

A influência dos *knickpoints* e sua relação com a Lito-estrutura do substrato geológico na evolução da rede de drenagem no médio vale do Paraíba do Sul

Aluna: Raphaela Almeida de Souza

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Motta de Freitas

Introdução

A evolução da rede de drenagem de qualquer bacia hidrográfica, depende do seu nível de base geral, bem como da ocorrência de níveis de base locais. Este conceito em geomorfologia é bastante conhecido e remonta a autores clássicos, como Powell [1], Gilbert [2] e King [3], entre outros. As bacias de drenagem no planalto sudeste brasileiro possuem diversos níveis de base locais ao longo de seus eixos de drenagem, em função da característica extremamente acidentada deste relevo. Entender a dinâmica de evolução das redes de drenagem e o papel dos níveis de base locais é fundamental para a compreensão desta paisagem. A estruturação deste relevo tem sua origem em eventos tectônicos remotos como a orogênese Brasileira e o Rift Continental do Sudeste Brasileiro oriundo da Abertura do. A orogênese Brasileira no precambriano está associada ao metamorfismo de alto grau da crosta terrestre, gerando rochas metamórficas orto e paraderivadas, além da expressiva granitogênese, oriunda da fusão parcial da crosta, marcando a paisagem desde então [4]. Segundo Heilbron [5], a compartimentação tectônica desse orógeno, denominado Faixa Móvel Ribeira, estabelecida no seu setor central, compreende quatro terrenos tecto-estratigráficos: Ocidental, Oriental, Paraíba do Sul/Embú e Cabo Frio, que, distribuídos heterogeneamente pelo território do Estado do Rio de Janeiro, constituem um complexo substrato geológico para a evolução subsequente do relevo. O segundo evento tectônico de natureza rúptil ocorreu por conta de uma intensa atividade de magmatismo básico no Jurássico que culmina com a quebra do Megacontinente Gondwana e, subsequentemente, da abertura do Oceano Atlântico, durando até o Cretáceo, havendo pulsos descontínuos até o Eoceno, reativando estruturas antigas. Segundo Riccomini, [6], este processo define a consolidação do Rift Continental do Sudeste Brasileiro no cenozoico implicando em uma significativa mudança no relevo sudeste e, conseqüentemente, nos seus sistemas de drenagens. Em termos

estruturais, diversas falhas (N-S) e fraturas (NW-SE/NE-SW) afetaram as estruturas geológicas até então existentes. A lito-estrutura do substrato geológico da área de estudo, afetada por esses eventos tectônicos explicados acima, irá condicionar a direção e os perfis longitudinais dos canais fluviais, a partir do momento em que promovem a erosão diferencial do relevo. Com isso, são comuns a formação de níveis de base locais, que quando rochosos, são denominados *knickpoints* (Powell [1]) e são definidos como degraus topográficos ao longo do perfil longitudinal de um rio, exercendo forte influência nos processos de erosão e sedimentação nas bacias fluviais [7]. Esses níveis de base exercem um papel importante na retenção de sedimentos a montante, promovendo assim, uma estocagem diferencial de sedimentos nos fundos de vales. Isso contribui para o desenvolvimento de planícies de inundação e estas áreas são apropriadas para a ocupação humana tanto para moradia quanto para uso agrícola [8]. Uma outra análise a ser feita em relação aos *knickpoints* e sua influência na dinâmica erosiva nas bacias de drenagens é que ao longo do tempo o avanço da erosão do leito do rio com direção remontante pelo recuo de cabeceira é potencializado por essas rupturas de declive no seu perfil longitudinal. Isso pode ocasionar em uma captura de drenagem da bacia de drenagem adjacente ou até mesmo de um tributário.

Objetivo

O trabalho em questão tem como objetivo demonstrar a influência da lito-estrutura do substrato geológico na formação de níveis de base locais ou *knickpoints* no médio vale do rio Paraíba do Sul. Além disso, a pesquisa buscará investigar futuramente a funcionalidade desses *knickpoints* na rede de drenagem como controlador dos processos de incisão fluvial e de sedimentação. A área de estudo escolhida como representativa desses processos foi a bacia do rio Minerva, afluente do rio Paraíba do Sul, localizada próximo as cidades de Três Rios (RJ) e Mar de Espanha (MG), no limite interestadual entre Rio de Janeiro e Minas Gerais.

Materiais e métodos

Primeiramente será feita uma revisão bibliográfica sobre trabalhos que abrangem fenômenos da evolução da paisagem geomorfológica, tais como as características dos sistemas de drenagens e sua relação com os depósitos sedimentares. Ainda nesse primeiro momento será feita uma organização da base de dados georreferenciadas para um posterior mapeamento das feições geológico-geomorfológicas (*knickpoints*, lineamento estrutural e planícies aluvionares) na bacia de estudo em um ambiente SIG,

mais especificamente através do software ArcGIS versão 10.2.2, utilizando a base topográfica de 1:50.000 do IBGE que abrangem a região e o Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) da U.S. Geological Survey (USGS) com resolução de aproximadamente 90 metros. As cartas topográficas utilizadas foram a de Sapucaia (folha SF-23-X-D-V-3), Três Rios (folha SF-23-Z-B-I-2), Anta (folha SF-23-Z-B-II-1) e Mar de Espanha (folha SF-23-X-D-IV-4). A identificação dos *knickpoints* em cartas topográficas se dá nos locais onde há uma concentração de curvas de nível que caracterizam um desnível topográfico abrupto e, também, quando as mesmas se aproximam formando um estrangulamento seguido de desnível para jusante. Os *knickpoints* selecionados para análise serão os que foram mapeados no leito principal da bacia, além dos que serão encontrados em campo. No campo, os selecionados serão descritos a partir da sua litologia, extração de medidas de fraturas, altimetria, morfologia do relevo no seu entorno, entre outras características.

Em ambiente SIG foram identificados no primeiro mapeamento 30 *knickpoints* em toda rede de drenagem da bacia. Em campo, foram analisados os *knickpoints* encontrados no curso principal e um *knickpoint* em um dos afluentes de 1ª ordem, situado na serra da arribada.

É válido ressaltar que a metodologia é feita em etapas, porém após o campo houve a necessidade de voltar em algumas e refazer mapeamentos a fim de aprimorar e complementar os resultados da pesquisa.

Resultados e Discussões

Entende-se que a lito-estrutura dos substratos geológicos no médio vale do Paraíba do Sul está intimamente relacionada com a formação de *knickpoints* na região, como mostram estudos de Dantas [9] e Eirado Silva [7] em Bananal-SP. A evolução da rede de drenagem está intimamente relacionada com a geologia local, justamente por conta das interações dos processos intempéricos utilizando-se de planos de fraqueza nas rochas, modelando o relevo a partir das orientações da rede de drenagem. As observações de campo e os mapeamentos geológico-geomorfológicos mostram de uma forma geral uma relação muito próxima entre a orientação dos canais fluviais e as estruturas litológicas, definindo uma forte orientação de drenagem principal NNE-SSW, seguindo a foliação e das drenagens tributárias seguindo, NW-SE e NE-SW, sob orientação de fraturas. Castanheira [10] em estudos anteriores na área de estudo, acredita que “são as estruturas litológicas principalmente falhas, fraturas e foliação, que

acabam concentrando os fluxos de água com maior facilidade, devido à fragilidade oferecida à ação intempérica e erosiva da água”.

De acordo com o mapa geológico (figura 1), a litologia da bacia do rio Minerva é formada por rochas de quatro unidades: os ortogranulitos do Complexo Juiz de Fora, o Biotita gnaisse bandado do Complexo Paraíba do Sul; Granada-biotita gnaisse da Megassequência Andrelândia e os ortognaisses do Complexo Quirino [11]; [12].

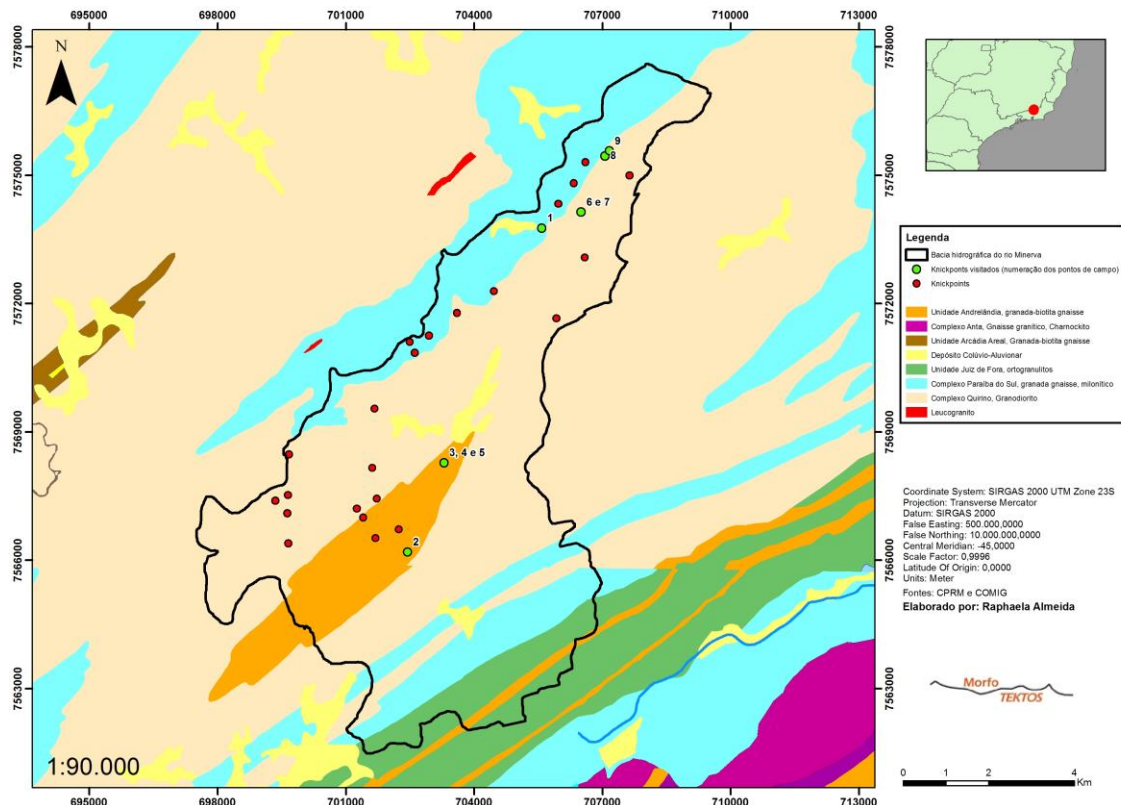


Figura 1: Mapa geológico da bacia do rio Minerva com os *knickpoints* identificados em carta topográfica (vermelhos) e em campo (verdes).

Em termos estruturais, tal processo colisional leva as unidades litológicas a um alinhamento de orientação NNE, além de falhas inversas compressivas e outras transcorrentes de acordo com o regime de esforços. Somado a isso, o esforço crustal proveniente da tectônica rúptil formadora do Rift Sudeste desenhou fraturas em diversas direções, bem como alinhamento de raros diques básicos. A figura 2 demonstra que a orientação da rede de drenagem do rio Minerva segue os lineamentos estruturais mapeados, apoiando a afirmação de Castanheira op.cit. sobre o controle das estruturas litológicas na dinâmica fluvial de uma bacia. O rio principal da bacia percorre seu curso numa direção NNE-SSW inicialmente, mudando para NW-SE na sua porção Centro-sul, formando uma anomalia conhecida como cotovelo de drenagem. A influência dos *knickpoints* na formação dessa anomalia é muito significativa e será discutida mais à frente na descrição desses níveis de base locais visitados em campo.

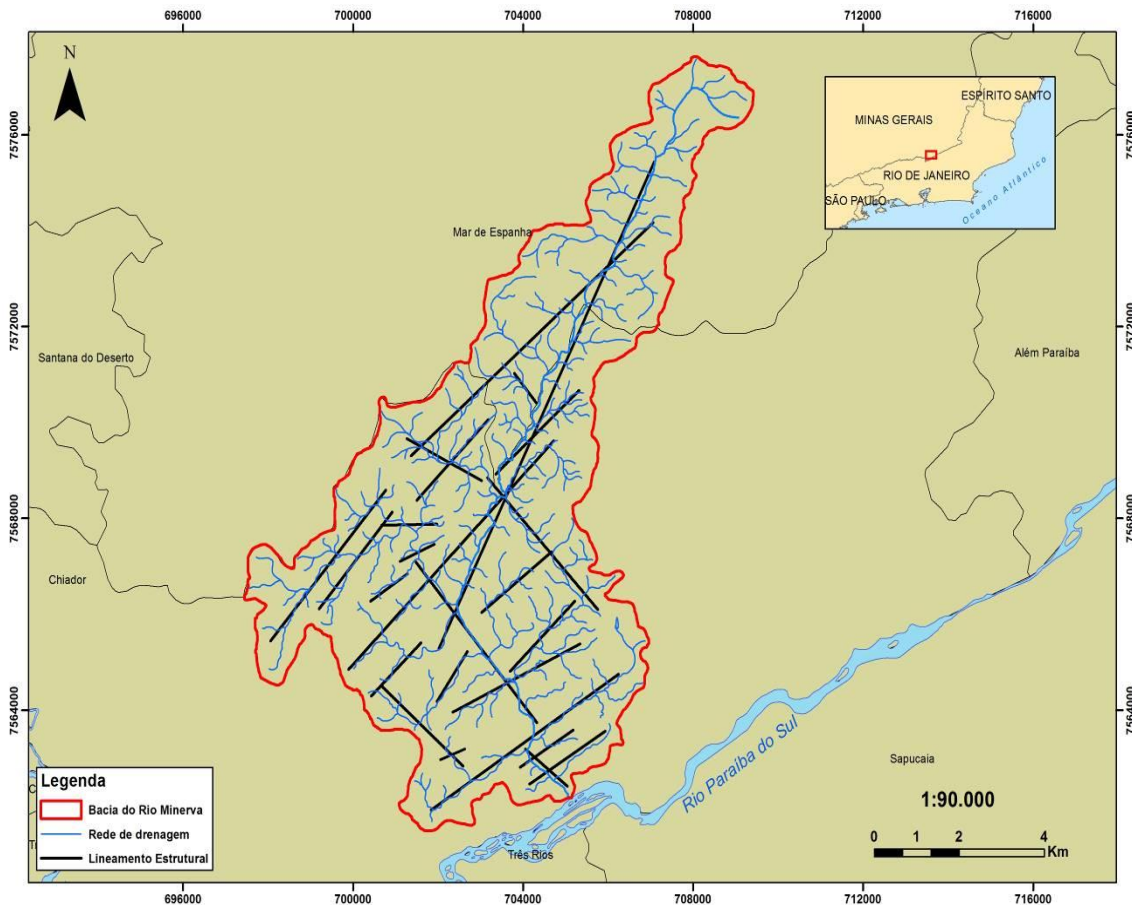


Figura 2 – Lineamento estrutural controlando a orientação da rede de drenagem da Bacia do Rio Minerva.

No total foram mapeados 30 *knickpoints* na bacia. A partir do mapa de distribuição de *knickpoints* (figura 3) é possível observar que há uma grande concentração nas porções norte e oeste da bacia, próximos de suas cabeceiras, apresentando grandes amplitudes de relevo em resposta à resistência litológica que forma a serra da Arribada. Em campo, analisamos um desses *knickpoints* de canal de 1ª ordem, afluente do rio principal, na porção noroeste da bacia e obtemos os seguintes resultados:

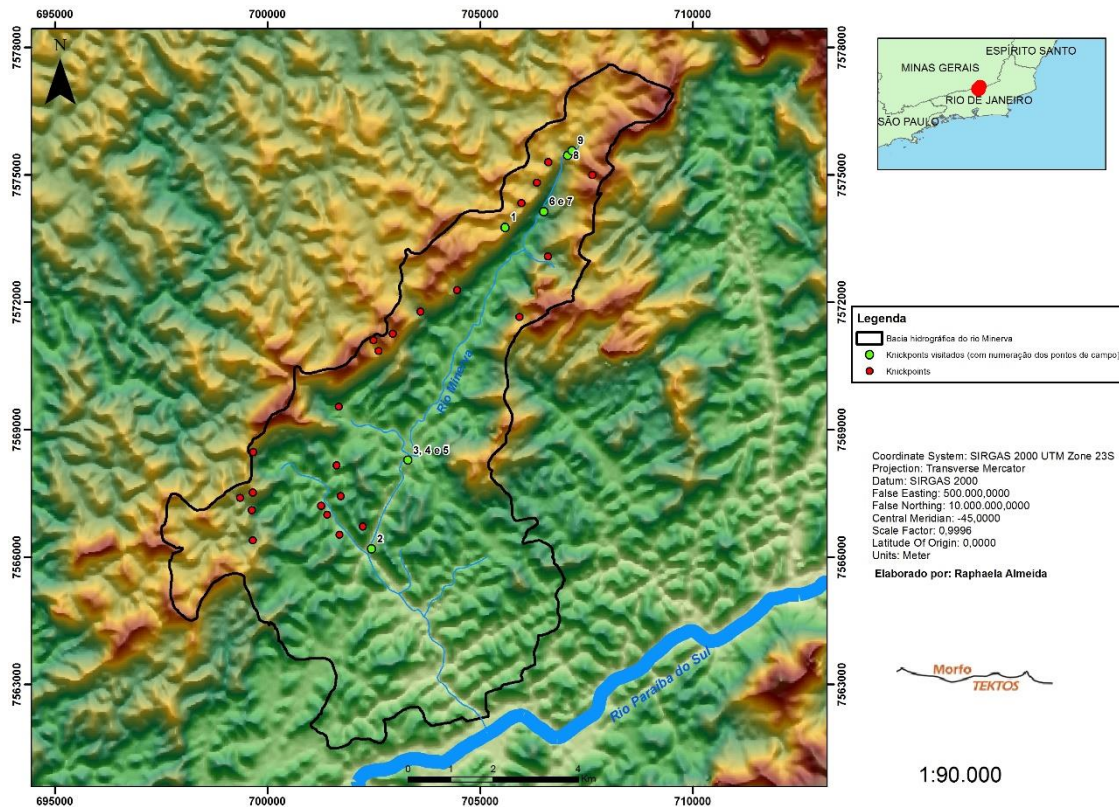


Figura 3 - Mapa da distribuição de *knickpoints* na bacia do Rio Minerva.

Ponto 1 – (UTM 705705/7573806, zona 23 S)

Knickpoint formado por um gnaisse de alto grau de resistência, contendo biotita, quartzo e feldspato de grãos equigranular e coloração mesocrática. A estrutura que orienta o canal é a foliação sub-horizontal de $320^{\circ}/10^{\circ}$. As fraturas formam pequenos degraus ao decorrer do leito. Elas apresentam medidas de $140^{\circ}/57^{\circ}$; $21^{\circ}/73^{\circ}$; $155^{\circ}/71^{\circ}$; e $25^{\circ}/48$. À princípio, essa litologia corresponde às características do ortognaisse do Complexo Quirino identificado nas folhas geológicas da região, porém iremos analisar com

geólogos do grupo de pesquisa para confirmar essa hipótese até por conta da feição estar em contato litológico com rochas do complexo Paraíba do Sul.

A foliação NNE-SSW dos gnaisses da unidade Andrelândia e do complexo Quirino, atrelada a composição litológica facilitaram o recuo erosivo do eixo principal, inclusive com a formação de um relevo de colinas na porção central da bacia e expressivos depósitos sedimentares fluviais nos fundos de vale, denominados como alvéolos.

Com base nas análises dos *knickpoints* em campo, a litologia predominante no eixo principal do rio Minerva é composta pelos metassedimentos da unidade Andrelândia e por ortognaisses do Complexo Quirino nos níveis de base locais localizados na porção norte próximos à cabeceira. Foram identificados cinco expressivos *knickpoints* no rio principal, descritos nos pontos a seguir:

Ponto 2 - (UTM 702384/7566193, zona 23S)

Seguindo o sentido do trabalho erosivo do nível de base regional do rio Paraíba do Sul, esse *knickpoint* da ponte do Macuco é o primeiro degrau topográfico da bacia a criar um expressivo nível de base local. Ele tem uma importância significativa na dinâmica evolutiva do rio, pois marca uma evidência de captura de drenagem na formação do cotovelo de drenagem da bacia. Nesse ponto, o rio que seguia uma direção NNE-SSW, aproveita uma estrutura NW-SE do *knickpoint* com o dip alinhado na fratura (FR – 215°/80) e passa a orientar o canal. A litologia desse *knickpoint* é um biotita gnaiss fino em condição migmatítica com bandas de quartzo e biotita e veios de granito com porções de granada, além de sua foliação 147°/70°. De acordo com as folhas geológicas da região, o *knickpoint* está localizado nos metassedimentos da unidade Andrelândia. Porém, é preciso analisar as amostras das rochas desse *knickpoint* com os integrantes geólogos do grupo de pesquisa para poder comprovar o seu litotipo.

O ponto 3, 4 e 5 fazem parte de um mesmo *knickpoint* com feição de corredeira e por conta da sua extensão, ele foi dividido nesses 3 pontos. De acordo com o sentido do recuo erosivo da bacia, esse é o segundo *knickpoint* do curso principal e pela mudança do cotovelo de drenagem ele orienta o rio numa direção diferente do *knickpoint* anterior, sendo controlado pela estrutura da foliação NNE-SSW.

Ponto 3 - (UTM 702960/7567473, zona 23S)

Mais a jusante – *knickpoint* formado pela unidade Andrelândia - Biotita gnaiss, bandado, de granulometria média, composta por feldspato, quartzo e biotita com distribuição homogênea de cristais em torno de 2mm, intercalando as fases biotíticas com as fases félsicas. Interceptando esta unidade, um dique mesozoico de diabásio encaixado obliquamente gerou um pequeno degrau topográfico no *knickpoint*, porém não orientou o fluxo do rio neste trecho, o qual seguia a foliação com orientação $337^{\circ}/79^{\circ}$ da rocha encaixante.

Ponto 4 - (UTM 703116/7568131, zona 23S)

Na porção central do *knickpoint* em forma de corredeira (figura 4), aproximadamente 800 metros de distância do ponto 1 - a litologia do afloramento rochoso é constituída do mesmo Biotita gnaiss, bandado com bandas de até 2cm, porém neste caso, intercalado com corpos graníticos em condição migmatítica e presença de veios de quartzo de diversas espessuras no afloramento. No trecho desse *knickpoint*, o canal é orientado pela foliação $345^{\circ}/80^{\circ}$, justamente alinhado a NNE, e composto por pequenos saltos formados pelas fraturas de orientação $205^{\circ}/89^{\circ}$ e $232^{\circ}/87^{\circ}$ de direção NW-SE.



Figura 4 - *Knickpoint* corredeira no ponto 4: Metassedimentos da unidade Andrelândia com intercalações de corpos graníticos em condições migmatíticas. Fonte: Arquivo pessoal

Ponto 5 - (UTM 703252/7568266, zona 23S)

Na cabeceira do *knickpoint* em forma de corredeira em direção a queda do ponto 2 (figura 5), o mesmo biotita gnaiss aflora com seu bandamento e com a presença de corpos graníticos intercalados em condição migmatítica. A foliação $333^{\circ}/82^{\circ}$ orienta o fluxo do canal e são abundantes as fraturas no sentido ortogonal a foliação. Esse *knickpoint* marca um nível de base local interrompendo um longo alvéolo a sua montante, desempenhando seu papel na retenção de sedimentos no transporte fluvial e assim influenciando o desenvolvimento evolutivo da rede de drenagem (figura 6).



Figura 5- Ponto 5: Cabeceira do *knickpoint* corredeira visitado em campo. Fonte: Arquivo pessoal



Figura 6- Planície aluvionar a montante do *knickpoint* corredeira. Fonte: Arquivo pessoal

Por também ser um *knickpoint* de corredeira de grande extensão e de fácil acesso, esse *knickpoint* foi dividido em dois pontos (Ponto 6 e 7).

Ponto 6 - (UTM 706434/7574006 zona 23S)

Esse *knickpoint* em forma de corredeira orienta o rio principal pela estrutura da foliação ($330^{\circ}/75^{\circ}$) e nele notamos presença de blocos de diabásio, evidenciando a presença de um dique de diabásio nessas proximidades. Posteriormente, constatou-se ao dique de diabásio a montante desse ponto por estar mapeado nas folhas geológicas que abrangem a bacia [8]; [9].

Ponto 7 - (UTM 706500/7574187 23 S)

Esse *knickpoint* corredeira orienta o canal pela estrutura da foliação $325^{\circ}/10^{\circ}$. As fraturas paralelas ao canal com mergulhos $310^{\circ}/88^{\circ}$; $320^{\circ}/87^{\circ}$; e $50^{\circ}/73^{\circ}$ formam saltos no fluxo do rio.

Ponto 8 – (UTM 706987/7575384 23 S)

Esse *knickpoint* é o que apresenta a maior queda em forma de cachoeira da bacia e também um litotipo diferente dos outros níveis de base locais. Analisando a amostra em

campo, ele aparenta ser um gnaiss mesocrático com grãos faneríticos, de textura equigranular e com levíssima foliação. Seus minerais são feldspato, quartzo e biotita possuem tamanho de 4mm. De acordo com as folhas geológicas da região, essa rocha aparenta ser do complexo Quirino. A sua leve foliação NE-SW e com dip angle mais suave que a dos outros *knickpoints*, marcando $320^{\circ}/30^{\circ}$ continua orientando o canal principal. As fraturas de $137^{\circ}/40^{\circ}$ formam os principais degraus desse nível de base local, além de outros pequenos saltos formados por fraturas de $150^{\circ}/59^{\circ}$. Além disso, foi analisado que essas fraturas soltam blocos laminares e que as fraturas de alívio coincidem com a direção da foliação. Nesse *knickpoint* não encontramos blocos de diabásio, evidenciando que o dique se encontra a sua jusante, entre esse e o *knickpoint* anterior.

Ponto 9 - (UTM 707150/7575542)

Esse *knickpoint* não se apresenta tão expressivo quanto os outros em termos de extensão, porém foram tiradas medidas e feitas análises sobre suas características por ele se encontrar no vale suspenso do Arribada, situado próximo à nascente do rio Minerva. Ele é orientado pela foliação $340^{\circ}/41^{\circ}$ e as fraturas mais marcantes estão nessa mesma orientação ($325^{\circ}/41^{\circ}$; $325^{\circ}/38^{\circ}$). Esse *knickpoint* também não apresentou blocos de diabásio.

A partir das medidas extraídas de todos os *knickpoints* do rio principal e um do vale suspenso da serra da Arribada, percebemos um predomínio de estruturas com a direção do mergulho voltado para NW-SE, correspondendo ao strike NE-SW da foliação como está ilustrado na roseta de orientação (figura 7). É notável também uma estrutura com direção de mergulho para NE-SW, referente ao strike NW-SE das fraturas.

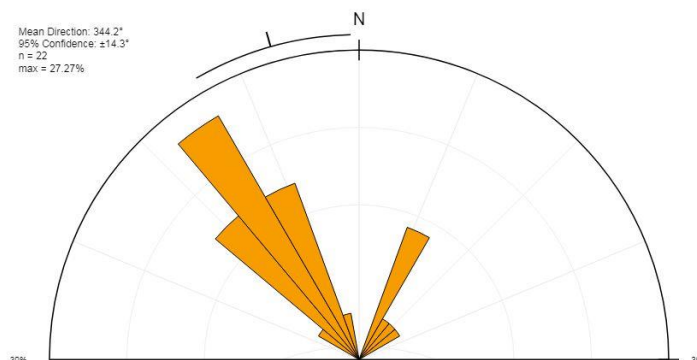


Figura 7: Roseta de orientação correspondendo à direção de mergulho predominante da bacia do rio Minerva.

Conclusão

A partir dos resultados, fica evidente a significativa importância desse estudo para o entendimento da funcionalidade e distribuição dos *knickpoints* na evolução da rede de drenagem do rio Paraíba do Sul. Esta apresenta expressiva relação com as estruturas do substrato geológico e os *knickpoints* são controlados pela intercalação das estruturas de foliação em maior parte da bacia, com orientações NNE-SSW, bem como as ocorrências esporádicas dos diques de Diabásio. Além dessa estrutura, ficou evidente o papel do *knickpoint* na formação do cotovelo de drenagem pela mudança de controle estrutural da foliação para fraturas NW-SE. Apesar da pesquisa não estar concluída, a partir dos resultados parciais acima já podemos perceber como os *knickpoints* influenciam expressivamente no controle da orientação da rede de drenagem e na evolução da paisagem da bacia do rio Minerva.

Referências bibliográficas

- 1 - POWELL, J.W. (1875). Exploration of the Colorado River and its canyons: New York, Dover Publications, 400 p.
- 2 - GILBERT, G.K, Report on the geology of the Henry Mountains. Washington D.C.: U.S. Government Printing Office, 1877.
- 3 - KING, L.C. 1956. A geomorfologia do Brasil oriental. Rev. Bras. Geogr., v. 18, n.2, p. 147-265.
- 4 - HEILBRON, M.; PEDROSA SOARES, A.C.; NETO, M.C.C.; SILVA, L.C.; TROW, R.A.J.; JANASI, V.A. (2004). Província Mantiqueira. In: Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. Editora Beca, São Paulo-SP. Cap. XIII.
- 5 - HEILBRON, M.; VALERIANO, C.M.; VALLADARES & C.S.; MACHADO, N. A orogênese brasileira no segmento central da faixa Ribeira, Brasil. Revista Brasileira de Geociências, 25(4): 249-266, 1995.
- 6 - RICCOMINI, C., SANT'ANNA, L. G., & FERRARI, A. L. Evolução geológica do rift continental do sudeste do Brasil. Geologia do continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida, 383-405, 2004.
- 7 - EIRADO SILVA, L. G.; DANTAS, M. E. & COELHO NETTO, A.L. Condicionantes lito-estruturais na formação de níveis de base locais ("*knickpoints*") e implicações geomorfológicas no Médio Vale do rio Paraíba do Sul . In: III Simpósio de Geologia do Sudeste - Rio de Janeiro/RJ - Atas, 96-102, 1993.

- 8 - DANTAS, MARCELO EDUARDO; COELHO NETTO, Ana Luiza. Resultantes geo-hidroecológicas do ciclo cafeeiro (1780-1880) no médio vale do rio Paraíba do Sul: uma análise quali-quantitativa. **Anu. Inst. Geocienc.**, Rio de Janeiro, 1996.
- 9 - DANTAS, M.E.; EIRADO, L.G. & COELHO NETTO, A.L. Níveis de Base Locais e Estocagem Diferencial de Sedimentos nas Bacias dos Rios Bananal (SP/RJ) e Salto (RJ): controle geológicos e morfométricos. In: Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário - ABEQUA, 5, Anais, Niterói/RJ, p. 176-182, 1995.
- 10 - CASTANHEIRA, M., FREITAS, M., & SARTI, T. (2006). Evolução da rede de drenagem controlada por nível de base regional e evidências do processo de captura fluvial no médio vale do rio Paraíba do Sul. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/Regional Conference on Geomorphology – Goiânia/GO, 1-10.
- 11 - TUPINAMBÁ, M. et al. Geologia da Faixa Ribeira Setentrional: estado da arte e conexões com a Faixa Araçuaí. *Revista Geonomos*, v. 15, n. 1, 2013.
- 12 - VALLADARES, C. S. et al. Geologia e recursos minerais da folha Três Rios SF.23-Z-B-I: escala 1:100.000: estado do Rio de Janeiro. Belo Horizonte: CPRM, 2012.