

FIGURA 6.26 - Mapa topográfico de segmento da bacia do rio Mambucaba mostrando a captura que gera a feição em T no limite entre o Planalto da Bocaina e a escarpa atlântica, controlado principalmente pela Zona de Cisalhamento Rio do Gavião (ZCRG), reativada pela tectônica rúptil (traço vermelho são as falhas mapeadas). O padrão da rede de drenagem é formado por canais NE e NW controlados, respectivamente, pela foliação (e ZCRG) e fraturas. As principais capturas fluviais e *knickpoints* associados estão posicionadas nos segmentos de canais NW, como por exemplo: no cotovelo do rio Mambucaba no limite estadual RJ-SP; a montante das cachoeiras do Guaripú e do Veado (foto ao lado), onde afloram as evidências de reativações rúpteis na ZCRG. Notar os depósitos fluviais a montante do ribeirão do Veado, capturado pelo rio Mambucaba, formando um novo divisor sobre sua planície sedimentar abandonada (linha pontilhada azul). Ver localização desta área no Anexo 4. Base cartográfica: Folha Rio Mambucaba, 1:50.000 (IBGE).

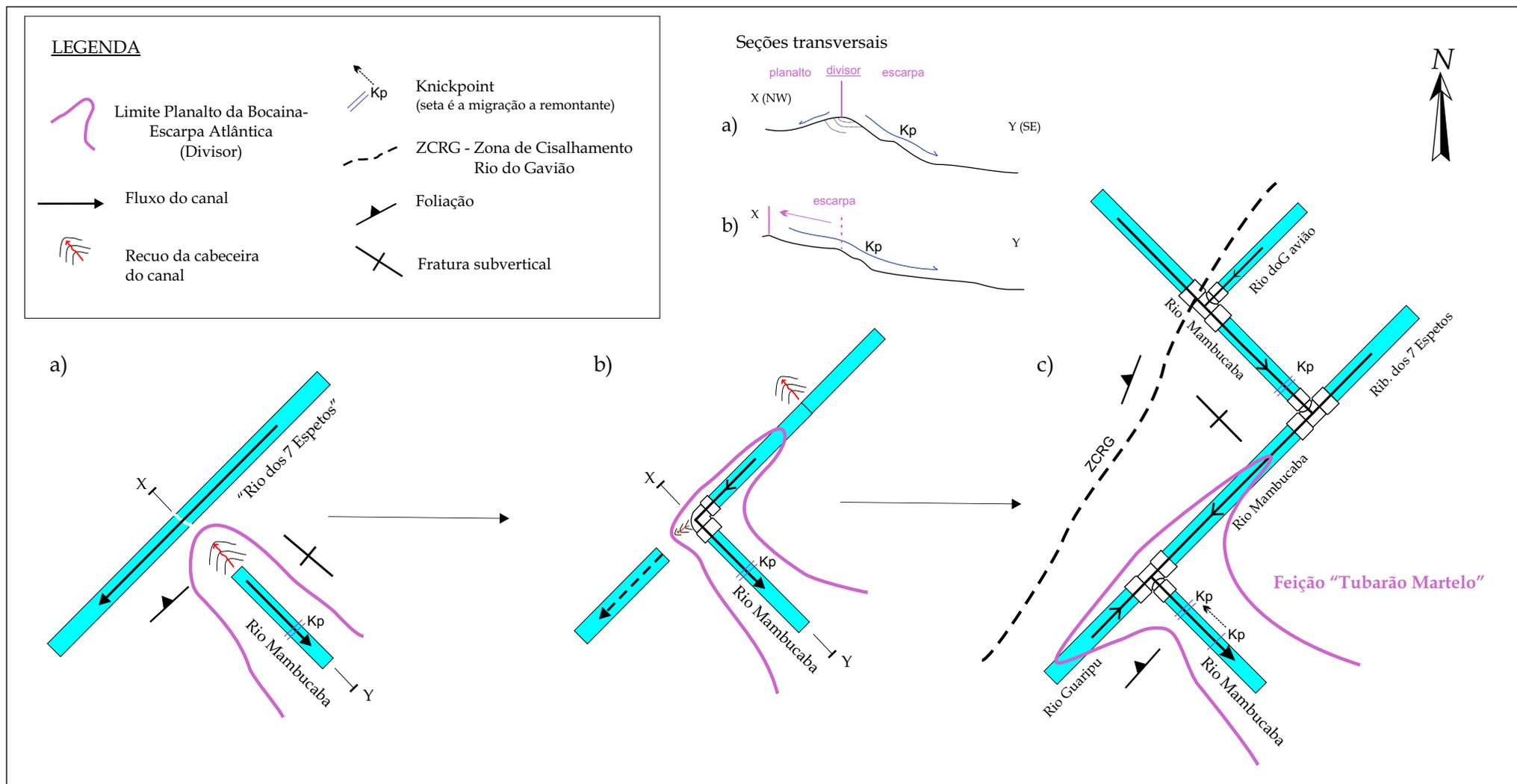


FIGURA 6.27 - Esquema simplificado em planta dos estágios de captura fluvial da drenagem do Planalto da Bocaina pelos canais da escarpa atlântica, na bacia do rio Mambucaba (ver Anexo 4 para localizar os rios):

a) pré-captura - avanço a remontante das cabeceiras dos canais NW da escarpa, rumo ao planalto;

b) captura em joelho do segmento de canal NE formando um cotovelo de 90°, destruição dos divisores e recuo do limite escarpa-planalto;

c) captura em T - inversão do fluxo de SW para NE do outro segmento do canal NE abandonado; outra captura é formada a montante no interior do planalto, envolvendo canais NW e NE. Observar a seção X-Y nos estágios (a) e (b).

No Planalto da Bocaina, também ocorrem *knickpoints* relacionados aos desníveis gerados pelos rejeitos de falhas, destacando a reativação rúptil da ZCRG, drenada pela bacia do rio Mambucaba. Exemplos destes *knickpoints* são as cachoeiras do Veado e do Guaripu e Moinho (Figuras 5.34; 6.26).

A montante desta área para NE ocorre outra captura importante junto à confluência com o ribeirão dos Sete Espetos (Figura 6.27c). Neste ponto, o rio Mambucaba retoma a direção NW, conectando vários canais de direção NE, destacando os rios do Gavião e Bonito encaixados, respectivamente, na ZCRG e no contato entre os metassedimentos e o Granito Campo Alegre (Anexos 4 e 6). Este trecho NW do rio Mambucaba também apresenta vários *knickpoints*, destacando a cachoeira de Santo Isidro, com cerca de 70m de altura, que suspende uma área larga e aplainada onde estão as cabeceiras do Mambucaba na borda norte do planalto (Figuras 6.25 perfil do rio Mambucaba e 6.29a, b). Outra observação importante é que esses *knickpoints* mais altos estão situados, geralmente, na encosta contra o mergulho das camadas.

Portanto, os *knickpoints* estão localizados, normalmente, quando ocorre a mudança de orientação dos canais (NE *versus* NW), pois quando encaixados nas fraturas NW passam a cortar de modo ortogonal as unidades litológicas, que oferecem diferentes resistências à incisão fluvial (Figuras 6.24c e 5.41). Este é o controle estrutural mais comum e parece ser a melhor condição para a formação de *knickpoints* com maiores desnivelamentos (Eirado Silva *et al.*, 1993; Dantas *et al.*, 1994). Os *knickpoints* são tradicionalmente associados à resistência diferencial do substrato rochoso (p.ex. Gilbert, 1877; Miller, 1991) ou então aos rejeitos verticais gerados pelas falhas. Porém, a presença de *knickpoints* em rochas aparentemente pouco resistentes e sem falhas, leva-nos a considerar a migração a montante destes *knickpoints* como um importante processo de erosão do substrato rochoso (Siedl & Dietrich, 1992; Siedl *et al.*, 1994). Para Schumm *et al.* (1987) os *knickpoints* seriam formados pela queda do nível de base regional, sendo transmitidos ao longo de todo o sistema de drenagem. Desta forma, os *knickpoints* não necessariamente seriam formados e removidos *in locus*, mas se propagariam rio acima, a partir de rupturas do gradiente geradas a jusante. A

despeito da resistência diferencial do substrato rochoso, a presença dos *knickpoints* representa uma barreira na propagação da incisão fluvial ao longo do canal, ou seja, uma interrupção ou diminuição do pulso de dissecação. Quando a resistência dos *knickpoints* é vencida, o pulso erosivo se desloca mais intensamente a montante para ajustar a bacia de drenagem ao nível de base (Siedl & Dietrich, 1992).

A bacia do médio rio Mambucaba, corresponde a uma das áreas de maior dissecação no interior Planalto da Bocaina, formando uma depressão afunilada para SW em seu interior (Figura 6.1 e Anexo 6). Isto mostra a importância das capturas fluviais promovidas pelos canais ajustados a níveis de base mais baixos (p.ex. nível do mar) sobre as bacias suspensas do planalto. O aumento da área da bacia de drenagem e da força da descarga fluvial (associada ao gradiente dos canais), somada à migração e rebaixamento dos *knickpoints*, provocam maior erosão a montante. Quanto maior a área da bacia capturada, mais intenso será o efeito da frente de denudação, gerando significativo rebaixamento do relevo. Isto parece compor um mecanismo fundamental no recuo da escarpa atlântica e denudação do planalto.

As bacias dos rios Paca Grande e Ariró, que também drenam o planalto para a vertente atlântica apresentam comportamento semelhante à bacia do rio Mambucaba. No entanto, nestas bacias são as estruturas NNE e NNW (diques, fraturas) que orientam os canais e controlam os *knickpoints* (Figuras 6.24d, e). Porém, no alto rio Paca Grande, situado a montante de um estrangulamento da bacia, a relação entre estruturas e a rede de canais é a mesma encontrada no Vale do Mambucaba. Nesta área, conhecida como Taquaral (Figura 6.23; Anexo 5 perfil C-D), ocorre uma competição de drenagem desta porção suspensa do rio Paca Grande, entre o ribeirão dos Sete Espetos (tributário do rio Mambucaba) e as cabeceiras do rio Bananal, a leste.

6.3.5 A Bacia do Rio Bananal: os Diques Toleíticos e a Dissecação do Planalto

A bacia do rio Bananal é a maior da vertente norte, onde alguns dos seus canais principais (Bananal e Pirapitinga) seguem a direção NNE concordante ao

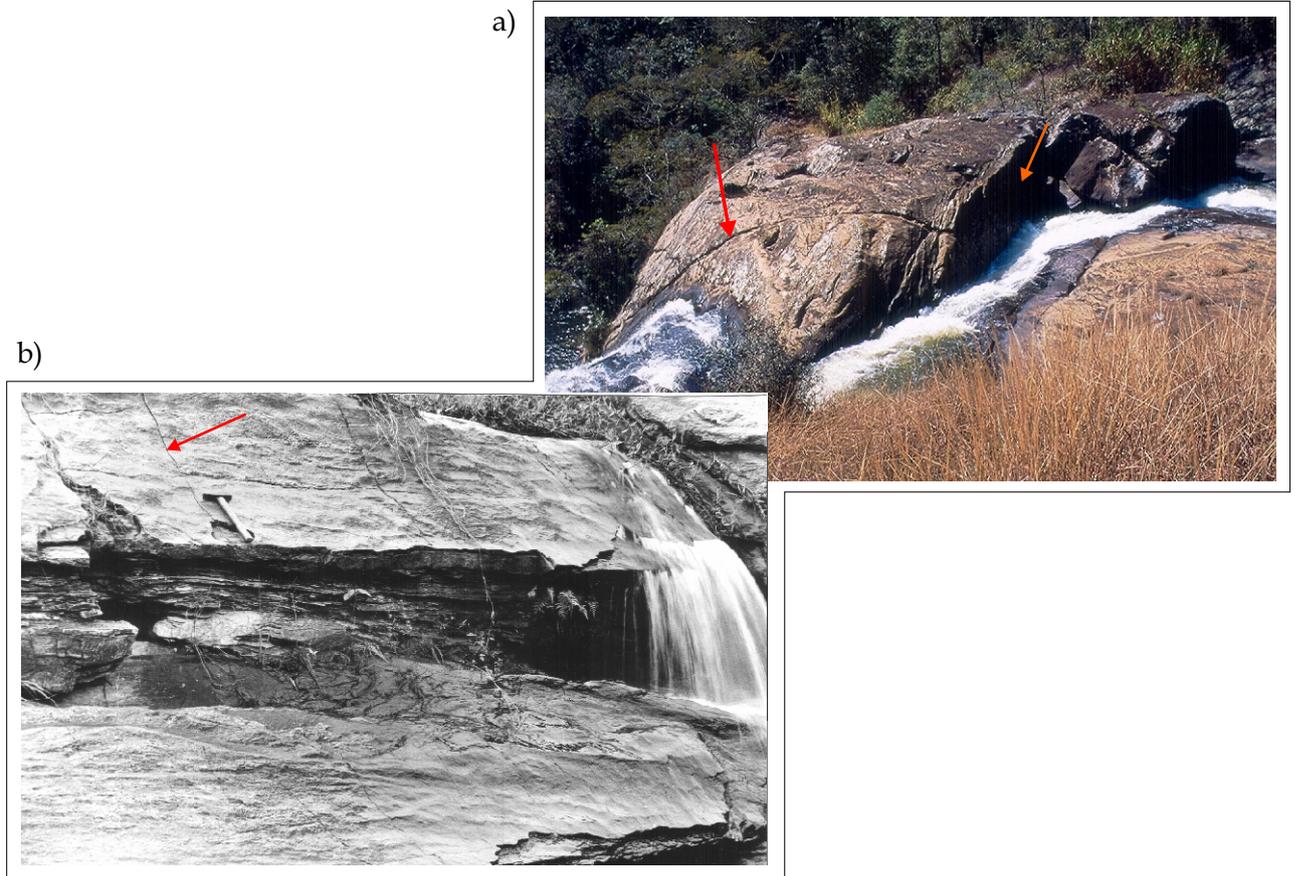


FIGURA 6.28 - *Knickpoints* mostrando a relação entre os segmentos de canais e as fratura NW ortogonais ao *strike* da foliação das rochas.

a) Mudança de direção da drenagem em *knickpoint*: o canal à montante está encaixado na foliação NE subvertical (seta laranja à dir.), sendo desviado para fratura (seta vermelha à esq.). Afloramento em ortognaisse do Complexo Quirino no rio do Monjolo, vertente oeste da Serra da Bocaina (Cunha, SP).
 b) Pequeno *knickpoint* em paragnaisse do Grupo Paraíba do Sul, mostrando o mergulho da foliação e o canal encaixado na fratura NW (seta vermelha). Rio do Doce, vertente norte (Bananal, SP).

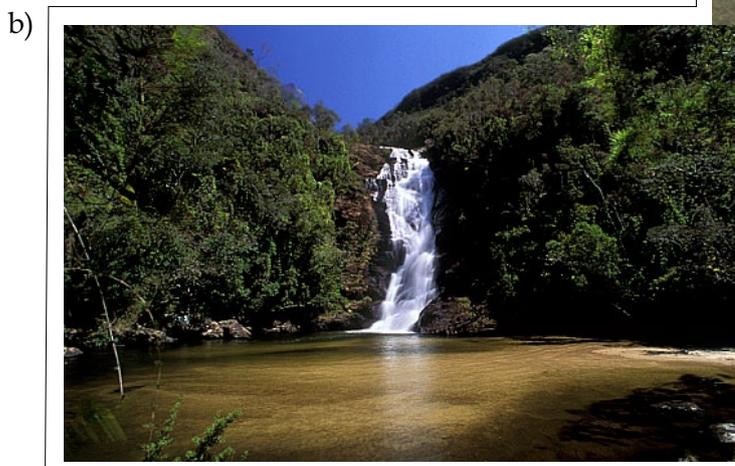


FIGURA 6.29 - a) *Knickpoint* da cachoeira de Santo Isidro no alto rio Mambucaba, formando vale suspenso a montante. Foto por Marcelo Motta; b) detalhe da cachoeira com cerca de 70m de altura, constituída de paragnaisse do Complexo Embu. Segmento de canal encaixado em fratura de direção NW e posicionado contra o mergulho da foliação da rocha. Foto por Araquem Alcântara, Parque Nacional da Serra da Bocaina, São José do Barreiro (SP).

enxame de diques toleíticos, enquanto outros seguem as estruturas NE (p.ex. rios Piracema e Fortaleza) (Figura 6.24f; Anexo 4). A porção leste desta bacia produziu o maior recuo da escarpa interior da Serra da Bocaina, conduzido pelos canais NNE encaixados nos diques, bastando notar o avanço do rio Bananal (Anexo 6). O recuo da escarpa chegou até os resistentes ortognaisses do Complexo Quirino, com a borda norte do planalto possuindo uma direção NE sem variações significativas.

No lado oposto da serra, na vertente sul voltada para a Baía da Ribeira, mesmo que mascarado, também se observa o efeito dos diques na dissecação da borda do planalto (Anexo 6). A integração das duas vertentes mostra que esta é a porção mais dissecada do Planalto da Bocaina, que termina logo a leste, entre os vales dos rios Pirai e da Guarda, também encaixados nos diques (Anexo 6). Isto revela o papel do enxame de diques, concentrado na parte oriental da área de estudo (Figura 5.30), na incisão dos canais e segmentação desta porção a Serra do Mar.

6.4 AS CONCAVIDADES DAS ENCOSTAS: OS ARQUÉTIPOS DA DENUDAÇÃO DO RELEVO

Em todos os domínios geomorfológicos da Serra da Bocaina foi observada a presença marcante de formas côncavas nas encostas ou concavidades, que representam áreas de concentração de fluxos hidrológicos superficiais e subsuperficiais. Deste modo, elas tendem a apresentar maiores taxas de erosão e produção de sedimentos coluviais, gerando maior recuo das encostas e rebaixamento do relevo comparados às áreas convexas e retilíneas. Estes conceitos estão previamente inseridos no modelo de *Complexos de Rampas* elaborado por M. R. M. de Meis nos domínios do *mar de morros* dos vales dos rios Doce e Paraíba do Sul (Figura 2.8). Na região da bacia do rio Bananal, Vale do Paraíba, Coelho Netto (1999, 2003) definiu como concavidade estrutural as áreas de cabeceiras de drenagem nas encostas cujo desenvolvimento dos canais é controlado pelas estruturas geológicas. Esta autora classificou as concavidades

estruturais em dois tipos: ajustadas e suspensas. Assim, as concavidades estruturais podem estar *ajustadas* ao fundo do vale principal e conectadas à rede de drenagem, ou ocorrerem topograficamente *suspensas* no alto das encostas, conectadas ou não a rede de canais (Coelho Netto, 1999). Nas concavidades estruturais, em geral, ocorre a concordância entre as direções de fraturas e os eixos das formas côncavas, que se formariam inicialmente como canais subterrâneos (túneis, *piping*), através do processo de *seepage erosion* (Avelar & Coelho Netto, 1992). Após o colapso do teto destes canais que passam a aflorar na superfície, as instabilidades nas encostas provocam deslizamentos tipo *slumps*, abrindo as formas côncavas (anfiteatros) acima do canal (Coelho Netto, 1999). Portanto, a atuação erosiva dos fluxos hidrológicos subsuperficiais teria um papel relevante na iniciação das cabeceiras de canais (Avelar & Coelho Netto, 1992; Montgomery & Dietrich, 1992). O rebaixamento das concavidades suspensas desconectadas da rede de canais as tornam ajustadas ao fundo de vale, formando bacias de 1ª ordem. Portanto, o estudo sobre as concavidades se faz importante à medida que elas correspondem a cabeceiras de canais, que são os elementos responsáveis pela expansão da rede de drenagem e pelo recuo das encostas.

Visando ampliar o conceito de *Complexos de Rampas* e das formas côncavas das encostas (cabeceiras de canais) para os domínios geomorfológicos da Serra da Bocaina, serão descritos os principais tipos de concavidades estruturais encontrados. Os critérios estabelecidos para a classificação morfológica simplificada das concavidades são: a) amplitude de relevo⁸ (baixa, média e alta) dos domínios geomorfológicos; b) posição nas encostas em relação aos fundos de vales, isto é, se são suspensas ou ajustadas ao nível de base, segundo a proposta de Coelho Netto (1999, 2003).

A Tabela 6.5 sintetiza as tipologias de concavidades estruturais e as Figuras 6.30, 6.31 e 6.32 ilustram a relação entre estas feições de encosta e as variações de amplitude topográfica dos diversos ambientes da Serra da Bocaina.

⁸ Relacionado ao desnivelamento topográfico entre os divisores e os fundos de vales principais.



FIGURA 6.30 - Esquema com a sequência dos tipos de concavidades estruturais do ambiente de colinas de baixa amplitude topográfica, encontrado em áreas do Planalto da Bocaina e das vertentes norte e oeste. Concavidades: a) conchoidal suspensa; b) conchoidal ajustada; c) conchoidal coalescida. Desenho por Marcelo Motta.

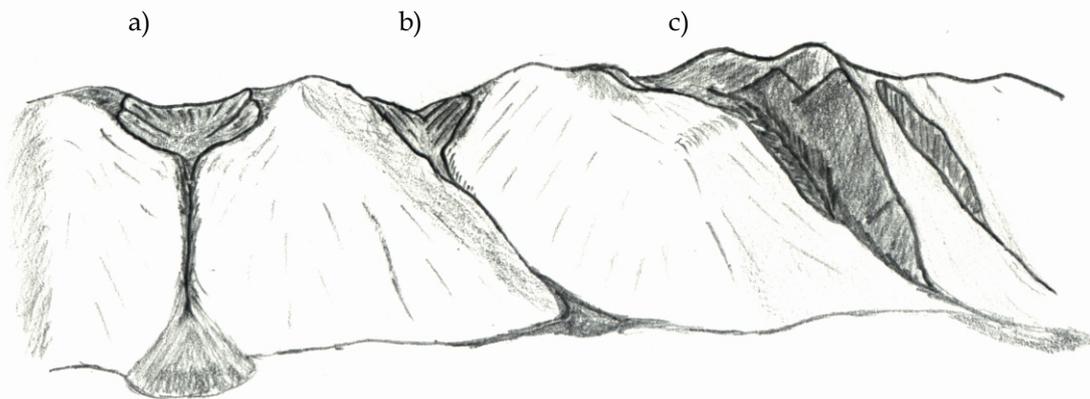


FIGURA 6.31 - Esquema com os tipos de concavidades estruturais do ambiente de média amplitude topográfica, encontrado em áreas intermontanas do Planalto da Bocaina e no sopé da escarpa interior (norte). Concavidades: a) conchoidal suspensa; b) conchoidal ajustada; c) alongada em coalescência.

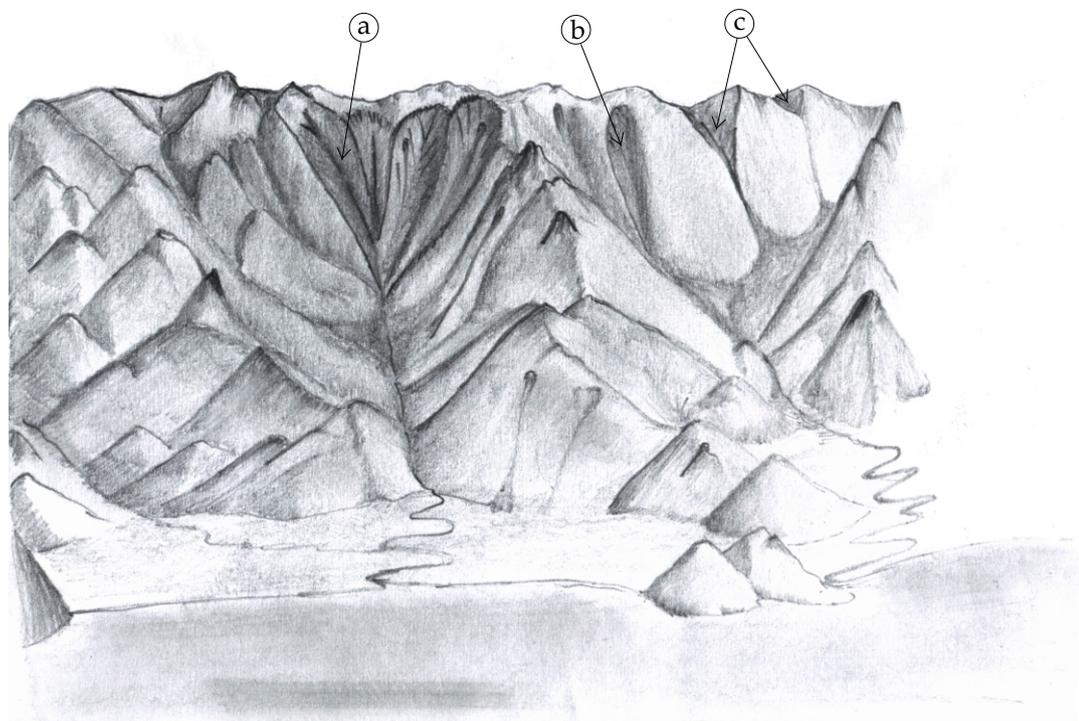


FIGURA 6.32 - Esquema com os tipos de concavidades estruturais alongadas do ambiente de alta amplitude topográfica das escarpas atlântica e interior da Serra da Bocaina. Concavidades: a) alongada ajustada; b) alongada suspensa. O tipo (c) corresponde às concavidades (suspensas ou em ajuste) situadas no topo da escarpa que foram “capturadas” da borda do planalto. Este último tipo lembra as concavidades de relevo de média amplitude da figura acima. Desenho por Marcelo Motta.

As áreas de baixa amplitude de relevo englobam o relevo de colinas e das superfícies onduladas encontrados no Planalto da Bocaina e no *mar de morros* das vertentes norte e oeste (Figura 6.30). As áreas de média amplitude de relevo compreendem as encostas de vales encaixados do Planalto da Bocaina (vales intermontanos) e das áreas situadas no sopé das escarpas das vertentes norte e oeste (Figura 6.31). Enquanto as áreas de alta amplitude de relevo estão relacionadas às encostas íngremes das escarpas atlântica (sul) e interior (norte) (Figura 6.32).

Tabela 6.5 - Classificação das concavidades estruturais em relação à amplitude de relevo e a posição nas encostas (ver a Figura 6.49).

		Amplitude do Relevo		
		Baixa	Média	Alta
Concavidade Estrutural	Conchoidal suspensa	Conchoidal e alongada suspensas	Alongada suspensa	
	Conchoidal ajustada	Conchoidal e alongada ajustadas	Alongada ajustada	
	Conchoidal coalescida	Conchoidal e alongada coalescidas	-	

As concavidades estruturais conchoidais são aquelas largas e arredondadas no topo e estranguladas (apertadas) na base, podendo ser ajustadas (Figuras 6.30a, b; 6.33; 6.34) ou suspensas ao fundo de vale principal (Figuras 6.31a, b; 6.35; 6.36a; 6.37), sendo conectadas ou não à rede de drenagem (Coelho Netto, 2003). Estas concavidades ocorrem tanto nos ambientes de relevo de baixa, como de média amplitude, se distinguindo nos seguintes aspectos: as áreas e os gradientes das concavidades tendem a serem maiores com aumento da amplitude topográfica (Figuras 6.30a, b; 6.31a, b).

Como já verificado anteriormente por Avelar & Coelho Netto (1992), os eixos das concavidades conchoidais são, normalmente, controlados por fraturas subverticais (Figuras 6.38a; 6.39a). Os estrangulamentos na base dessas feições são, muitas vezes, devido a presença de níveis litológicos mais resistentes ao