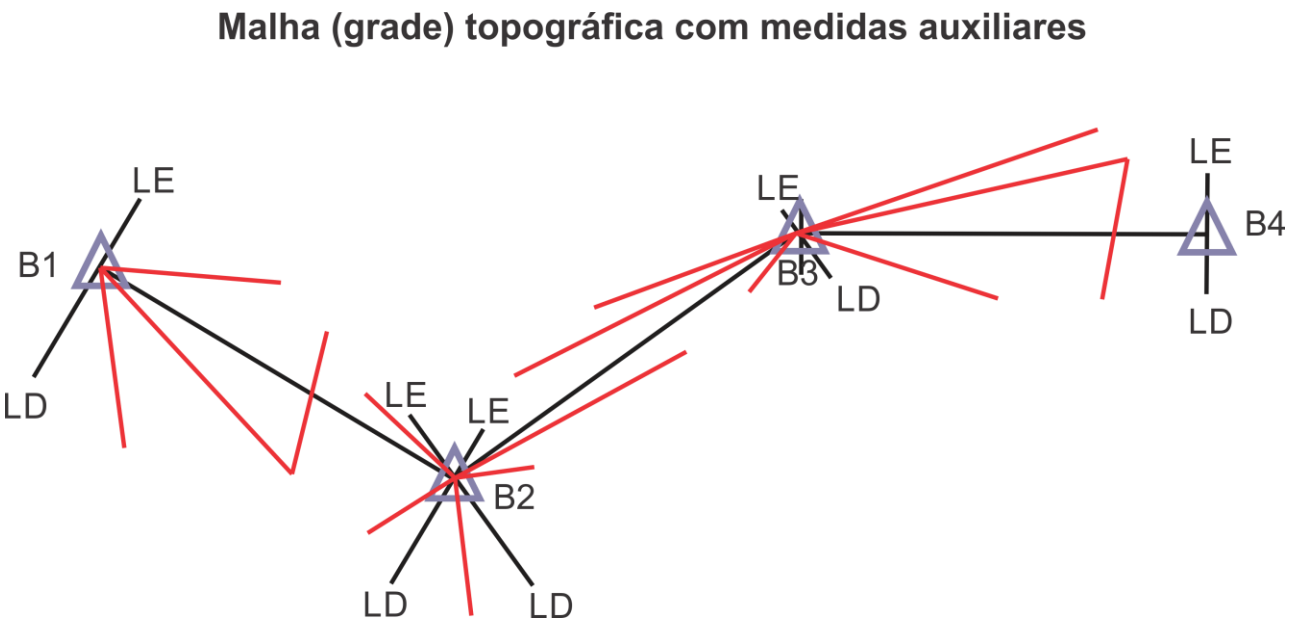


Figura 30: com a realização das medidas auxiliares o desenho da cavidade fica mais facilitado, possibilitando atingir graduação elevada na representação de elementos do ambiente subterrâneo.

As medidas auxiliares podem seguir o método da poligonal aberta e da irradiação. Devem ser realizadas a partir de uma base topográfica e conter valores de distância, inclinação e azimute.

Não há limites para o uso desta complementação na topografia espeleológica, sendo que quanto mais medidas auxiliares forem executadas, maior será o grau de detalhamento do mapa. Este artifício auxilia diretamente o trabalho da pessoa responsável pelo desenho da planta baixa, pois esta terá uma boa referência métrica para adicionar os elementos subterrâneos em escala e com precisão (Figura 31).

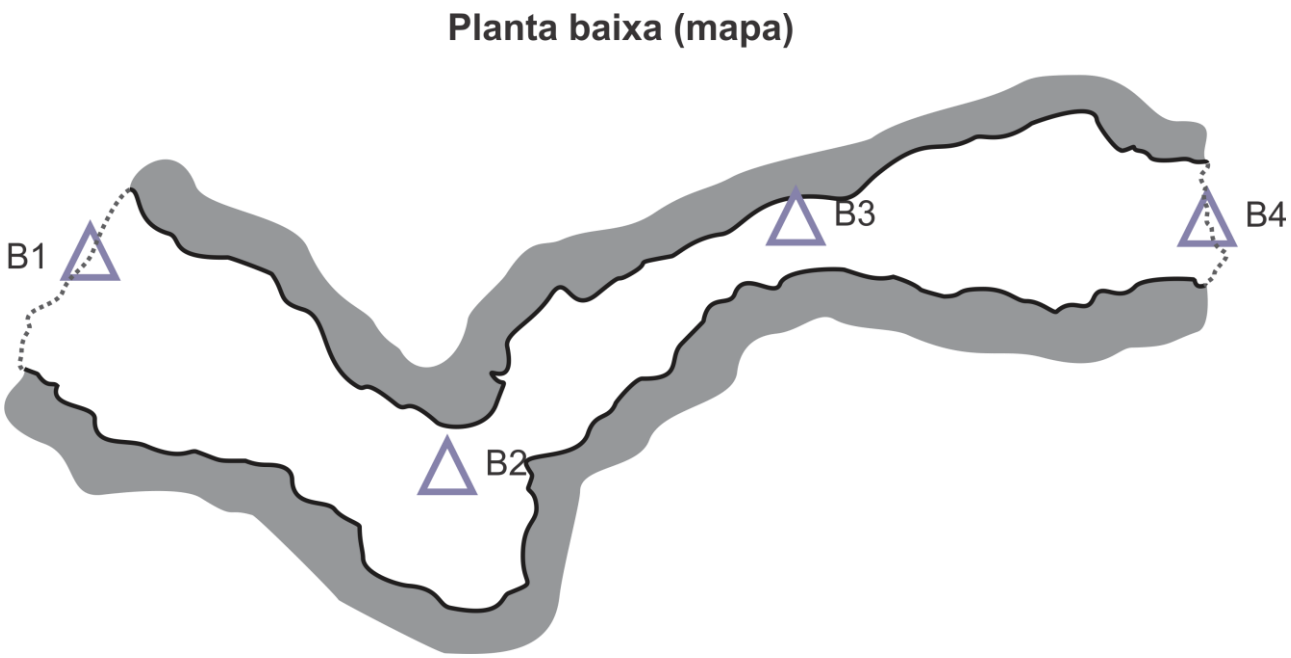


Figura 31: com a realização das medidas durante a progressão topográfica (visadas entre bases e auxiliares e laterais direita e esquerda), a (o) desenhista poderá construir o desenho da caverna, representando seus contornos, feições e elementos diversos. A planta baixa acima mostra como o mapa ficará sem a malha (grade) topográfica.

Observações gerais

Durante a progressão da topografia é fundamental realizar todas as medidas nas visadas e nunca mover as bases topográficas antes de terminar as medidas horizontais e verticais quando a base for flutuante. A atenção é necessária para evitar erros! O GUPE não trabalha com bases topográficas fixas com marcação artificial, pois não considera conveniente e ambientalmente correto a marcação com tinta ou outras formas invasivas de gravação das bases do mapeamento. Assim, utilizam-se bases flutuantes e bases fixas naturais, e quando necessário, realizam-se pequenas marcações temporárias em blocos ou paredes, buscando o menor impacto possível.

A quantidade de bases topográficas e medidas auxiliares executadas durante o mapeamento estão condicionadas à graduação desejada para a topografia e às características da cavidade. Cavernas mais retilíneas podem ser mapeadas com bases topográficas bem espaçadas, de 10 metros, por exemplo. Contudo, cavernas irregulares, com várias bifurcações, entre blocos ou características labirínticas, exigem visadas mais curtas e, consequentemente, mais bases topográficas e medidas auxiliares. Estas questões dependerão, principalmente, da velocidade da progressão topográfica que a

equipe de topografia deseja alcançar, atrelada ao tempo disponível para a realização do trabalho de mapeamento da caverna.

Seguindo o passo a passo que foi apresentado acima, a (o) espeleóloga (o) conseguirá realizar o mapeamento de uma caverna. Mas é importante lembrar: as cavidades subterrâneas foram esculpidas pela natureza e possuem centenas de milhares a milhões de anos, trata-se de ambientes complexos, irregulares, muitas vezes perigosos, que apresentam condições complicadas de trabalho. Por isso, cada cavidade apresentará uma situação diferente, dificuldades distintas e as (os) espeleólogas (os) terão que solucionar estes problemas, tendo como objetivo um mapeamento de qualidade.

Lembre-se: a topografia espeleológica é uma prática, se você não praticar, não aprenderá. Pratique-a, conheça mais o mundo das cavernas e divulgue esta fascinante ciência.

8. ARMAZENAMENTO E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS COLETADOS

Assim que o levantamento topográfico for finalizado, é de extrema importância que os dados e documentos obtidos a partir do referido trabalho sejam organizados e armazenados adequadamente, principalmente quando da utilização de caderneta (ou papel milimetrado). Com isso, o tratamento destes dados em escritório, utilizando programas específicos de Desenho Assistido por Computador (DAC; em inglês *Computer Aided Design* - CAD), será facilitado, caso contrário, o resultado pode ser inesperado e indesejado.

É importante que a (o) espeleóloga (o) se atente que um dado mal armazenado ou mal organizado pode prejudicar a leitura e interpretação deste na fase de escritório, podendo vir a gerar erros significativos no mapa da caverna e por em risco todo o trabalho de levantamento topográfico.

Por isso, durante a topografia utilize bolsa a prova d´água para proteger o aparelho *smartphone* ou *tablet* que estiver usando. Tenha certeza que os dados foram inseridos corretamente no aplicativo de mapeamento e baixe os arquivos gerados para um computador assim que possível. Lembre-se, a tecnologia nos ajuda, mas é comum ela falhar e nessas situações muitos dados podem ser perdidos. O *TopoDroid* permite exportar os dados da topografia em vários formatos, a depender do tipo de programa que será utilizado para o tratamento dos mesmos e confecção do mapa final. O GUPE exporta os dados em formato DXF, seguindo os procedimentos indicados na Figura 32a e b.

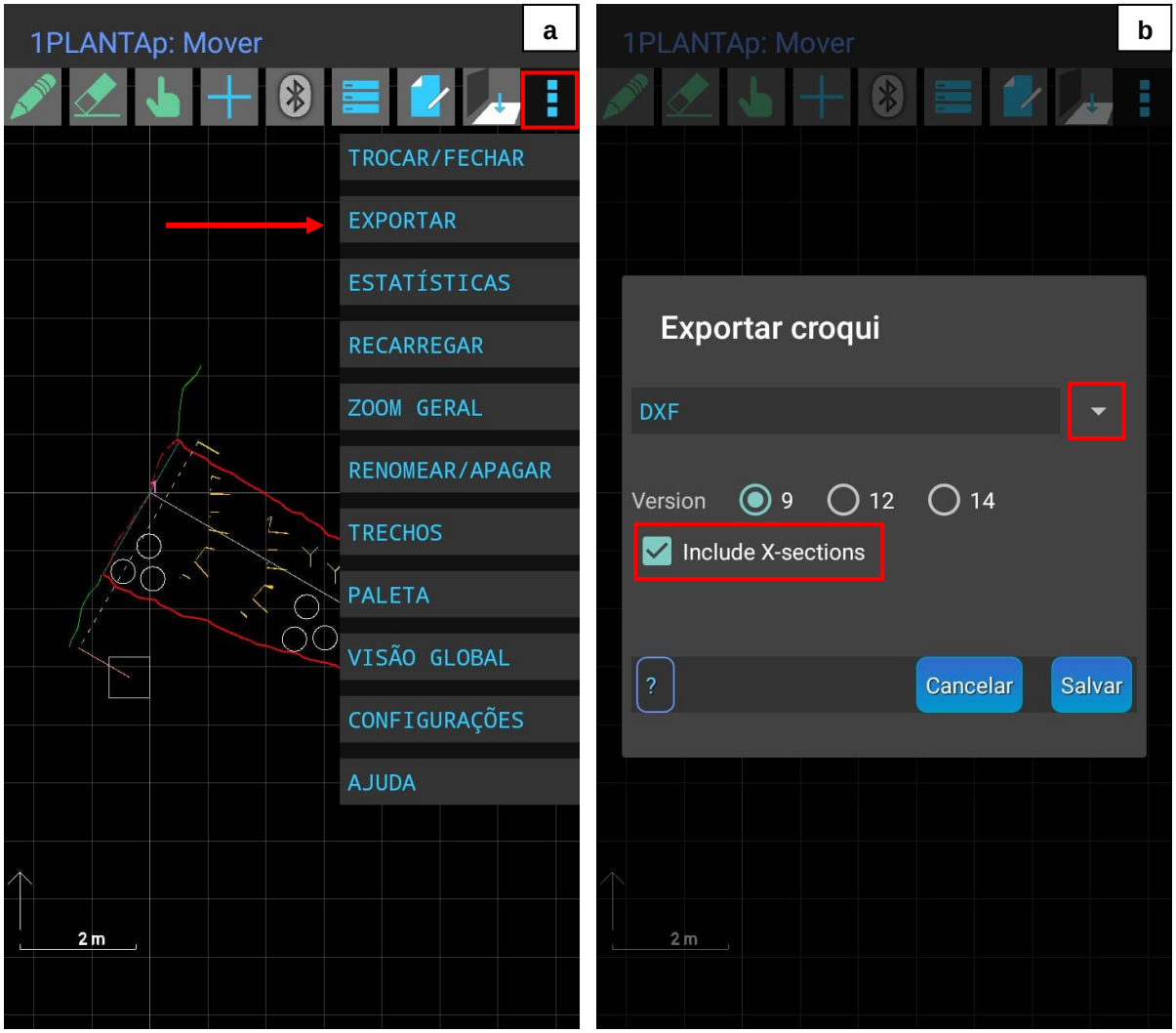


Figura 32: Para exportar o desenho da topografia é preciso acessar a edição do croqui e depois clicar nos três pontos, na lateral direita superior, conforme indicado na figura a. Automaticamente abrirá uma aba (figura b), onde será possível escolher o formato do arquivo a ser exportado, a versão, escala e demais informações pertinentes para cada tipo de formato disponível. Como o GUPE utiliza o arquivo em formato DXF, é importante escolher a versão adequada (conforme especificações exigidas pelo programa CAD utilizado para a produção do mapa final) e incluir as seções realizadas durante a topografia.

Na utilização de caderneta ou folhas de papel milimetrado para a topografia, armazene estes materiais em um local seco, protegido da água e da sujeira. Dentro de uma cavidade subterrânea entrar em contato com lama, assim como com a água, muitas vezes é inevitável, por isso, indica-se utilizar um plástico transparente para cobrir as folhas durante a topografia ou caderneta com papel impermeável. Se o papel sujar ou molhar demasiadamente, troque de folha durante a realização do desenho, mas cuidado para não gerar confusão com os dados. Sempre fique atenta (o), fiscalize se as informações anotadas estão legíveis e organizadas, isso é fundamental.

Depois de terminar a topografia e sair da caverna, também se atente para armazenar os dados em local seguro. Em caso de acampamento para a realização da topografia e demais levantamentos espeleológicos, há o risco de chuvas intensas, onde as barracas não aguentam e permitem a entrada de um pouco de água. Isso pode ser um fator de risco, podendo gerar perdas totais do levantamento realizado. Lembre-se: nunca é demais se prevenir. Da mesma forma, não demore muito para realizar o tratamento dos dados em escritório, pois com o tempo, muita informação pode se perder, alguns dados podem não ser tratados e o produto final pode acabar não sendo produzido.

O mapa da caverna é um dado essencial para o desenvolvimento de diversos outros estudos espeleológicos. Este material gerado fornece suporte para pesquisas geológicas, biológicas, arqueológicas, paleontológicas e para diversas outras áreas do conhecimento. Da mesma forma, o mapa espeleológico é um importante instrumento para a gestão e proteção do ambiente subterrâneo.

Conheça os mapas produzidos pelo Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas (GUPE), os modelos podem lhe ajudar em seus futuros trabalhos, principalmente o padrão estrutural das informações, as formatações e os símbolos. Entre no site e confira: www.gupe.org.br

9. REFERÊNCIAS

BRASIL. 2008. **Decreto n° 6.640, de 7 de novembro de 2008**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6640.htm. Acesso em 06 mai. 2021.

DEMATTEIS, G. 1975. **Manual de la Espeleologia.** Editorial Labor S.A., Barcelona.

FLÜGEL FILHO, J.C.; PONTES, H.S. 2011. **Espeleologia: Exploração e Planejamento.** Dolininforme – Informativo Eletrônico GUPE – Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas. Abril de 2011, ano 2 – n° 17. p. 5.

HÄUSELMANN, PH. 2012. **UIS Mapping Grades**. Survey and Mapping Working Group, UIS Informatics Commission. Version 2, 2012. Disponível em: https://www.uisic.uis-speleo.org/UISmappingGrades.pdf. Acesso em 08 mai. 2021.

MAGALHÃES, E.D.; LINHARES, J.C. 1997. **Curso prático de topografia**. Espeleo Grupo de Brasília (EGB). Brasília – DF, 6 de Dezembro de 1997. 43 p.

PONTES, H.S. 2011. **Guia prático para realização de topografia de Cavidades subterrâneas: métodos e técnicas do Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas (GUPE)**. 1ª edição. 19p.

RUBBIOLI, E.; MOURA, V. 2005. **Mapeamento de cavernas: guia prático**. São Paulo: Redespeleo Brasil, 2° Ed., 92 p.

Nota: Todos os desenhos deste material foram organizados pelo autor e autoras.

GRUPO UNIVERSITÁRIO DE PESQUISAS ESPELEOLÓGICAS
GUPE
PONTA GROSSA - PR