

EVOLUÇÃO METODOLÓGICA NO MAPEAMENTO DA TOCA DA BOA VISTA, CAMPO FORMOSO - BAHIA

Augusto S. AULER 1
Ezio L. RUBBIOLI 1
Fábio S. MASOTTI 1

Recebido em novembro/1990, aceito em março/1991

Abstract

The Toca da Boa Vista, presently the longest cave in South America at approximately 24 Km in length, is a bidimensional maze located in the northern portion of Bahia state, northeastern Brazil. Since its discovery in 1987, members of the Grupo Bambul de Pesquisas Espeleológicas have used diverse mapping techniques and instruments. Due to the high density of interconnected passages, surveying techniques commonly used in other caves had gone through changes in order to better represent the nature of this cave. The Floating Station technique with topofil was initially employed but was soon dropped because of the need for both greater accuracy and fixed stations at intersections. The Fixed Station technique is now recognized as the best approach for the Toca da Boa Vista survey. Suunto and Sisteco compasses and clinometers, and tapes are being used in the present stage of survey. A growing concern in recording passage details has surfaced since the fifth expedition, with a significative portion of the cave now possessing a degree of accuracy close to BCRA 5D. The management of all surveying data has become by far too complicated to be dealt with electronic calculators, especially due to exhaustive mathematical procedures in closing network of loops. All data is currently being processed via specialized computer software.

Key-words: cave mapping, Bahia, Toca da Boa Vista.

1. Introdução

A Toca da Boa Vista, situada no município norte baiano de Campo Formoso, é, após cinco expedições, a mais extensa caverna explorada até o momento na América do Sul. A peculiar geometria das passagens representou um desafio para os espelotopógrafos, servindo como laboratório para vários métodos de topografia. Novas técnicas foram introduzidas, adaptadas e aperfeiçoadas com o desenrolar do mapeamento. Técnicas convencionais, aplicadas com sucesso em várias outras grutas, têm sofrido modificações de modo a

1 Grupo Bambul de Pesquisas Espeleológicas, Caixa Postal 488, 30161, Belo Horizonte, MG.

se moldarem às características peculiares da caverna. Diferentes métodos e instrumentos foram utilizados com graus variáveis de sucesso. A Toca da Boa Vista foi parcialmente mapeada por 3 vezes, até que um grau de precisão aceitável fosse finalmente atingido. A história deste mapeamento foi descrita por RUBBIOLI (1990) e é recontada em detalhes neste artigo. A maior parte das metodologias aqui descritas são aplicáveis em outras cavernas e podem servir como linha de referência para grupos espeleológicos que buscam alcançar um meio termo desejável no eterno dilema precisão versus rapidez.

2. Histórico de espeleomapeamento no Brasil

Desde os primórdios da espeleologia, quando o homem começou a perceber o potencial científico e esportivo das cavernas, a topografia se fez presente como documento básico para qualquer tipo de atividade, seja no campo da pesquisa ou da exploração. Os primeiros mapeamentos de caverna no Brasil deveram-se ao naturalista dinamarquês Peter Lund e sua equipe, com uma série de topografias na região central de Minas Gerais por volta de 1835, cujos esboços originais, de autoria de P. A. Brandt, encontram-se no Museu Zoológico de Copenhagem na Dinamarca. Alguns levantamentos topográficos esporádicos aconteceram no início do presente século, efetuados por Alvaro da Silveira, Heitor Cantagalli e outros (IBGE, 1939). Mapeamentos sistemáticos passaram a se suceder de forma contínua a partir de 1937 pela Sociedade Excursionista e Espeleológica de Ouro Preto.

Em meados da década de 50 deu-se início ao mapeamento das grutas do vale do Ribeira, incentivados pela atividade de espeleólogos franceses radicados no Brasil. Tornou-se padrão nesta época e nas décadas a seguir mapeamentos com bússola Silva e Brunton e confecção de mapas por meio artesanal com auxílio de transferidor e régua. Este panorama começou a se alterar nos anos 80 com a popularização do método de bases flutuantes, introdução do sistema de bases fixas, adoção de novos instrumentos como bússola e clinômetros Suunto e Sisteco e utilização de métodos mais precisos como levantamento com bússola em tripé e com teodolito. Nesta época, uma evolução bastante dinâmica no que diz respeito a métodos e instrumentos de espeleomapeamento foi experimentada pelo Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas, cujo período de existência estende-se precisamente sobre este intervalo. Esta evolução encontra-se muito bem representada no levantamento topográfico da Toca da Boa Vista.

3. Características gerais da caverna e do sistema de topografia

A Toca da Boa Vista situa-se no município de Campo Formoso, ao norte do estado da Bahia, a cerca de 400 km a noroeste de Salvador. A descoberta deu-se em 1987 por membros do Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas. As primeiras explorações e mapeamentos nesta caverna estão documentados em uma série de artigos sintetizados em uma edição especial do boletim O CARSTE (v. 2, n. 1). A morfologia atípica e sua extensão fazem desta uma gruta única no universo de cavernas até o momento exploradas no Brasil. A Toca da Boa Vista possui um padrão labiríntico horizontal característico, com condutos entrecruzando-se de acordo com o ângulo de fraturamento. A densidade de galerias é em geral bastante alta, embora com variações dependendo da região da caverna. As dimensões dos condutos são também muito variáveis, formando um espectro contínuo desde seções de grande porte (30 por 20 metros) até passagens muito estreitas parcialmente exploradas. Na Toca da Boa Vista não se pode definir com precisão condutos principais, normalmente priorizados durante mapeamentos. Alguns condutos de maiores dimensões, dispersos pela malha de passagens da gruta, se desenvolvem por centenas de metros, ramificando-se em passagens de menores seções ou mesmo fechando abruptamente. De uma forma geral, no atual estágio de conhecimento morfogenético da caverna, é difícil prever a continuidade de uma galeria, muito embora a interpretação da direção do fraturamento pareça ser uma ferramenta útil em muitos casos.

Do ponto de vista do explorador, a densa malha de passagens exerce uma influência decisiva. A dificuldade em escolher ou distinguir as passagens foi uma experiência inédita para muitos dos exploradores. A partir de uma certa extensão penetrada, torna-se clara a impossibilidade de se utilizar somente a memória para se recorrer ao caminho de volta. Algum tipo de marcação direcional deve ser efetuada nas interseções de condutos.

O princípio de se mapear à medida que se explora, padrão estabelecido nas maiores cavernas do mundo, impôs-se naturalmente como o método mais viável. Pela primeira vez no Brasil uma gruta de grande porte foi mapeada neste sistema. Este método possibilita o registro, através de croquis e azimutes, da progressão da equipe, servindo como garantia da localização do caminho de volta. Mas talvez a vantagem mais importante diz respeito ao aspecto psicológico. Em uma caverna com milhares de passagens interconectadas, torna-se muito mais motivante aliar-se ao fator surpresa e progredir rumo ao desconhecido, combatendo assim a monotonia do levantamento topográfico.

Em cavernas labirínticas como a Toca da Boa Vista, a topografia de uma série de poligonais interconectadas, considerando que erros sistemáticos não sejam cometidos, possui um fator de autocorreção, visto que a maior parte dos erros serão aleatórios, tendendo a se cancelar mutuamente. Quanto mais poligonais forem fechadas dentro de uma poligonal maior, mais próximo da realidade será o produto final do mapeamento.

Na Toca da Boa Vista, uma equipe de pelo menos cinco pessoas tornou-se o padrão ao longo dos mapeamentos. Além dos quatro espeleólogos atuando tradicionalmente nas topografias do Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas (para croquis, anotações, bússola/clinômetro, ponta de trena), um quinto integrante é importante, prospectando as galerias à frente e definindo o caminho a ser seguido pela equipe. Em função da disponibilidade de espeleólogos, de uma a três equipes independentes foram formadas, efetuando incursões subterrâneas diárias de cerca de oito horas em média. A ausência de luz elétrica na região, o rigor de certas incursões e o limitado tempo disponível durante as expedições dificultam o tratamento de dados e confecção de mapas no local. A maior parte dos dados coletados têm sido organizados e trabalhados no retorno à Belo Horizonte.

4. Métodos utilizados

Até o presente momento da topografia da Toca da Boa Vista, dois métodos principais foram utilizados, que aqui convencionaremos chamar método das bases flutuantes e método das bases fixas (WORTHINGTON, 1987). O método das bases fixas experimentou variações quanto a instrumentos utilizados e grau de detalhamento, o que motivou a divisão desta seção em 4 diferentes abordagens que serão tratadas em separado.

4.1. Método das bases flutuantes - BRUNTON/TOPOFIO

Apenas três espeleólogos compunham a expedição que descobriu a Toca da Boa Vista. Dentre os objetivos da expedição estava a visita a várias cavernas já conhecidas no estado da Bahia e a prospecção em possível sumidouro no município de Campo Formoso (CHAIMOWICZ, 1987). A expedição, a princípio, não intencionava mapear cavernas, visto a exiguidade de tempo e as grandes distâncias a serem percorridas. No entanto, logo após o primeiro dia de explorações na Toca da Boa Vista, a importância da descoberta aliada à necessidade de uma fonte de orientação justificaram uma mudança de planos. Optou-se por um mapeamento rápido e descompromissado, utilizando os instrumentos então disponíveis, bússola e clinômetro Brunton e topofio.

A bússola Brunton é um instrumento de fabricação americana, posteriormente copiada por diversos fabricantes, notadamente japoneses. Consiste de uma caixa metálica dividida em corpo principal e tampa. Uma agulha biterminada gira sobre um disco graduado fixo no interior do qual se acopla o clinômetro. A tampa possui um espelho, essencial para a leitura do azimute. A bússola Brunton é bastante popular entre os geólogos, pela robustez e facilidade na medição de direção e mergulho das estruturas. É um instrumento muito preciso e utilizado há bastante tempo na topografia subterrânea, muito embora venha perdendo rapidamente em popularidade para instrumentos de mais fácil e rápido manuseio, como os da linha Suunto.

O topofio, aparelho desenvolvido pelos franceses é, na maioria dos modelos, um medidor de distâncias de fabricação artesanal, consistindo de um carretel de linha de costura de pequeno diâmetro interligado a alguns roletes e finalmente a um odômetro que registra a metragem de linha extraída. Todos os componentes se encaixam em um pequeno recipiente plástico, bastante robusto. O topofio é utilizado basicamente entre os franceses, sendo prático e rápido para longas visadas. Alguns modelos de topofio possuem bússola e clinômetro acoplados (PEREZ e TABERA, 1987; WARILD, 1988).

Na primeira expedição, utilizou-se o método das bases flutuantes, já há tempos em uso no Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas. Este método é bastante popular entre os espeleólogos europeus e consiste em utilizar o próprio corpo do espeleólogo como estação topográfica. O topofio é posicionado normalmente na altura da cintura, de onde é feita a medida até o outro espeleólogo situado na próxima base. Existem pelo menos três maneiras de se ler a bússola Brunton (DAUNT-MERGENS, 1981). No GBPE, adota-se a leitura através do espelho, com a bússola sendo colocada na altura da cintura. Ao mesmo tempo em que se horizontaliza a bússola através de um nível de bolha, mira-se a luz do espeleólogo posicionado na estação seguinte através de ajustes no espelho. Em seguida lê-se o ângulo vertical no clinômetro, também utilizando a luz do capacete do outro espeleólogo. Neste sistema, a posição da base topográfica é variável. Para efeito de distância, situa-se na altura da cintura, para efeito de inclinação, na altura do capacete. O terceiro espeleólogo da equipe ocupou-se das anotações e croquis.

No primeiro dia de topografia comprovou-se a inviabilidade de se fazer bases em todas as interseções, pois estas se sucediam com enorme frequência. Optou-se por longas visadas (até 120 metros), anotando-se a metragem do topofio em interseções julgadas importantes e deixando um pequeno cartão de papel no piso demarcando a posição de cada base. As distâncias laterais e alturas foram apenas estimadas, mesmo porque a metragem fornecida pelo topofio é acumulativa, tornando complicadas as medições não sequenciais.

Ao final de três dias de mapeamento obteve-se um total de 3.5 km mapeados (Figura 1). Os dados foram trabalhados ao final da expedição, onde constatou-se erros inaceitáveis nas medições de distância.

Aparentemente, a linha do topofio encontrava-se mal posicionada ao passar por um dos roletes, ocasionando erros constantes. O nível de precisão atingido ficou muito aquém do desejado. Muito embora não tenham sido fechadas poligonais, estava claro que estes erros comprometeriam qualquer mapeamento sequencial mais preciso a ser feito no futuro, principalmente considerando a natureza interconectada da caverna, onde erros em uma base tendem a ser distribuídos por várias outras bases. Assim sendo, decidiu-se por remapear a Toca da Boa Vista.

4.2. Método das bases fixas - SUUNTO/TRENA

Na segunda expedição à Bahia, em julho de 1988, as condições eram bastante diferentes da expedição anterior. Entre as prioridades da expedição estava o mapeamento da gruta do Cipó, integrante do complexo do Padre e o remapeamento da Toca da Boa Vista (AULER, 1988; WOJTKOWSKI & AULER, 1988). Nesta ocasião não utilizamos a bússola Brunton, seduzidos pela praticidade e maior precisão dos recém adquiridos bússola e clinômetro Suunto. A bússola Suunto, modelo KB 14/360RT, é um instrumento de fabricação finlandesa, consistindo de um disco giratório graduado contido numa robusta caixa metálica retangular. A leitura é efetuada através de um pequeno orifício em um dos lados da bússola, devendo-se portanto, colocar e nivelar a bússola à altura dos olhos. Alguns modelos possuem uma iluminação à base de trítio, por demais fraca para propiciar boa leitura. Na maior parte dos casos faz-se necessário posicionar uma fonte de luz acima da bússola. O clinômetro, modelo PM 360 PCT, consiste de uma unidade em separado, com as mesmas dimensões da bússola. O disco giratório é graduado tanto em graus quanto em porcentagem.

Uma trena foi utilizada para medir distâncias. Utilizou-se uma trena de PVC do tipo aberta, sem carretel, conhecida comercialmente como cabo de agrimensor.

Um número variável de espeleólogos fez parte da expedição. A primeira etapa ao sudoeste e centro da Bahia, foi cumprida com apenas três espeleólogos enquanto a etapa final, na Toca da Boa Vista, contou

com um máximo de seis pessoas. Dois espeleólogos americanos, um em cada etapa, participaram da expedição, criando-se uma boa oportunidade para intercâmbio de métodos e técnicas. Durante a topografia da gruta do Cipó, após um primeiro dia de mapeamento utilizando bases flutuantes, decidimos por utilizar pela primeira vez o método das bases fixas.

O método das bases fixas é padrão nos Estados Unidos. Para uma descrição clara e muito detalhada deste método refira-se a DAUNT-MERGENS (1981). A principal característica do método está no fato de que a estação topográfica é fixada em algum ponto da caverna, seja no teto, chão ou paredes. Uma marca mostrando o local exato da estação deve ser deixada no local, normalmente sob forma de um ponto negro feito com a chama de acetileno. No caso da Toca da Boa Vista, onde uma estação quase invariavelmente demarca uma interseção de condutos, convencionou-se escrever o número da estação de preferência em fita ou outro objeto de cor viva fixo nas proximidades da base, tornando fácil a visualização.

Para efetuar-se a visada, a bússola deve ser posicionada na estação ou no plano vertical entre as duas estações. Da mesma forma, o clinômetro deve ser colocado em qualquer ponto no plano inclinado que une as duas estações. No método das bases fixas, o posicionamento das estações, feito pelo espeleólogo que vai à frente é de suma importância para o bom andamento da topografia. Uma base colocada no piso obrigará o espeleólogo a deitar-se ao chão para leitura do clinômetro. Uma base na parede dificulta a colocação da bússola na posição ideal. O melhor é que o ponta de trena coloque as estações em projeções, seja no teto, parede ou piso, com o condicionante de que sejam acessíveis para o espeleólogo que lerá os ângulos.

Este sistema de topografia comprovou ser eficaz e rápido. No caso da Toca da Boa Vista, representou uma evolução, pois propiciou a marcação precisa e discriminada de todas as bases. Uma única equipe de topografia foi formada, com número variando entre quatro e seis pessoas. As funções eram bússola/clinômetro, trena, croquis, anotações e dois exploradores a prospectar passagens à frente. Em uma semana de trabalhos, um total de 5150 metros foi mapeado (Figura 2). No retorno a Belo Horizonte, durante o processo de confecção do mapa, constatou-se erros grosseiros em alguns azimutes. A causa determinada foi simples interferência magnética com a bússola. Infelizmente, descobriu-se um pouco tarde que a iluminação frontal Laser (Petzl), devido à proximidade, interfere com a bússola Suunto. Um erro banal que poderia ter sido evitado caso tivéssemos nos preocupado em testar os instrumentos antes. Não havia outra alternativa exceto mapear pela terceira vez a Toca da Boa Vista.

4.3. Método das bases fixas - SISTECO

Na terceira expedição, em setembro de 1989, a metodologia da topografia não se alterou substancialmente. O método das bases fixas já havia se tornado padrão em todos os mapeamentos do Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas. A preocupação maior estava em não cometer erros grosseiros. O grande número de participantes tornou possível a divisão em duas equipes distintas. Nesta expedição, utilizamos pela primeira vez uma bússola/clinômetro da marca Sisteco.

A bússola/clinômetro Sisteco é um instrumento também de fabricação finlandesa. Na verdade, é bastante similar à Suunto, a diferença básica consiste no fato de que a bússola e clinômetro estão acoplados em uma mesma unidade, tornando mais fácil e prático o manuseio. A luz interna de trítio existente em alguns modelos é bastante forte, tornando desnecessária a iluminação lateral com outra fonte de luz. Uma versão similar da Sisteco, embora sem iluminação interna, é comercializada nos Estados Unidos sob o nome de "Sightmaster".

A topografia foi realizada tanto com uma bússola/clinômetro Sisteco como por um par de Suuntos, utilizados em separado pelas duas equipes. Um cuidado extra foi tomado para se evitar a repetição das falhas anteriormente cometidas. Todos os instrumentos foram testados com visadas prévias no exterior e durante o mapeamento tornou-se padrão retirar o capacete quando da leitura dos azimutes.

Todas as passagens mapeadas durante as duas primeiras expedições foram retopografadas. Algumas longas poligonais foram fechadas, com uma precisão considerada satisfatória. Nas duas maiores poligonais

fechadas, a primeira com 122 e a segunda com 96 bases, acusou-se erros de fechamento de 4,47 e 42,7 centímetros por base respectivamente, estando o erro das poligonais menores situado dentro deste intervalo. Esta metodologia tem provado ser eficaz e tem sido mantida nas expedições subsequentes. Um total de 12,2 km foi topografado na terceira expedição, elevado a 16,15 km após a quarta e aproximadamente 24,0 km ao final da quinta campanha em julho de 1990 (Figura 3).

4.4. Topografia de detalhamento

Um dilema divide os espeleólogos do Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas desde as primeiras expedições a Campo Formoso: exploração ou topografia? No intuito de descobrir novas galerias, muitos trechos da Toca da Boa Vista foram desprezados simplesmente por estarem "cercados" por condutos já conhecidos. Como regra geral buscou-se novas regiões sempre o mais distante possível das entradas. Com isto conseguiu-se ao longo dos três primeiros anos definir uma "faixa" com cerca de 800 metros de largura onde estão inseridos os condutos, e duas direções preferenciais de orientação das galerias, oeste-leste e nordeste-sudoeste. Nas bordas norte e sul desta "faixa" os condutos estavam geralmente obstruídos por sedimento, desmoronamentos ou tornavam-se muito estreitos. Até o momento tal "faixa" se estende por cerca de 2500 metros a partir da entrada com larguras relativamente uniformes. Sendo assim, os locais mais promissores para descoberta de novos condutos que ampliassem a caverna estariam no extremo oeste.

Até a quarta expedição, em novembro de 1989, não se havia pensado em iniciar a topografia das áreas intermediárias. A partir desta campanha decidiu-se dedicar pelo menos metade do tempo das próximas topografias a estes condutos laterais, visando assim manter o grupo motivado em futuras expedições à caverna. Na quinta expedição formou-se três equipes, cada qual com a incumbência de mapear todos os condutos internos de uma poligonal pré-estabelecida. Surpreendentemente, a densidade de condutos superou todas as expectativas, fazendo-se necessárias algumas adaptações metodológicas, especialmente no detalhamento de galerias. Todos os cruzamentos de condutos passaram a ser identificados por uma base, sendo em alguns casos também marcado o início do conduto com outra estação topográfica. O maior número possível de poligonais foi fechado, na maioria envolvendo poucas bases. Com isto o rendimento da topografia caiu significativamente, sendo poucos os dias em que alguma equipe superou a marca de 600 metros mapeados. Alguns trechos da caverna tiveram que ser retopografados devido à falta de bases nas proximidades dos cruzamentos.

Iniciou-se, desta forma, um novo nível de detalhamento da Toca da Boa Vista, onde a escala do mapa, que até então estava em 1:2000, deverá ser ampliada para 1:500. Das 2062 bases até o momento definidas, 1048 foram plotadas na quinta expedição, que reduziu de 15,9 para 11,6 metros a distância média das visadas, confirmando o refinamento do detalhamento da gruta.

5. Comparação entre os métodos

Tanto o método de bases fixas quanto o de bases flutuantes foram testados em várias cavernas com diferentes características morfológicas, tornando-se transparentes os prós e contras de cada sistema.

O sistema de bases fixas apresenta a grande vantagem de fornecer uma precisão quase absoluta no posicionamento da estação e conseqüentemente nas medições de distância. Estando as bases permanentemente marcadas, qualquer visada pode ser refeita a qualquer momento por qualquer equipe. Com as bases flutuantes, a posição da estação topográfica é subjetiva, experimentando variações de acordo com a movimentação do espeleólogo. Mesmo que se convençione posicionar a base na altura da cintura, por exemplo, é difícil manter a bússola perfeitamente situada dentro do eixo vertical da base. Da mesma forma, espeleólogos de diferentes alturas causarão variações nas leituras de inclinação. Uma outra desvantagem das bases flutuantes consiste na maneira de marcar as bases. No GBPE era convenção colocar um cartão no piso. Em uma caverna onde o tráfego de pessoas é intenso, tal prática mostrou ser inefetiva, pois o pedaço de papel era facilmente removido de seu local, tornando difícil reposicioná-lo com exatidão. No caso específico da Toca da Boa Vista, o pó presente no piso facilmente obscurece a estação. No sistema das bases fixas, tal problema não

ocorre, pois a maioria das estações localiza-se nas paredes ou teto, fora do alcance de um espeleólogo desatento. No entanto, um pequeno ponto negro é muitas vezes difícil de ser localizado, podendo ser confundido com feições naturais da caverna, como guano ou depósitos minerais, requerendo por vezes a utilização do croquis para efetiva identificação.

No método de bases flutuantes, a posição da base reflete com mais fidelidade a orientação da galeria, visto que está em geral mais próxima ao centro da passagem. Nas bases fixas, a linha central da topografia normalmente faz um zig-zag entre as paredes da galeria.

No caso de mapas mostrando somente a linha que une as estações, o método das bases fixas pode levar a uma representação irreal da orientação da passagem. O mesmo ocorre no perfil de galerias, que no método das bases fixas não pode ser seguido pela inclinação das visadas. Quando for necessário um melhor detalhamento do perfil, é aconselhável que sejam feitas medidas da distância da base ao piso e teto das galerias. No caso da Toca da Boa Vista, anotamos somente a altura absoluta dos condutos, não posicionando a base neste intervalo, devido à característica essencialmente plana da gruta.

No método das bases fixas, dependendo da localização da estação, a execução de algumas visadas torna-se difícil. Por exemplo, uma base no teto dificulta a leitura da inclinação. Em tal situação, o clinômetro deveria ser posicionado na mesma altura da base, o que é muitas vezes impossível para efeito de leitura. A melhor solução para tal problema é posicionar o clinômetro à frente ou atrás ou ao lado da base, mas sempre em algum ponto sobre o plano inclinado que une as duas estações. Para a leitura do azimute, bases nas paredes representam um problema similar. Para quem efetua a leitura com o olho direito, uma base na parede esquerda representaria uma variação de ao menos 10 centímetros. A solução consiste em procurar um local que se situe no plano vertical que une as duas estações. Quando isto é impossível, como no caso de paredes lisas, deve-se extrapolar a posição da base a ser visada, tentando compensar a variação no posicionamento do instrumento na base visante. Tal extrapolação também é válida para o caso da leitura da inclinação.

A instrumentação utilizada possui vantagens e desvantagens nítidas. Pelo já exposto ficou claro que, dependendo da maneira de leitura, a bússola Brunton não deve ser utilizada no método das bases fixas, devido à dificuldade ou mesmo impossibilidade de leitura de alguns azimutes. Os erros mais comuns da bússola Brunton são leitura na extremidade errada da agulha e agulha agarrando. Muito embora a agulha que aponte o norte seja na maior parte dos modelos claramente identificada por formato ou cores vivas, a leitura na extremidade errada é bastante comum. Felizmente tal erro após identificado normalmente com o auxílio do croquis, pode ser facilmente corrigido, bastando somar ou subtrair 180 graus. Agulha agarrando provém da dificuldade em nivelar a bússola, algo que exige prática. Este é um erro mais grave e mais difícil de ser detectado, podendo comprometer todo um mapeamento. O único procedimento aceitável no caso seria a repetição da visada.

A bússola Suunto ou Sisteco também apresenta o problema de disco agarrando. Como estes modelos de bússola não possuem bolha, como no caso da Brunton, o nivelamento é de certa forma parcial, dependendo da pessoa a efetuar a leitura. É aconselhável balançar suavemente a bússola, livrando o disco de um possível agarramento. Leituras inclinadas devem também ser tratadas com cuidado. Existe a tendência a se inclinar a bússola no sentido da estação visada, causando desnivelamento e levando o disco da bússola a acusar uma leitura falsa. É bom observar, nestes casos, que a leitura da bússola deve ser feita preferivelmente da base inferior para a base superior, podendo contar com o auxílio da trena (neste caso mantida tensionada durante a leitura) para orientação do azimute. A visada passa, então, a ser feita na trena e não na luz do espeleólogo ponta de trena. Em todos os casos é bom procedimento efetuar a visada mais de uma vez para assegurar uma boa precisão.

Na leitura do clinômetro Suunto ou Sisteco, deve-se tomar cuidado para se efetuar a leitura na escala correta de graus e não na escala de percentagens. Também é comum ler na direção errada do disco graduado. Por exemplo, uma leitura pouco acima de + 10 graus pode ser tomada como + 9 graus.

Uma comparação entre tipos de trenas e topofio é válida. O topofio é um instrumento rápido, especialmente útil para se medir desniveis em abismos ou em grandes visadas. No entanto, ao menos o modelo por nós utilizado (TSA) apresentava uma percentagem de erro por visada incompatível com a precisão almejada. As trenas de carretel ou fechadas foram utilizadas por vários anos em topografias do GBPE e por fim abandonadas ao se constatar a fragilidade da fita que se rompia quando de grande tensão ou quando chamuscada pela chama de acetileno. Da mesma forma, lama ou qualquer material terrígeno, ao adentrar o carretel, torna-se de difícil remoção, terminando por inutilizar a trena. Outros problemas ocorridos foram o rompimento do invólucro ou da manivela. As trenas soltas de PVC, também conhecidas como cabo de agrimensor, são muito mais robustas e duráveis, embora de manuseio mais cansativo e sujeitas a embaraço. Na maior parte das ocasiões, 30 metros têm mostrado ser um bom tamanho de trena.

Os erros comuns em espeleotopografia podem ser divididos em erros experimentais, inerentes aos limites de precisão de cada instrumento, erros sistemáticos, geralmente devido a problemas nos instrumentos, e erros ocasionais, tais como leituras e anotações erradas. Erros sistemáticos são facilmente evitáveis testando-se e calibrando-se os aparelhos em ensaios, anteriormente à sua utilização na gruta. Erros ocasionais são evitados pela prática da equipe, exigindo concentração e utilização de procedimentos tais quais repetição das leituras de bússola e trena, e repetição oral, por parte do anotador, das medidas que lhe são passadas. Entretanto, no caso de uma gruta com centenas de visadas como na Toca da Boa Vista, tais erros têm alguma probabilidade de ocorrer e são, com certeza, responsáveis pelos altos valores de erros encontrados nos fechamentos de algumas poligonais. O método utilizado para o cálculo dos erros na Toca da Boa Vista consistiu em se determinar a distância absoluta entre os dois pontos de fechamento da poligonal, dividir este valor pela metragem total da poligonal e multiplicá-lo pela maior visada desta. Consequentemente, o menor distanciamento entre as bases, característico da quinta expedição, resultará em um grau de precisão maior.

Considerações finais devem ser feitas com relação à rapidez e ética. O método das bases flutuantes, devido à menor preocupação com o posicionamento das bases é, em geral, levemente mais rápido. Com a devida prática, uma rapidez considerável pode ser atingida no método das bases fixas. Na Toca da Boa Vista, conseguiu-se uma média de dez estações por hora. A topografia subterrânea também tem seu preço em termos de interferência com o meio cavernícola. Fios de topofio, nós de fuligem, cartões e fitas plásticas são normalmente deixados no local. Todos estes elementos podem (e devem) ser removidos no futuro, quando da finalização do mapeamento. A Tabela 1 sintetiza as vantagens e desvantagens de cada método.

TABELA 1 - Comparação entre os métodos

	BASES FIXAS	BASES FLUTUANTES
VANTAGENS	<ul style="list-style-type: none"> - Precisão no posicionamento da base. - Possibilidade de se refazer a visada em ocasiões futuras. - Base dificilmente é removida por acidente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Maior rapidez. - Aceita qualquer tipo de instrumento.
DESvantagens	<ul style="list-style-type: none"> - Dificuldade de se marcar certas bases. - Dificuldade de se efetuar certas visadas. - A linha central da topografia normalmente não representa a configuração da galeria - Mais lento 	<ul style="list-style-type: none"> - Posicionamento das bases sujeito a variações. - Base pode ser removida acidentalmente. - Espeleólogos de diferentes alturas podem causar variações nos ângulos verticais.

6. Precisão e rapidez em espeleotopografia

A precisão atingida em um mapa de caverna é função de vários fatores. Antes de se iniciar um mapeamento é importante discriminar o propósito a que tal mapa se destina. No atual estágio da espeleologia brasileira, onde o potencial espeleológico nacional ainda não foi sequer arranhado, uma topografia em grau 3C ou 4C é em geral suficientemente precisa. Exceção seja feita a casos especiais, como grutas a serem adaptadas para turismo em massa ou para trabalhos científicos onde um maior detalhamento é imperativo.

A classificação de detalhe utilizada globalmente é a da BCRA (ELLIS, 1988), que distingue seis graus de precisão em medidas instrumentais e quatro em termos de detalhamento complementar. Nas cerca de 60 topografias realizadas pelo Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas, após um início vacilante em precisão 3C, logo estabeleceu-se um padrão em mapeamentos 4C. O grau 5C é também viável para mapeamentos rápidos, exigindo no entanto cuidados especiais. Mapeamentos nos graus 6 e X (teodolito), devido à enorme demanda de mão-de-obra e tempo, só se justificam em casos especiais já considerados.

Qualquer grupo espeleológico voltado para exploração e topografia naturalmente encontrará um meio termo que contrabalance estas duas atividades, de acordo com a ênfase dada a cada uma delas. No GBPE, apenas as cavernas julgadas importantes são mapeadas, o que se traduziria em menos de 20% das cavernas exploradas. Seria desejável que um levantamento topográfico fosse produzido a cada gruta explorada, mas a demanda de tempo tornou-se fator limitante, sendo dada preferência à exploração de novas áreas.

A chave para um levantamento preciso e rápido inclui três fatores: qualidade de instrumentos, prática e motivação. Instrumentos de qualidade (Suunto ou Brunton, por exemplo) calibrados e em boas condições são essenciais. No caso de duas equipes, de preferência deve-se utilizar o mesmo modelo de bússola e clinômetro para se evitar discrepâncias. Experiência no manuseio dos instrumentos e prática no desenrolar do método são outros fatores vitais. Cerca de vinte dias foram necessários em 1984 para se mapear 5050 metros pelo método das bases flutuantes na gruta Olhos D'água, a primeira grande cavidade mapeada pelo GBPE, em que pese a utilização de duas equipes distintas. Hoje em dia apenas uma equipe poderia topografar esta mesma metragem em cerca de uma semana. Caso a equipe de mapeamento possua elementos com diferentes graus de experiência, o que geralmente ocorre, é aconselhável posicionar os elementos com menor prática em funções que não interfiram com o desenrolar do processo topográfico ou funções de menor responsabilidade técnica, como anotação e ponta de trena, respectivamente. A utilização do método das bases fixas e bússolas/clinômetros Suunto e Sisteco em topografias de algumas grutas menores tem demonstrado um valor de erro de posicionamento de base variando entre 7 e 15 centímetros. Estes valores, coerentes com várias das poligonais da Toca da Boa Vista, podem atestar o bom grau de precisão atingido no atual estágio de topografia que, somados ao posicionamento de bases a cada variação morfológica dos condutos, conferem-lhe um grau de precisão próximo a BCRA 5D.

Finalmente, um item de certa forma renegado, mas sem dúvida essencial: motivação. Algo mais que o simples amor à espeleologia deve motivar uma equipe de espeleólogos em longos projetos de mapeamento como nas maiores cavernas do mundo ou mesmo na Toca da Boa Vista. É importante que se estabeleça metas tangíveis a curto e longo prazo. A campanha de exploração na gruta Olhos D'água em 1984 e 1985 perseguiu o título de maior caverna de Minas Gerais. Na gruta do Padre, a possibilidade de se mapear a maior caverna do Brasil funcionou como forte empuxo. Na Toca da Boa Vista, claramente no momento a caverna de maior potencial no país, objetivos a curto e longo prazo estão sempre sendo perseguidos. Na segunda expedição, 1 km-mapeado ao dia era o mínimo aceitável. Na terceira expedição, as duas equipes desenvolveram uma competição saudável por mais metros topografados. Na quarta expedição o objetivo era ultrapassar a gruta do Padre em projeção horizontal. Hoje em dia nos esforçamos em direção à meta de 30 km mapeados, que colocaria a Toca da Boa Vista entre as 50 maiores cavernas do mundo.

A satisfação de uma meta alcançada, mesmo que esta seja artificial e vaporável, possui valor psicológico infinitamente superior ao de um crescente número de dados acumulados ao final de uma expedição. A contínua atualização e publicação de listagens por projeção horizontal e desnível cumpre importante papel neste sentido e é cada vez mais enfatizada na espeleologia.

7. Tratamento dos dados

O tratamento de dados e confecção de mapas por métodos puramente manuais foram utilizados no Brasil até o início da década de 80. Os dados eram extraídos diretamente da caderneta de campo e plotados em papel milimetrado com auxílio de régua e transferidor. Este sistema, trabalhoso e sujeito a erros, está sendo pouco a pouco abandonado em benefício de métodos mais precisos.

A década de 80 viu a introdução de calculadoras eletrônicas que reduzem os dados a coordenadas em eixos cartesianos. Tal procedimento facilita e torna mais exata a confecção do mapa, mas não elimina a tediosa tarefa de se plotar os pontos a cada escala de planta e perfil produzido. No caso da Toca da Boa Vista, a enorme e sempre crescente quantidade de dados pouco a pouco inviabilizou tal procedimento. Outro problema encontrado foi a grande quantidade de poligonais a serem fechadas, que exigiam maçantes e trabalhosos processos matemáticos e geométricos. IRWIN & STENNER (1975) chamam a atenção para o fato de que o fechamento de uma rede de poligonais inter-conectadas por métodos precisos (método dos mínimos quadrados, por exemplo) exige um enorme volume de cálculos matemáticos, algo inviável sem o auxílio de computadores. A partir da segunda metade da década de 80, softwares tornaram-se disponíveis, revolucionando o tratamento de dados em topografia espeleológica. Estes programas de primeira geração basicamente imprimiam a linha central da planta e perfil, mas não lidavam com problemas mais complexos como cavernas labirínticas, grandes sistemas, mapas em pequena escala e outros.

Em muitos casos, mapas são produzidos no próprio local da caverna ao fim do dia, permitindo a visualização imediata das passagens topografadas. Tal procedimento é uma ferramenta importante na busca de conexões e novas passagens. Infelizmente, esta prática é virtualmente impossível na área da Toca da Boa Vista devido à ausência de energia elétrica nas vilas próximas.

Hoje em dia, torna-se mais e mais popular o uso de softwares sofisticados. Entre os vários programas disponíveis no mercado internacional, os mais populares e abrangentes são os da linha SMAPS, comercializada nos Estados Unidos e recentemente adquirido pelo Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas. Este programa já havia sido adotado até o momento em onze países e presentemente é utilizado no mapeamento de grandes sistemas como Mammoth Cave, Jewel e Wind Cave. Entre os atributos da versão mais moderna deste programa, SMAPS 4.3, estão rotação, translação e zoom do mapa no monitor, exagero vertical, diferenciação por cores de níveis ou feições, larguras ou alturas incluídas na linha central e inúmeras outras feições adicionais. A utilização do SMAPS para o tratamento de dados na Toca da Boa Vista representará sem dúvida uma enorme economia de tempo, aliada a uma precisão infinitamente superior, já que atributos como fechamento de poligonais por métodos mais complexos e precisos (ver KELLY & WARREN, 1988) são padrão em programas deste tipo (Figura 4).

8. Perspectivas para o futuro

A topografia da Toca da Boa Vista decerto representará um projeto que se estenderá por vários anos ou mesmo décadas. O enorme número de passagens laterais ainda não exploradas cresce de forma geométrica a cada expedição. Ao final da quarta expedição contava-se 1600 galerias laterais não exploradas. Várias previsões com relação ao potencial da Toca da Boa Vista foram realizadas de forma intuitiva, mas nos parece seguro apontar um total mínimo de 40 km de passagens existentes no local. No entanto, mesmo este total presume que todas as galerias da caverna estarão contidas na faixa delimitada ao final da quarta expedição e pouco expandida durante a quinta campanha. Entretanto, a possibilidade de novas galerias se estenderem além dos limites até o momento demarcados é muito grande, criando uma variável que só por via de exploração poderá se quantificar.

Um método mais eficiente de se calcular a extensão da caverna consistiria em se realizar o mapeamento completo de um segmento da caverna e extrapolar este valor para o perímetro total da caverna. No entanto, a Toca da Boa Vista é bastante heterogênea em se tratando de densidade de passagens e tal método teria que sofrer um refinamento para proporcionar resultados representativos.

Uma evolução contínua de técnicas e métodos tem ocorrido durante o processo de mapeamento da Toca da Boa Vista. Este aperfeiçoamento decerto prosseguirá ao longo dos anos. Técnicas até o momento inéditas no Brasil, como projeção de passagens na superfície por radiolocalização, visando refinamento de topografia, poderão ser incorporadas ao acervo já considerável de técnicas utilizadas nesta gruta.

Agradecimentos

As incursões do Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas à Toca da Boa Vista têm recebido, ao longo dos anos, constante apoio da comunidade local. Somos especialmente gratos à Prefeitura Municipal de Campo Formoso, administração Salomão de Carvalho, que invariavelmente tem custeado nossas despesas. Colegas e amigos em Laje e Campo Formoso têm colaborado em nossas pesquisas, ajudando a tornar nossa estadia na região sempre produtiva e enriquecedora. Correndo o grave risco de omitir algum nome, desejamos expressar nossos agradecimentos a José Telesphoro de Oliveira (in memoriam), Iracema de Oliveira, Tude, Oleone Coelho Fontes, Anginha, Dona Dorinha e demais amigos da pensão de Laje, Sr. Olímpio, Edimilson e outros. Ajuda financeira e logística complementar foi fornecida pelo Centro de Recursos Ambientais (CRA) de Salvador, na pessoa de José Aloísio Cardoso e Rede Globo de Televisão, representada por Cláudio Savaget e equipe.

Referências bibliográficas

- AULER, A.S. 1988. Explorando de Norte a Sul: Expedição Bahia 88. Informativo SBE, v. 22, p. 11-18.
- CHAIMOWICZ, F. 1987. Nos subterrâneos da Bahia. Informativo SBE, v. 14, p. 10-14.
- CHAIMOWICZ, F. 1987. Nos subterrâneos da Bahia. Informativo SBE, v. 15, p. 6-9.
- DAUNT-MERGENS, D.O. 1981. Cave Research Foundation Personnel Manual. C.R.F. 155p.
- ELLIS, B. 1988. An Introduction to Cave Surveying. B.C.R.A. 40p.
- IBGE 1939. As Grutas em Minas Gerais.
- IRWIN, D.J.; STENNER, R.D. 1975. Accuracy and Closure of Traverses in Cave Surveying. Trans. BCRA, v. 2, n. 4, p. 151-65.
- KELLY, S.; WARREN, P.B. 1988. The Least Squares Method of Cave Survey Data Reduction Based on a Microcomputer. Cave Science. v. 15, n. 1, p. 29-34.
- PEREZ, N.T.; TABERA, M.F. 1987. Fundamentos de la Practica Espeleológica. Federación Madrileña de Espeleología . 559p.
- RUBBIOLI, E.L. 1990. Topografia. O Carste, Belo Horizonte, v. 2, n. 1, p. 13-15.
- VARIOS AUTORES 1990. Crônica de Uma Exploração. O Carste. v. 2, n. 1, p. 3-9.
- WARILD, A. 1988. Vertical. A Technical Manual for Cavers. The Speleological Research Council. 152p.
- WOJTKOWSKI, P.; AULER, A.S. 1988. Brazil: The 1988 Bahia Expedition. NSS News, v. 46, n. 9, p. 354-5.
- WORTHINGTON, S. 1987. Review of Cave Surveying Techniques. Cave Science, v. 14, n. 2, p. 56-9.

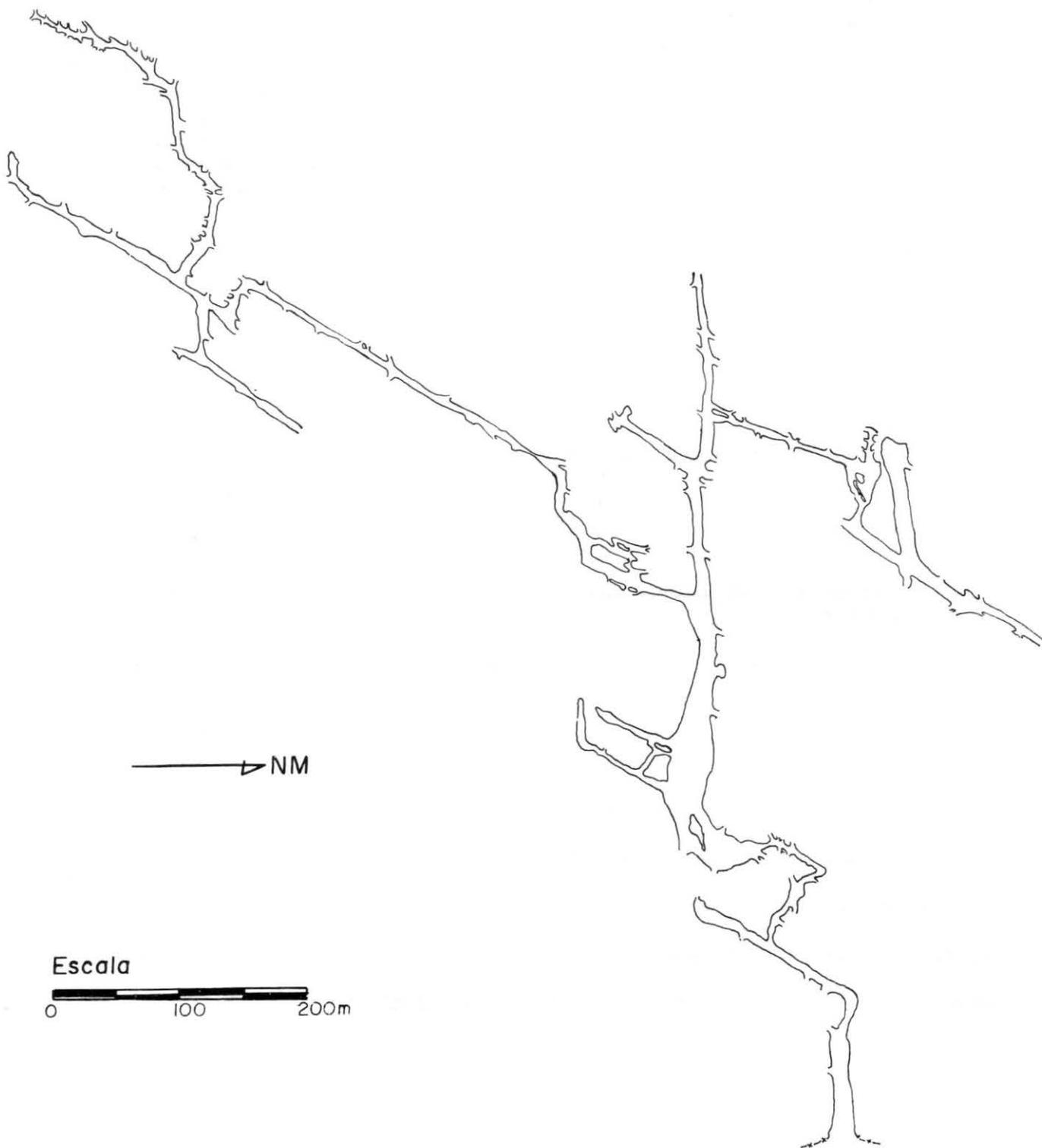


Figura 1. Toca da Boa Vista. Mapa parcial obtido até fevereiro de 1987 utilizando-se o método das bases flutuantes com bússola Brunton e topofio.

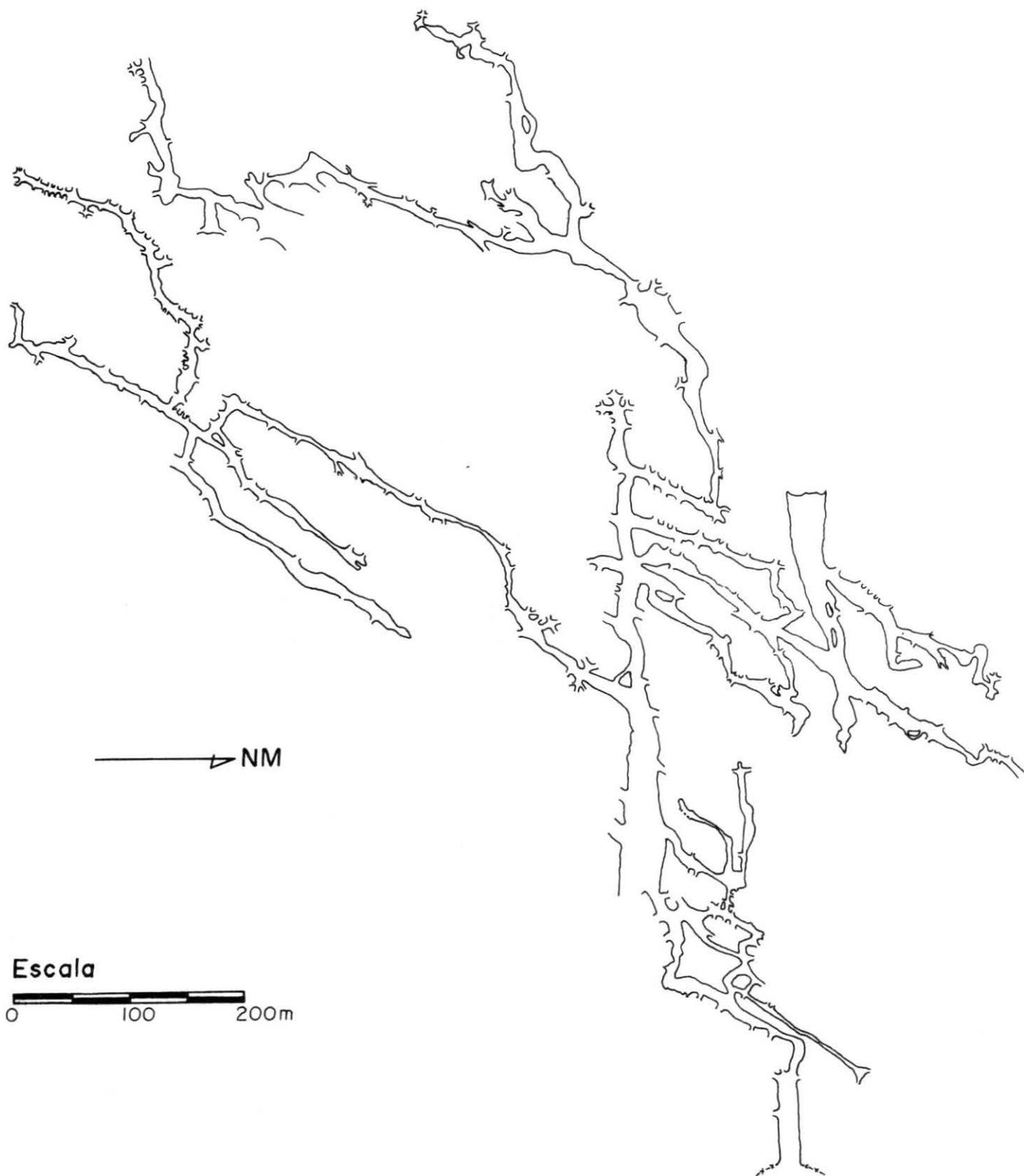
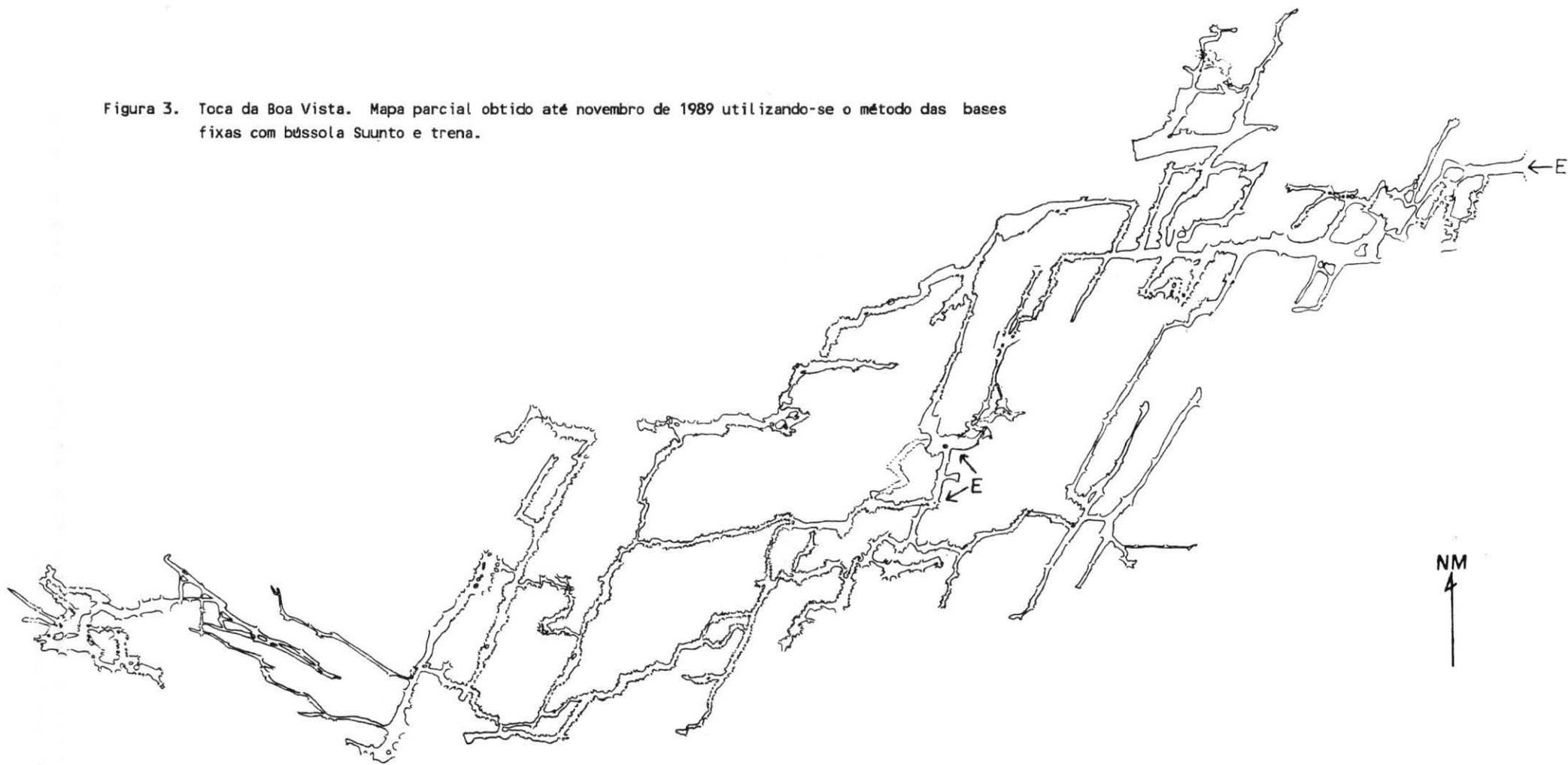


Figura 2. Toca da Boa Vista. Mapa parcial obtido até julho de 1983 utilizando-se o método das bases fixas com bússola Suunto e trena.

Figura 3. Toca da Boa Vista. Mapa parcial obtido até novembro de 1989 utilizando-se o método das bases fixas com bússola Suunto e trena.



Escala



Figura 4. Linha central da Toca da Boa Vista obtido através do programa SMAPS 4.3 com dados topografados até julho de 1990. (escala: 1:10.000).

