



## O CÁLCULO DO ÍNDICE DE HACK EM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA: UMA ANÁLISE COMPARATIVA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIO PARDO E ALTO JEQUITINHONHA, NA SERRA DO ESPINHAÇO MERIDIONAL (SdEM) – MG

Bráulio Magalhães Fonseca - Professor Substituto - Departamento de Cartografia –  
IGC/UFM. [brauliomagalhaes@gmail.com](mailto:brauliomagalhaes@gmail.com);

Cristina Helena Ribeiro Rocha Augustin - Professora Titular - Departamento de Geografia –  
IGC/UFMG. [chaugustin@ymail.com](mailto:chaugustin@ymail.com);

Daniel Peifer Bezerra – Departamento de Geografia – IGC/UFMG

Leonardo Cristian Rocha - Professor Assistente - Departamento de Geografia –  
DEGEO/UFSJ

**RESUMO:** O índice de Hack tem sido utilizado para o estudo de drenagem, especialmente porque permite a obtenção de parâmetros comparativos entre elas, tornando possível realizar inferências sobre características das bacias. Este artigo apresenta a aplicação do índice de Hack em duas delas: a do rio Pardo Grande, localizado a oeste, e a do rio Jequitinhonha, a leste, do Espinhaço Meridional, no estado de Minas Gerais. As variáveis necessárias ao cálculo do índice de Hack (diferença altimétrica, ou amplitude topográfica do canal de drenagem e seu comprimento) foram extraídas utilizando-se um Modelo Digital de Terreno sobre as curvas de nível em formato *shapefile*, através da extensão *3D analyst*. Os referidos parâmetros foram também tabulados no programa ArcGIS 9.2. Os valores calculados do índice de Hack foram plotados, de forma pontual, na metade do traçado de cada drenagem, possibilitando a aplicação de métodos de estatística espacial, com a interpolação de zonas de isovalores do índice em questão. Para o tratamento estatístico foram utilizadas as extensões *Spatial Analyst* e *Geostatistical Analyst*, e os interpoladores *Inverse Distance Weighting* (IDW) e o Diagrama de Voronoi. Os dados finais mostram valores maiores do vigor energético na bacia do rio Jequitinhonha, comparada com a bacia do rio Pardo Grande, sugerindo intensidade e tipos diferentes de dinâmicas geomorfológicas nas duas áreas.

**Palavras-chave:** índice de Hack, Espinhaço Meridional, rio Pardo Grande, Rio Jequitinhonha, intensidade dissecação.



**ABSTRACT:** Hack's Index is long being used for drainage system analyses because it allows obtaining comparative parameters between them. Besides, it favors inferences about their characteristics as a basin. This paper presents the application of Hack's in two of such basins: the basin of Rio Grande located at the western border of the Espinhaço Mountain Range and that of Jequitinhonha River, at the eastern border of the same mountain range. The variables needed to use Hack's Index (altimetric difference, or topographic amplitude of the channel and its length) were taken through the use of the Terrain Digital Model plotted over contour lines (*shapefile*), with a *3D analyst extension*. Those parameters were also tabulated in an ArcGIS 9.2 Program. The Hack's Index values were then plotted, at each point at the middle of the drainage line, which ensured the application of spacial statistics, with the interpolation of isovalues with Hack's Index. For the statistical model Spatial Analyst and Geostatistical Analyst extension was used; for interpolation, the Inverse Distance Weighting (IDW) and the Voronoi Diagram. Final data show a much stronger energy index for the Basin of Jequitinhonha River, when compared to the basin of the Pardo Pardo Grande River, suggesting the existence of different intensity and types of geomorphological dynamics between the two areas.

**Keywords:** Hack's Index, Espinhaço Meridional, Pardo Grande River, Jequitinhonha River, dissection intensity.

## 1 INTRODUÇÃO

O Índice de Hack (*Stream Length-Gradient Index*), denominado por Etchebehere et al. (2004) como "Relação Declividade-Extensão", foi concebido por e apresentado por John T. Hack em 1973. Passível de ser obtido com relativa facilidade e agilidade, o índice foi amplamente utilizado na literatura acadêmica por oferecer base comparativa entre rios de diferentes extensões, ocorrendo em áreas também com diferentes características fisiográficas, além de possibilitar inferências acerca da história e do desenvolvimento geológico e geomorfológico da área estudada.

Foi aplicado, por exemplo, por Mayer & Wentworth (1983) para estudos sobre movimentação da falha de Stafford, no nordeste do Estado da Virgínia, nos EUA; por Keller (1977) e Keller & Rockwell (1984) para a identificar "células tectônicas" de grande atividade em partes da Califórnia, também nos Estados Unidos; por Seeber & Gornitz (1983), para a detecção de atividade neotectônica no Himalaia; por McKeown et al. (1988) para inferir a



expressão fisiográfica de uma série de registros sísmicos na região montanhosa de Ozark, no Estado do Arkansas, EUA; por Etchebehere et al. (2004) e Etchebehere et al. (2006) para a identificação de deformações neotectônicas no Vale do Rio Peixe, Estado de São Paulo, Brasil; por Della Seta & Troiani (2008) para análise morfotectônica de pequenas bacias na região central da Itália, entre muitos outros exemplos. O desenvolvimento do Índice de Hack esteve ligado aos seus trabalhos anteriores, especialmente o estudo de perfis longitudinais e carga de leito do Vale Shenandoah (HACK, 1957a, p. 87-90).

A partir de evidências empíricas (HACK, 1957a, p.71; HACK & YOUNG, 1959, p.4) Hack observou que o valor do produto declividade do canal (S) por seu comprimento (L), está diretamente relacionado à competência de um rio. Estudando a bacia Potomac, Hack enuncia que os rios dessa bacia possuem, em média, a seguinte relação:

$$S = 25 \frac{M^{0,6}}{L}$$

na qual M corresponde ao tamanho médio das partículas formadoras da carga de leito. Existe uma relação funcional entre essas variáveis: um aumento no tamanho das partículas depositadas no leito do rio correlaciona-se com um aumento no valor do produto SL, ou seja, no Índice de Hack (HACK, 1973).

Assumindo que a competência de um rio esteja diretamente relacionada com a energia do mesmo, é compreensível que o Índice de Hack seja tomado como uma medida ou um indicativo da energia dos rios e, portanto, como uma base comparativa entre eles (ETCHEBEHERE et al., 2004; ETCHEBEHERE et al., 2006; KELLER & PINTER, 1996).

O presente trabalho partiu da premissa de que os valores do índice de Hack podem ser melhor interpretados de maneira comparativa. Desta forma, foi realizada uma análise das bacias hidrográficas do rio Pardo e alto Jequitinhonha, tendo como objetivo avaliar e aferir o vigor energético de suas respectivas redes de drenagem, como base comparativa da evolução das mesmas.

Os resultados alcançados foram interpretados à luz da hipótese de uma possível evolução geomorfológica diferenciada nas bordas oeste e leste da SdEM, em função de aspectos diferenciados do relevo que estas duas bacias apresentam, incluindo os níveis de dissecação e entalhe da drenagem.



**1.1 A Serra do Espinhaço Meridional e a área de estudo:** várias pesquisas já foram desenvolvidas acerca da evolução das formas de relevo e processos morfodinâmicos da SdEM (Pflug, 1965; Abreu, 1982; Saadi & Valadão, 1987 a,b; Augustin et. al., 1994; Augustin, 1995; Saadi, 1995; Augustin & Aranha, 2006; Fonseca & Augustin, 2008; etc.).

A Serra do Espinhaço Meridional corresponde a um cinturão orogênico com marcas de uma tectônica compressiva de esforços leste oeste (KNAUER, 2007). Forma o limite sudeste do Cráton do São Francisco, e estende-se por cerca de 300 km na direção N-S, desde o Quadrilátero Ferrífero (Serra do Ouro Branco) até a região de Olhos d'Água (ALMEIDA ABREU, 1995). Para nordeste, uni-se com a Faixa Araçuaí e, no Estado da Bahia, encontra-se disposta de forma segmentada e deslocada em relação à sua porção setentrional, com a qual forma o grande complexo denominado Serra do Espinhaço.

A arquitetura geológica da SdEM é caracterizada predominantemente por quartzitos distintos, litótipos que conferem uma morfologia arqueada e topograficamente elevada ao orógeno. Segundo RENGER (1979), as primeiras notas de cunho científico sobre a Serra do Espinhaço são encontradas em um relatório pouco difundido, de autoria atribuída a VIEIRA COUTO (1799). Tal documento tornou-se de conhecimento da comunidade científica em 1948, ao ser publicado pelo Instituto Histórico Geográfico Brasileiro. Outro grande geocientista que contribuiu para os estudos científicos do Espinhaço foi o Engenheiro de Minas alemão, Barão Von Eschwege. O pesquisador alemão introduz o nome da Serra do Espinhaço e a reconhece como o divisor de águas entre o Atlântico e as bacias do rio São Francisco, Paraná e Uruguai.

DERBY (1906), *apud* RENGER; (1979), redefiniu a Serra do Espinhaço como o interflúvio das águas do leste da bacia do São Francisco, com abrangência de Ouro Preto a Juazeiro na Bahia. Tal configuração e denominação da ocorrência espacial do Espinhaço são contestadas por alguns autores, que excluem as Serras do Quadrilátero Ferrífero da faixa orogênica denominada Serra do Espinhaço.

Segundo Saadi (1995), a SdEM é geomorfologicamente caracterizada, no estado de Minas Gerais, por um conjunto de terras altas, em forma de bumerangue, de direção geral norte-sul e convexidade orientada para oeste. Na Figura 1, é possível observar a localização da área de estudo da presente pesquisa. As bacias hidrográficas do rio Pardo e alto Jequitinhonha estão dispostas sobre o eixo central (leste-oeste) que parte do ponto de inflexão da convexidade do orógeno.

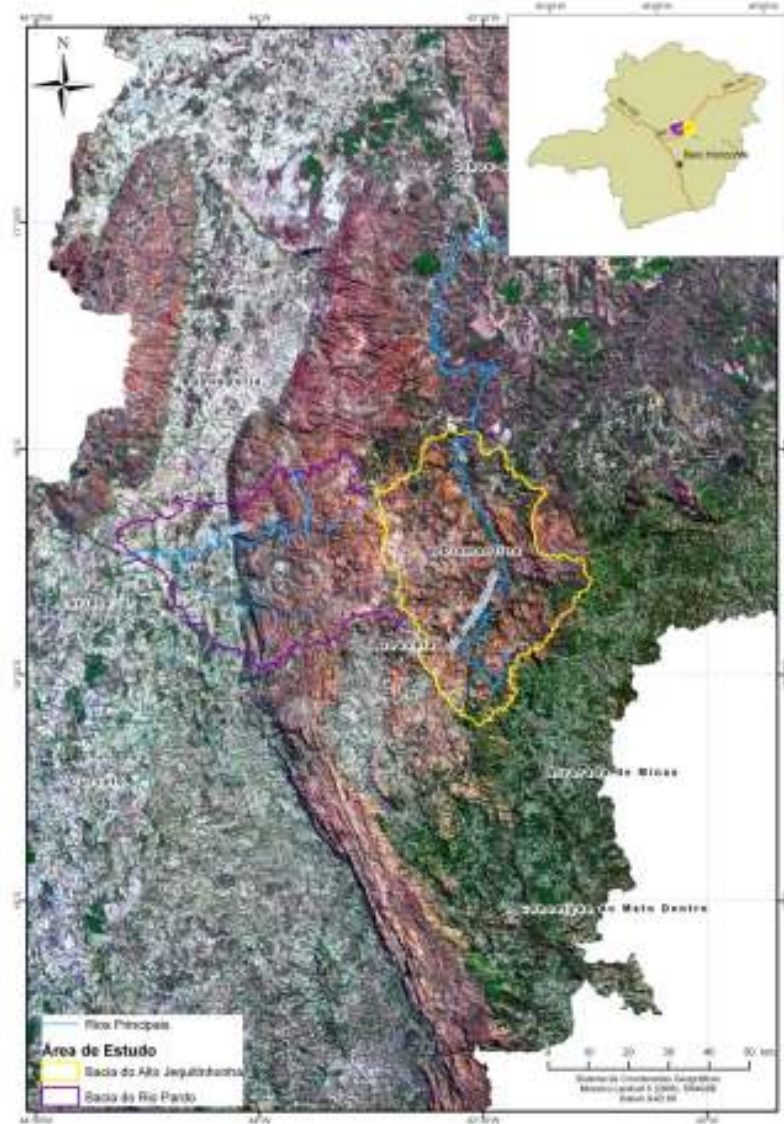


Ao fazer uma análise Geomorfológica a nível regional para a Serra do Espinhaço, Saadi (1995) divide o orógeno em Planalto Meridional e Planalto Setentrional. Tal divisão é marcada pelo lineamento que caracteriza uma zona topograficamente deprimida que passa por Couto Magalhães de Minas.

A área estudada encontra-se totalmente inserida no Planalto Meridional. As principais formas de relevo encontradas são escarpas, alinhamentos serranos predominantemente quartzíticos e vales encaixados, os quais são esculpidos pela rede de drenagem que incide facilmente nos lineamentos estruturais.

Na borda leste da SdEM, na bacia do alto Jequitinhonha, observa-se janelas estruturais associadas às frentes de empurrão, as quais proporcionaram a ocorrência de zonas de menor resistência litológica à incisão vertical da rede de drenagem, onde afloram os granitóides do Complexo Gouveia (AUGUSTIN, 1995). Dessa forma, a escarpa leste configura-se espacialmente de maneira descontínua, evidenciando uma zona de vales encaixados drenando para as bacias dos rios Jequitinhonha, Mucuri e Doce.





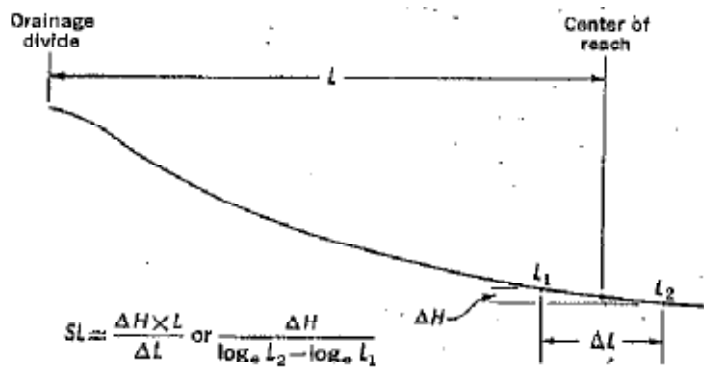
**Fig. 1 - Mosaico de Imagens TM/ Landsat 5 evidenciando a localização da área de estudo na Serra do Espinhaço Meridional.**

Já na borda oeste, a bacia do rio Pardo é marcada por uma linha de escarpa de falha disposta espacialmente com certa regularidade, estendendo-se do Rio Pardo Pequeno ao Rio Pardo ou Pardo Grande. Estes rompem quase perpendicularmente a escarpa oeste, esculpindo *canyons* que drenam os cursos de água para a bacia do rio das Velhas (Fig.1). As bacias aqui analisadas foram escolhidas devido a grande representatividade areal no contexto espacial da SdEM.



## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O Índice de Hack tem por definição matemática:  $SL = \frac{\Delta H}{\Delta L} L$ , podendo também ser representado por  $SL = \frac{\Delta H}{\log_e Ly - \log_e Lx}$  onde L representa o comprimento do segmento considerado desde seu mais longo alcance, ou seja, sua nascente;  $\Delta H$  representa a variação altimétrica do segmento considerado e  $\Delta L$  representa a distância horizontal do mesmo significando, portanto, a declividade média de tal segmento. Os parâmetros mensurados em seu cálculo são representados na Fig. 2.



**Fig. 2 - Parâmetros a serem medidos no cálculo do Índice de Hack. Fonte: Hack (1973).**

É importante que o segmento considerado no cálculo do Índice de Hack, seja longo o suficiente para que variações na declividade do canal de pequena extensão espacial (tal qual poços e corredeiras) sejam representadas no cálculo do mesmo. Podem ser utilizadas quaisquer unidades de medidas no cálculo dos parâmetros, desde que seja obedecido um padrão.

A validade do índice depende de uma relação consistente entre o comprimento do canal e a área de drenagem do mesmo, o que segundo Hack (1973), ocorre na maioria dos ambientes fluviais naturais. Por isso, é importante que seja considerado, no cálculo, o comprimento do maior curso d'água (até sua nascente) à montante do trecho para o qual o índice está sendo calculado, sem interrupções, mesmo que haja diferentes junções com outros rios. Hack (1973) afirma que os resultados obtidos próximos às cabeceiras de drenagem,



tendem a se apresentar anômalos, por não responderem diretamente à energia cinética dos rios e sim a outros processos de cabeceira e, portanto, seu resultado pode ser desconsiderado.

Um cuidado especial deve ser tomado ao realizar o cálculo de acordo com o método apresentado: o produto SL é uma tangente em um ponto específico do perfil longitudinal em escala semilogarítmica. Assim, ao se calcular a declividade média de um segmento através da fórmula  $\frac{\Delta H}{\Delta L}$  mede-se, na realidade, uma secante do perfil, o que significa um erro. De acordo com Hack (1973), esse erro é função da razão  $\frac{L}{\Delta L}$  e, portanto, quanto menor essa razão, maior é o erro; o erro não é significativo até que essa razão atinja o valor de 2,0 ou 1,0. De maneira geral, é recomendável que  $\Delta L$  seja menor que  $L$ .

No presente trabalho o índice de Hack foi calculado para toda a extensão de um curso de água, “*whole slope vs. length index*”, considerando-se a amplitude altimétrica total entre a cota da cabeceira e a cota da foz, bem como o logaritmo neperiano da extensão total do mesmo, conforme sugerido por McKeown *et al.* (1988) e Etchebehere *et al.* (2004).

Foram realizadas campanhas de campo com o objetivo de localizar as rupturas de declive (*knickpoints*) mais expressivas. Para tal, foi utilizado um aparelho GPS na demarcação das cachoeiras, identificadas como representativas dessas rupturas. Deve-se ressaltar que as medidas efetuadas no campo foram limitadas à acessibilidade de cada trecho encachoeirado. Desta forma, não foram demarcadas todas as cachoeiras existentes na área estudada, mas acredita-se que o número levantado seja representativo das existentes na área estudada, mas acredita-se que o número levantado seja proporcional à realidade da mesma.

O cálculo do índice de Hack foi feito sobre cartas topográficas na escala 1:100.000 (IBGE, 1978), as quais foram digitalizadas e georreferenciadas no programa ArcGIS 9.2. Considerando a escala de trabalho, os cursos d’água quantificados foram escolhidos de acordo com os critérios da presença de toponímia na carta impressa oficial e também da maior ordem fluvial.

As variáveis necessárias ao cálculo do índice de Hack (diferença altimétrica, ou amplitude topográfica do canal de drenagem e seu comprimento) foram extraídas utilizando-se um Modelo Digital de Terreno sobre as curvas de nível em formato *shapefile*, através da extensão *3D analyst*. Os referidos parâmetros foram também tabulados no programa ArcGIS 9.2, associados a cada vetor representativo de cada curso d’água das bacias analisadas. Os valores calculados do índice de Hack foram plotados, de forma pontual, na metade do traçado





de cada drenagem (ETCHEBEHERE ET AL., 2004), possibilitando a aplicação de métodos de estatística espacial, com a interpolação de zonas de isovalores do índice em questão.

Para o tratamento estatístico foram utilizadas as extensões Spatial Analyst e Geostatistical Analyst, e os interpoladores aplicados são apresentados na seqüência.

Inverse Distance Weighting (IDW) admite que as informações pontuais sejam ponderadas durante o processo de interpolação, de modo que um determinado dado pontual possuirá menos influência sobre outro, à medida que a distância entre eles aumenta (Davis 1986). Segundo Landim (1997), este método representa um interpolador exato e torna-se muito ágil quando o espaço amostral possui menos de 500 pontos.

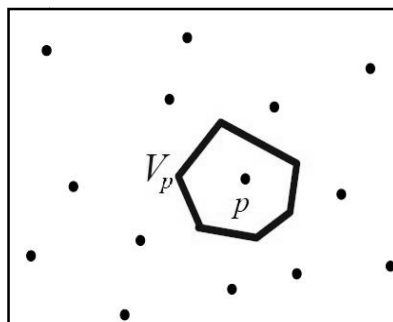
O IDW, descrito na equação abaixo, foi usado para gerar uma superfície contínua com os dados pontuais do índice de Hack, objetivando a identificação de zonas drenadas por cursos d'água de mesmo vigor energético:

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i} z_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i}}$$

Onde z corresponde aos valores estimados, n representa o número de amostras,  $z_i$  os valores conhecidos e  $d_i$  representa as distâncias entre os valores conhecidos e estimados ( $z_i$  e z).

Também foi utilizado o interpolador abrupto Diagrama de Voronoi, ou Polígonos de Voronoi, ou ainda Polígonos de Thiessem, foi usado para determinar, numa área, a região mais próxima de um ponto (LEE & CAHEGAN, 2000).

O modelo Diagrama de Voronoi, esquematizado na Figura 3, é formado por polígonos irregulares, sendo que existe um polígono para cada amostra da variável a ser modelada. Um polígono abrange os limites da região mais próxima de uma amostra em relação a todas as outras amostras. A vantagem deste modelo é justamente essa determinação da área de influência de cada amostra pela distância.



**Fig. 3 – Esquema representando o Diagrama de Voronoi**

O Diagrama de Voronoi foi aplicado da seguinte maneira: dado um conjunto  $S$  de  $n$  pontos no plano, determinou-se, para cada ponto  $p$  de  $S$ , qual é a região  $V(p)$  dos pontos do plano que estão mais próximos de  $p$  do que de qualquer outro ponto em  $S$ . Neste caso, o conjunto  $S$  representa os valores calculados através do índice de Hack (plotados no ponto médio aproximado do curso d'água), o plano é representado pelas bacias do Alto Jequitinhonha e rio Pardo e as regiões  $V(p)$  representam as áreas drenadas por canais com o mesmo vigor energético e que sofrem influência de  $p$ .

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A espacialização do índice de Hack é de fundamental importância para uma melhor observação da dinâmica energética de uma bacia hidrográfica, detecção de alterações nos cursos de água decorrentes de mudanças no substrato geológico, aportes de sedimento, ou mesmo atividades tectônicas.

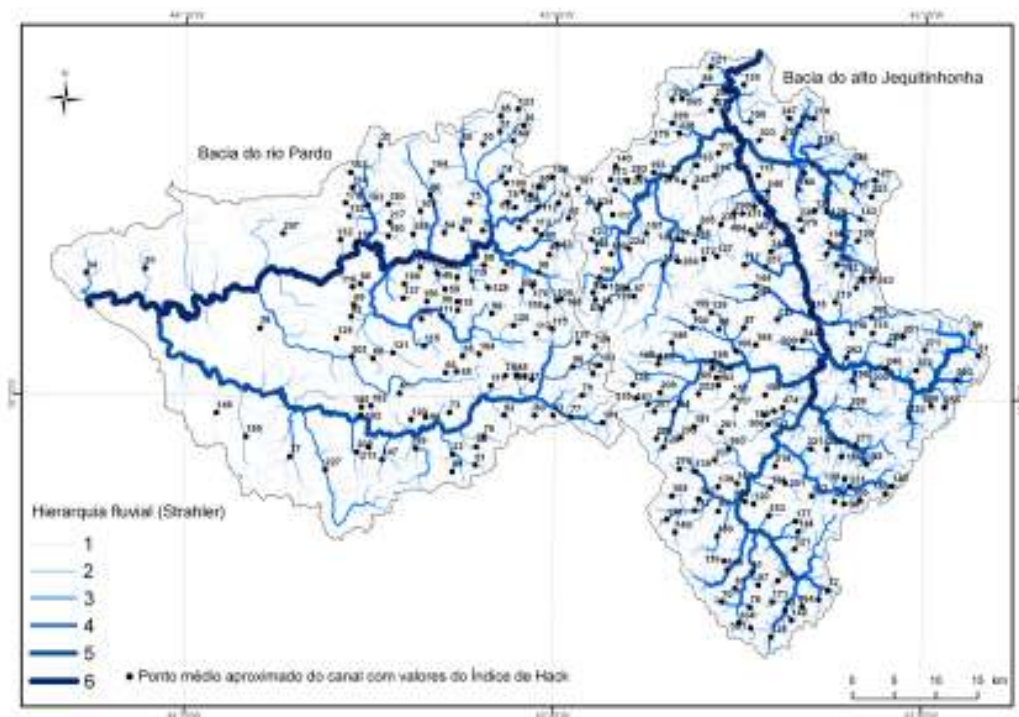
Etchebehere et al. (2004), por exemplo, interpolaram curvas de isovalores do índice de Hack para analisar anomalias na rede de drenagem da bacia do rio do Peixe na região de Presidente Prudente, SP. Os referidos autores ressaltam a contribuição da distribuição espacial do índice de Hack, por eles chamados de Relação Declividade Extensão (RDE), para uma análise geomorfológica regional e ainda como um instrumento de tomada de decisão para futuras investigações de campo.

Os pontos representando os valores calculados para o índice de Hack podem ser observados na Figura 4. Considerando que os processos responsáveis pela distribuição da energia dentro de uma bacia hidrográfica não possuem somente expressões locais (pontuais), fez-se necessário a utilização de métodos de interpolação da informação para uma área. O



índice em questão foi estimado para áreas além dos pontos, conforme ilustrado nas Figuras 5 e 6.

Os valores da superfície obtida através do interpolador IDW foram calculados sobre os valores reais do índice de Hack, enquanto o interpolador abrupto (Voronoi) foi aplicado sobre a média dos valores do parâmetro analisado. Os dois interpoladores representaram satisfatoriamente o parâmetro analisado, sendo que o diagrama de Voronoi individualizou um maior número de áreas de influência do índice de Hack na bacia do alto Jequitinhonha.



**Fig.4 – Pontos médios plotados sobre os respectivos rios hierarquizados conforme Strahler (1956)**

Ao permitir a delimitação exata de áreas de influência dos valores do índice, o interpolador abrupto de Voronoi favoreceu a otimização das investigações de campo, deixando-as mais específicas, uma vez que seria possível optar por investigar um agrupamento de áreas (polígonos) onde a rede de drenagem possui maior vigor energético.

Das 28 rupturas de declive identificadas em campo (Fig.5.), 2 delas localizam-se fora da área de estudo, 5 estão na bacia do rio Pardo e 21 na bacia do alto Jequitinhonha. Algumas rupturas de declive, na bacia do alto Jequitinhonha, encontram-se muito próximas uma das outras e não aparecem na Figura 5 devido a sua escala de apresentação.



O número de rupturas de declive mapeadas não constitui o valor total para a área, haja vista as dificuldades de deslocamento e acesso às áreas inóspitas da SdEM. Mas acredita-se que a quantidade encontrada para as bacias analisadas seja proporcional às condições reais. Nota-se que os adensamentos de pontos que representam as rupturas de declive coincidem com as zonas de maior valor do índice de Hack.

A análise comparativa das bacias a partir do índice de Hack indica que os valores elevados desses índices na bacia do rio Pardo, estão relacionados às diferença litológica marcantes na bacia, como é possível verificar na Figura 7. Observa-se que os valores do índice de Hack elevam-se, na bacia do rio Pardo, onde ocorre discordância erosiva entre os litótipos quartzíticos do Supergrupo Espinhaço e litótipos carbonáticos dos grupos Bambuí.

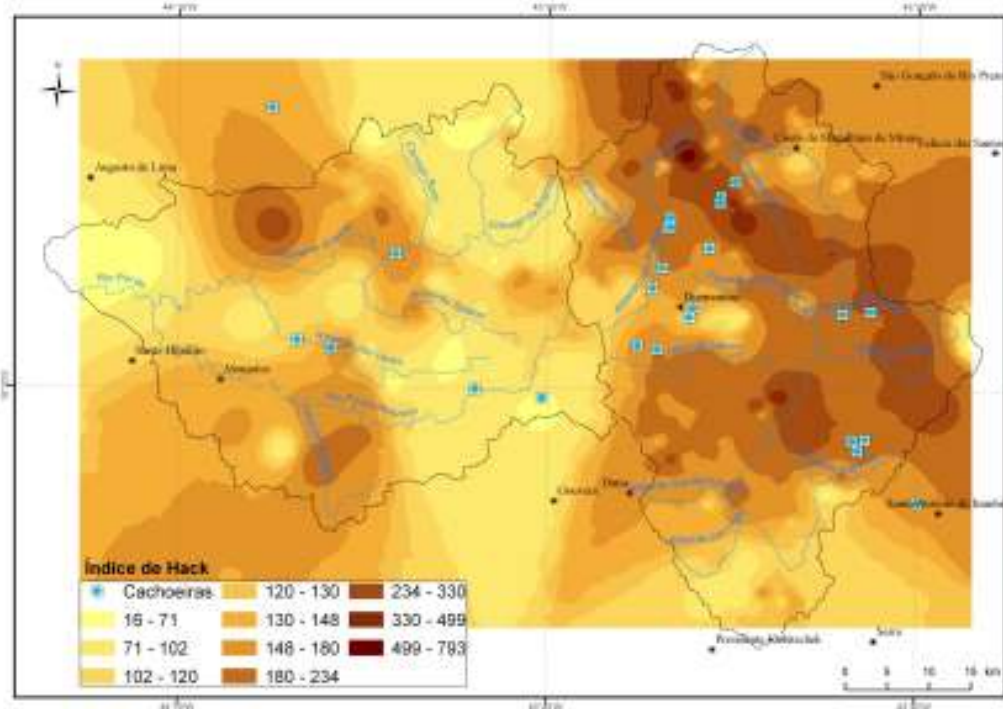
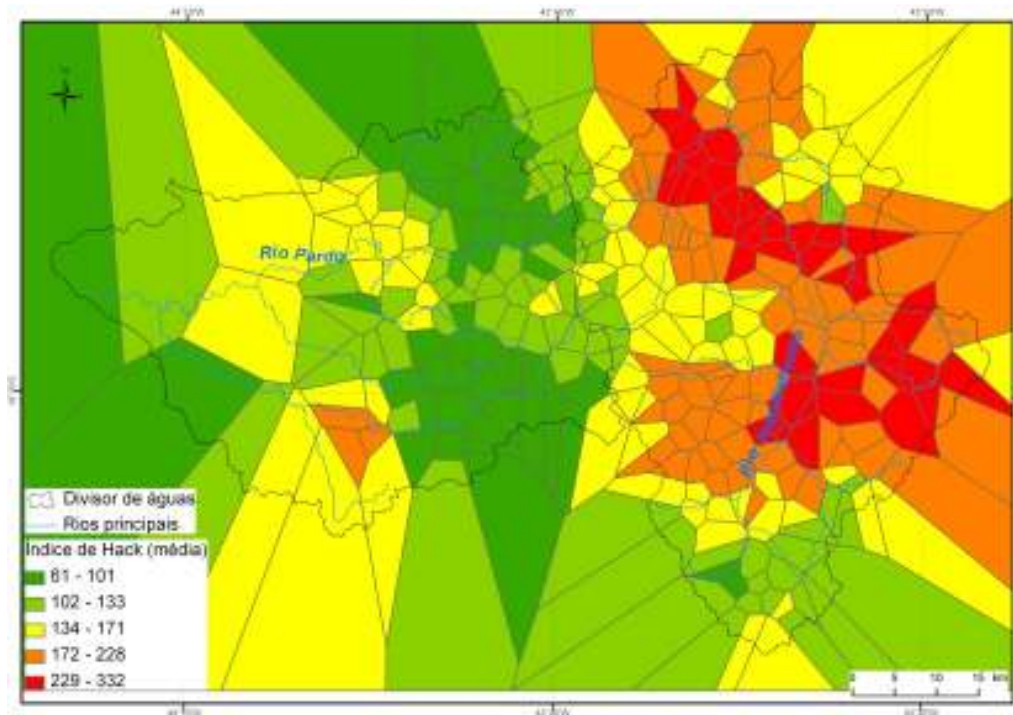


Fig. 5 – Distribuição espacial do índice de Hack através do interpolador IDW

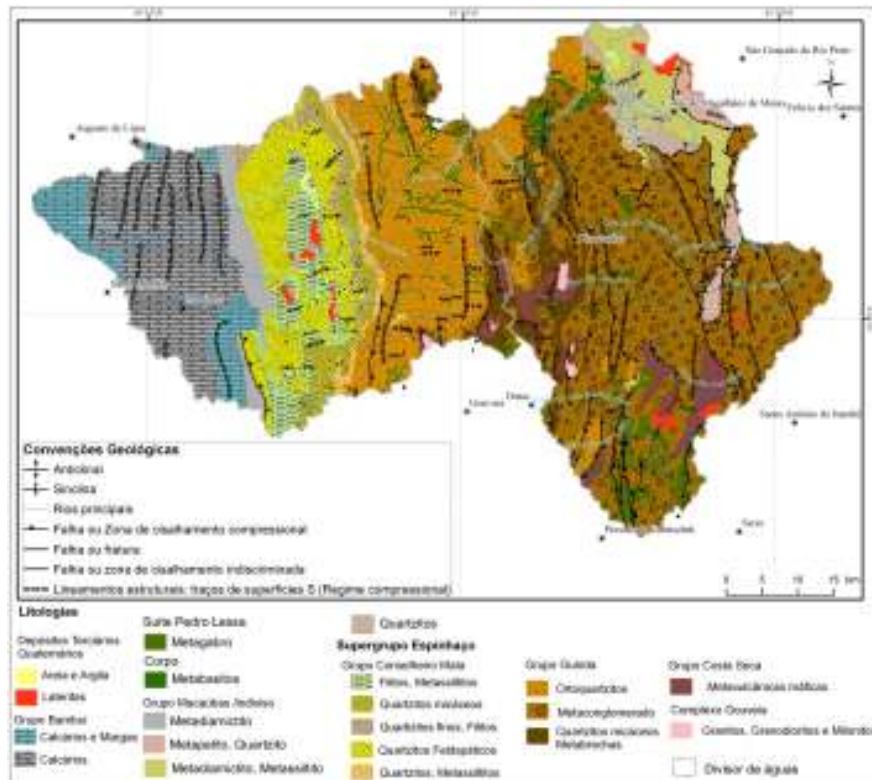


**Fig. 6 – Distribuição espacial do índice de Hack através do Diagrama de Voronoi.**

Já na bacia do alto Jequitinhonha, litologicamente mais homogênea ocorrem valores elevados do índice de Hack praticamente em toda a bacia (Fig. 7). Neste caso, há fortes indícios de que a bacia esteja sofrendo maior influência da estrutura, do que a bacia do Rio Pardo, haja vista também uma maior presença de lineamentos estruturais e morfológicos, bem como a presença de lineamentos de maior comprimento.

Miller (1991), realizou estudos sobre o controle geológico no desenvolvimento de rupturas de declive, também chamadas de *knickpoints*, em leitos fluviais litologicamente homogêneos. O autor examinou vários *knickpoints* e concluiu que existe uma forte relação entre as variações de espessuras dos estratos litológicos e a distribuição dessas rupturas, tendo em vista a frequência de fraturas que intersectam os canais, e à altitude dos estratos em relação à direção de fluxo fluvial.





**Fig. 7 – Litologia e estruturas da área em análise. Fonte: Projeto Espinhaço, COMIG (1996)**

#### 4 CONCLUSÃO

Os resultados da aplicação do índice de Hack indicam que a rede de drenagem da bacia do alto Jequitinhonha possui maior vigor energético, em comparação com o da bacia do rio Pardo. Tal fato evidencia a presença de processos geomorfológicos mais intensos naquela bacia, possivelmente em resposta às suas principais características litoestruturais.

O índice de Hack vem sendo aplicado para identificação de zonas com provável presença de atividades neotectônicas (ETCHEBEHERE et al., 2004; ETCHEBEHERE et al., 2006; KELLER & PINTER, 1996). O presente trabalho não chegou a tal nível de análise, mas os resultados aqui alcançados podem servir como ponto de partida para investigações mais detalhadas de campo, constituindo um indicativo de dinâmicas geomorfológicas diferentes ocorrendo nessas duas bacias.

As técnicas de geoprocessamento em Sistema de Informação Geográfica (SIG) possibilitaram a sistematização e a agilidade no cálculo dos parâmetros morfométricos, bem





como favoreceram a análise integrada das variáveis aqui analisadas. Sendo assim, podem ser utilizadas como importantes ferramentas para o estudo da evolução do relevo, bem como para a espacialização da geodinâmica associada a fenômenos geomorfológicos.

## 5 REFERÊNCIAS

- ABREU, A. A. de. *Análise Geomorfológica: Reflexão e Aplicação – Uma contribuição ao conhecimento das formas de relevo do Planalto de Diamantina*. São Paulo. 1982.
- ALMEIDA ABREU, P.A. O Supergrupo Espinhaço da Serra do Espinhaço Meridional Minas Gerais : o rifte, a bacia e o orógeno. *Geonomos*. 3(1) : 1-18, 1995.
- AUGUSTIN, C.H.R. R; VALADÃO, R.C., SANCHES, H.M., Processos evolutivos da borda da Serra do Cabral (MG): evidências geomorfológicas e pedológicas. In: CONG. BRAS. GEOL., 38, Camboriu-SC, Anais..., (3): 202-204, 1994.
- AUGUSTIN, C.H.R.R, ARANHA, P.R.A., A Ocorrência de Voçorocas em Gouveia, MG: características e processos associados. *Geonomos*, 14 1(1, 2): p. 75-86, 2006.
- AUGUSTIN, C.H.R.R. *Geoökologische Studien im Südlichen Espinhaço Gebirge bei Gouveia, Minas Gerais, Brasilien Unter Besonderer Berücksichtigung der Landschaftsentwicklung*. Tese de Doutorado: 147 p. Universidade de Frankfurt, Frankfurt, Alemanha, 1995
- COMIG. (1996). **Projeto Espinhaço**. Belo Horizonte, Cia. Mineradora de Minas Gerais. (inclui 23 mapas geológicos na escala de 1:100.000).
- DAVIS, J. C. 1986 *Statistics and data analysis in geology*. Second Edition, John Wiley & Sons 646 p.
- DELLA SETA, TROIANI, M. The use of the Stream Length –Gradient index in morphotectonic analysis of small catchments: A case study from Central Italy. *Geomorphology* 102 p.159–168, 2008.
- ETCHEBEHERE, M. L. C.; SAAD, A. R.; SANTONII, G.; CASADO, F. C.; FULFARO, V. J. Detecção de prováveis deformações neotectônicas no vale do rio do Peixe, Região Ocidental Paulista, mediante aplicação de índices RDE (Relação Declividade-Extensão) em segmentos de drenagem. *Revista UNESP – Geociências*, v.25, n. 3, p.271-287, 2006.



- ETCHEBEHERE, M. L. C.; SAAD, A. R.; PERINOTTO, J.A.J.; FULFARO, V.J. Aplicação do Índice "Relação Declividade-Extensão - RDE" na Bacia do Rio do Peixe (SP) para detecção de deformações neotectônicas, *Revista do Instituto de Geociências da USP - Série Científica*, v.4, n.2, p. 43-56, 2004.
- FONSECA, B. M., AUGUSTIN, C. H. R. R., O Uso do Geoprocessamento para o Mapeamento Geomorfológico da Serra do Espinhaço Meridional In: VII Simpósio Nacional de Geomorfologia/II Encontro Latino Americano de Geomorfologia, 2008, Belo Horizonte.
- HACK, J. T., 1957, Studies of longitudinal stream profiles in Virginia and Maryland: U.S Geol. Survey Prof. Paper 294-B, p. 45-97 [1958].
- HACK, J. T. AND YOUNG, R. S., 1959, Intrenched meanders of the North Fork of the Shenandoah River, Virginia: U.S. Geol. Survey Prof. Paper 354-A, 10 p.
- HACK, J. T. Stream-profile analysis and stream-gradient index. *Journal of Research of the United States Geological Survey*, v. 1, n. 4, p. 421-429, 1973.
- IBGE. Cartas do Brasil do IBGE – Diamantina - 1:100.000. Rio de Janeiro, IBGE, 1978.
- IBGE. Cartas do Brasil do IBGE – Corinto - 1:100.000. Rio de Janeiro, IBGE 1978.
- IBGE. Cartas do Brasil do IBGE – Rio Vermelho - 1:100.000. Rio de Janeiro, IBGE 1978.
- IBGE. Cartas do Brasil do IBGE – Carbonita - 1:100.000. Rio de Janeiro, IBGE 1978.
- IBGE. Cartas do Brasil do IBGE – Curvelo - 1:100.000. Rio de Janeiro, IBGE 1978.
- IBGE. Cartas do Brasil do IBGE – Presidente Kubitch - 1:100.000. Rio de Janeiro, IBGE 1978.
- KNAUER, L.G. O Supergrupo Espinhaço em Minas Gerais: considerações sobre sua estratigrafia e seu arranjo estrutural. *Geonomos*. 15(1) : 81-90, 2007.
- LANDIM, P.M. B. 1997 Análise estatística de dados geológicos. Editora UNESP 226 p.
- LEE, I.; GAHEGAN, M. Iterative analysis using Voronoi diagrams: algorithms to support dynamic update from a generic triangle-based data structure. *Scientific Literature Digital Library*, 2000.
- LEOPOLD, L. B., WOLMAN, M.G., MILLER, J.P., Fluvial processes in geomorphology: San Francisco, W.H Freeman and Co., 522 p, 1964.
- KELLER, E.A., Adjustment of drainage to bedrock in regions of contrasting tectonic framework [abs.]: *Geological Society of America Abstracts with Programs*, v. 9, no. 7, p. 1046, 1977.



- KELLER, E.A., ROCKWELL, T.K., Tectonic geomorphology, Quaternary chronology, and paleoseismicity, in Costa, J.E., and Fleisher, P.I, eds., Developments and applications of geomorphology: New York, Springer-Verlag, p. 203-239, 1984.
- MAYER L. WENTWORTH, C.M., Geomorphic differences east and west of the Stafford fault system, northeastern Virginia [abs.]: Southeastern Section, Geological Society of America, v.15, no. 2: p. 56, 1983.
- McKEOWN, F. A. et al., Analysis of stream-profile data an inferred tectonic activity, Eastern Ozark Mountains region U. S. Geological Survey Bulletin, n. 1807, p. 1-39, 1988.
- PFLUG, R.. Die präkambrische Miogeosynklinale der Espinhaço- Kordilliere, Minas Gerais, Brasilien. - Geol. Rundschau, Bd. 56, p. 825 – 844, 1965.
- RENGER, F. Evolução dos conceitos geológicos da Serra do Espinhaço. In: SIMP. GEOL. MINAS GERAIS, 1, Diamantina, Anais... Belo Horizonte, SBG/MG, Bol. 1, p. 9-28, 1979.
- SAADI, A. & VALADÃO, R.C. 1987a. O cenozóico da porção mediana-central do Espinhaço Meridional, primeira síntese. In: CONG. DA ABEQUA, 1, Porto Alegre-RS, 1987. Anais..., ABEQUA/UFRGS, p. 393-407, 1987.
- SAADI, A. & VALADÃO, R.C. 1987b. Evolução geomorfológica quaternária da região de Gouveia, Serra do Espinhaço. In: SIMP. GEOL. MG, 4, Belo Horizonte-MG, Anais..., SBG/MG, 1987. Bol. SBG-MG, (7):434-448, 1987.
- SAADI, A. A Geomorfologia da Serra do Espinhaço em Minas Gerais e suas margens. Geonomos, Revista de Geociências, 3(1):41-63, 1995.
- SEEBER, L., GORNITZ, V.M., River profiles along the Himalayan arc as indicators of active tectonics: Tectonophysics, v. 92, p. 335-367, 1983.