



## ESTIMATIVA DE PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS PARA A BACIA DO RIO PARAIBUNA

Marcos Cicarini Hott <sup>1\*</sup>  
Ricardo Guimarães Andrade <sup>1</sup>  
Walter Coelho Pereira de Magalhães Junior <sup>1</sup>  
João Cesar de Resende <sup>1</sup>  
Letícia D'Agosto Miguel Fonseca <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora - MG

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

\* marcos.hott@embrapa.br

### RESUMO

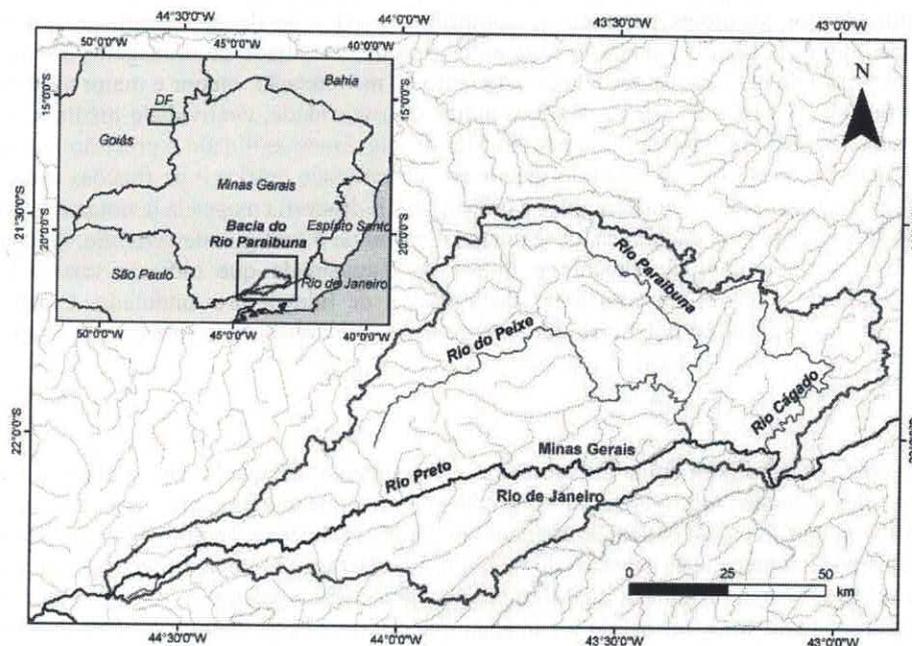
A bacia hidrográfica é, naturalmente, uma unidade de manejo dos recursos ambientais e de uso das terras, e parâmetros geomorfométricos podem subsidiar a tomada de decisão, pois podem reunir aspectos relativos à drenagem e topografia, assim como à aptidão para atividades agropecuárias e serviços ambientais. Este trabalho teve por objetivo organizar a base de dados acerca da hidrografia e altimetria da Bacia do Rio Paraibuna, para, a partir do SIG e aplicação desenvolvida para processamento automático, estimar-se parâmetros morfométricos e deprender-se as condições hidrogeomorfológicas para formação de canais, dinâmica fluvial, solos e aptidão das terras. Foram estimados os seguintes parâmetros: comprimento da rede de drenagem, comprimento do rio principal, área e perímetro da bacia, número de segmentos de rios, densidade de drenagem, frequência de rios, razão de textura, extensão de percurso superficial, coeficiente de manutenção, menor e maior altitude, amplitude altimétrica, razão de relevo, razão de relevo relativo, índice de rugosidade, declividade média e coeficiente de rugosidade. A aplicação desenvolvida em ambiente do SIG proporcionou agilidade e precisão na estimativa dos parâmetros morfométricos da bacia, em razão do menor uso de interface gráfica e de funções especializadas no tratamento de matrizes. Os parâmetros concernentes à drenagem e hidrografia mapeada denotaram a complexidade da bacia, cuja rede fluvial se mostra encaixada, densamente distribuída e com grande extensão. A bacia possui um relevo bastante movimentado com Coeficiente e Índice de Rugosidade que indicam textura e resistência topográfica ao escoamento, compatível com áreas declivosas e de relevo forte ondulado, e que somado aos parâmetros de drenagem demonstram potencial hidroenergético e aptidão para pecuária e silvicultura.

### INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica se configura em ambiente físico, naturalmente, adequado para o planejamento de ações que envolvem o uso dos recursos, subdividindo a superfície em áreas que comungam características em função de fenômenos climático-geográficos. A ocupação humana ao longo da história sempre visou a proximidade dos recursos hídricos, primordialmente, e os aspectos do relevo influenciaram a tomada de decisão, tendo em vista que hierarquicamente orienta o curso da água, a qual, por sua vez, remodela a paisagem. Assim, a bacia hidrográfica delimita-se pelos pontos mais altos, formando a cumeada que divide a carga hídrica oriunda da pluviosidade, a qual impactará na sustentabilidade dos solos em concordância com a sua utilização das terras. Portanto, a conformação morfológica do relevo poderá ditar ou orientar o tipo de uso do solo, em consonância com fatores diversos como material de origem dos solos, precipitação e socioeconomia, sendo os parâmetros morfométricos importantes informações como forma de planejamento e política das ações de conservação e produção. A bacia hidrográfica é reconhecidamente uma unidade de manejo, formada por um conjunto de fenômenos cujos limites no terreno podem ser ordenados e arranjados espacialmente de acordo com escala de interesse, mas sempre composta por divisores de água, nascentes, rios, córregos e exutório, ou eventualmente sumidouros. Todavia, sempre com a noção básica da ocorrência dos componentes de divisão, cursos d'água, nascentes e pontos de deságue (MMA, 2009). Devido ao crescimento contínuo da interferência humana, a bacia hidrográfica tem recebido impactos físicos negativos com modificação de cursos d'água, perda de solo, assoreamento e alterações no regime hídrico (VANACKER et al., 2005). Hott e Furtado (2005) analisaram parâmetros geomorfométricos de microbacias no município de Campinas (SP), possibilitando, assim, a separação entre elas, a formação de clusters e descrição a respeito da adaptabilidade de atividades agropecuárias às diferentes microbacias analisadas. Aspectos orográficos, declividade, drenagem, movimentação topográfica e hidrografia permitem a derivação de índices

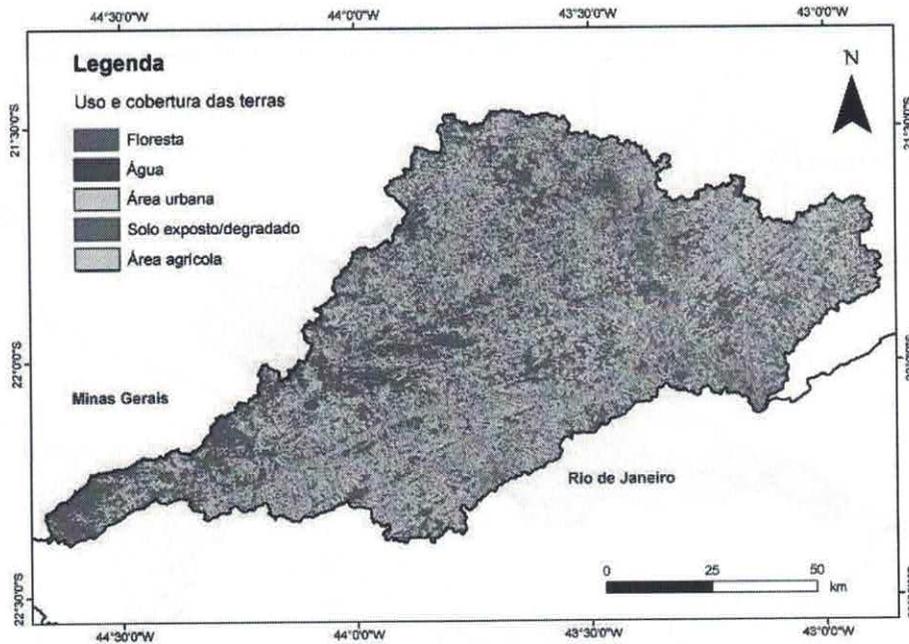
morfométricos que indicam a capacidade de suporte de culturas agrícolas do ponto de vista hidrogeomorfológico. De importância ecológica, econômica e social a Bacia do Rio Paraíba (Figura 1) se distribui por municípios dos Estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro, inserindo-se no contexto do uso das terras em ambos Estados (Figura 2), tanto das cadeias produtivas agropecuárias como também na produção de água e agente importante da paisagem na preservação ambiental em áreas de morros e montanhas na Bacia do Paraíba do Sul. Em sua extensão total, cerca de 8.594 km<sup>2</sup>, aproximadamente, 57% correspondem à área agrícola, principalmente dedicada à produção leiteira, e 32% à área de florestas, sendo que 10% equivalem ao solo exposto, com degradação e afloramento rochoso (FONSECA, 2011). Como importante bacia hidrográfica na produção agropecuária, demanda-se a estimativa de parâmetros de drenagem e relevo para a execução de uma análise sinótica para compreensão do status do uso das terras frente às possibilidades de conversão na utilização do espaço diante da conformação topográfica e hídrica. Métodos automáticos com o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) permitem a geração de estimativas padronizadas e de forma ágil. Independentemente da plataforma geográfica utilizada a automatização de estimativas possibilitam formas de comparação entre bacias, sub ou microbacias. A bacia em questão apresenta aspectos heterogêneos em razão de sua forma complexa e variabilidade na densidade de drenagem e topografia, observáveis em cartografia digital por meio dos planos de informação. Entretanto, optou-se na utilização da base de dados para a bacia delimitada em níveis políticos para fins de padronização em relação a outras fontes a respeito da Bacia do Paraíba. A despeito da escala cartográfica influenciar nos valores dos parâmetros morfométricos adota-se, neste ensaio, a escala tradicional compatível com imagens do satélite Landsat, 1:150.000, para a expressão dos resultados.

Figura 1: Bacia do Rio Paraíba.



Os dados resultantes das estimativas evidenciam a conformação, encaixe e dinâmica hidrogeomorfológica, aspectos da movimentação do relevo, permeabilidade do solo, aptidão ao uso das terras e susceptibilidade à erosão. Toma-se como ponto central a análise das condições de cultivo com base nos fatores estudados, cujos parâmetros poderiam retratar um cenário de aptidão ou adaptabilidade de determinadas atividades agropecuárias em função da estrutura do relevo, energia e potencial de deflúvio, a partir da análise do relatório tabular gerado pelo algoritmo desenvolvido em AML (ArcInfo Macro Language) do ArcGIS. O algoritmo converte formatos de dados, vetores/matriz, processa e refina *rasters*, extraindo atributos de interesse para as estimativas. Este algoritmo pode ser facilmente convertido em outras plataformas tais como IDL (Interactive Data Language) do Envi, EML (Erdas Macro Language), Python e Model Builder do ArcGIS.

Figura 2: Uso das terras. Fonte: FONSECA, 2011.



## OBJETIVO

Em razão da complexidade topográfica, extensão, importância e localização da Bacia do Rio Paraíba, vislumbrou-se oportuna a estimativa de parâmetros morfométricos com o intuito de sintetizar as condições hidrogeomorfológicas através das informações sobre drenagem e relevo. Assim, teve-se como objetivo organizar a base de dados acerca da hidrografia, modelo digital de elevação e drenagem, para, a partir do SIG e aplicação desenvolvida para processamento automático, estimar-se os seguintes parâmetros: comprimento da rede de drenagem, área e perímetro da bacia, número de segmentos de rios, densidade de drenagem, frequência de rios, razão de textura, extensão de percurso superficial, coeficiente de manutenção, menor e maior altitude, amplitude altimétrica, razão de relevo, razão de relevo relativo, índice de rugosidade, declividade média e coeficiente de rugosidade.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados dados hidrográficos (Figura 3) e de superfície altimétrica (Figura 4) da Bacia do Rio Paraíba, em projeção Albers e Datum SIRGAS2000, para a geração dos parâmetros morfométricos, divididos em classe de drenagem e de relevo, conforme metodologia e aplicação desenvolvida no SIG (HOTT e FURTADO, 2005). A análise realizada é compatível com a escala 1:150.000, entretanto, foi utilizada hidrografia mapeada 1:50.000 (IBGE) e modelo digital de elevação (MDE) SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) com pixel de 90 m, refinado para 30 m com o uso de krigagem, também equivalente à escala 1:150.000, e consistido a partir do SRTM 30 m, o qual não foi utilizado nas estimativas devido a demanda de correção quanto à microrelevos e sumidouros espúrios. Em estudos de parâmetros morfométricos de bacias, a escala com a qual se realiza o processamento é fator importante na interpretação dos resultados, pois redefine a densidade de drenagem, assim como apresentação de movimentação do relevo e diferença altimétrica. Assim, optou-se pela utilização da drenagem numérica equivalente ao MDE, a qual se encaixa ao relevo e parâmetros planialtimétricos, mas com uma maior precisão na hidrografia mapeada para obtenção de uma melhor estimativa de parâmetros relacionados à hidrografia. Os parâmetros foram estimados a partir da seleção dos seguintes planos de informação, em formato *shapefile*: delimitação da bacia, hidrografia mapeada, MDE, drenagem numérica, nascente e foz do Rio Paraíba. Foram estimados os parâmetros conforme a Tabela 1. Os planos de informação mencionados foram processados com a aplicação denominada Morfometria, desenvolvida a partir da plataforma ArcINFO, a qual automatiza as

etapas de conversão, processamento e expressão dos resultados de saída (Figura 5). O processamento dos planos de informação, geração de grids intermediários e extração de dados destes seguiram, em linhas gerais, o fluxograma apresentado na Figura 6.

Figura 3: Dados de hidrografia.

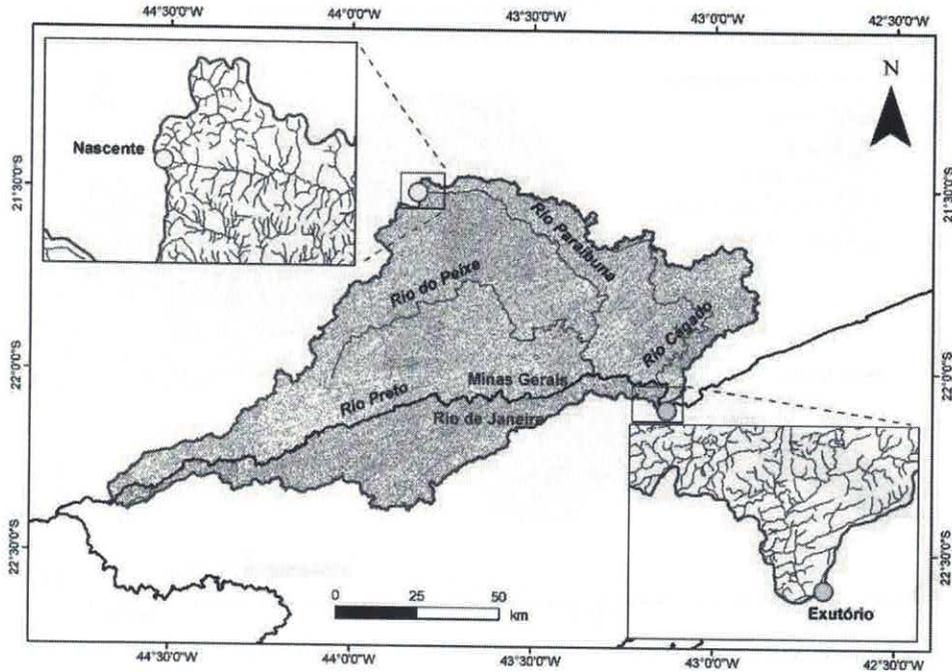
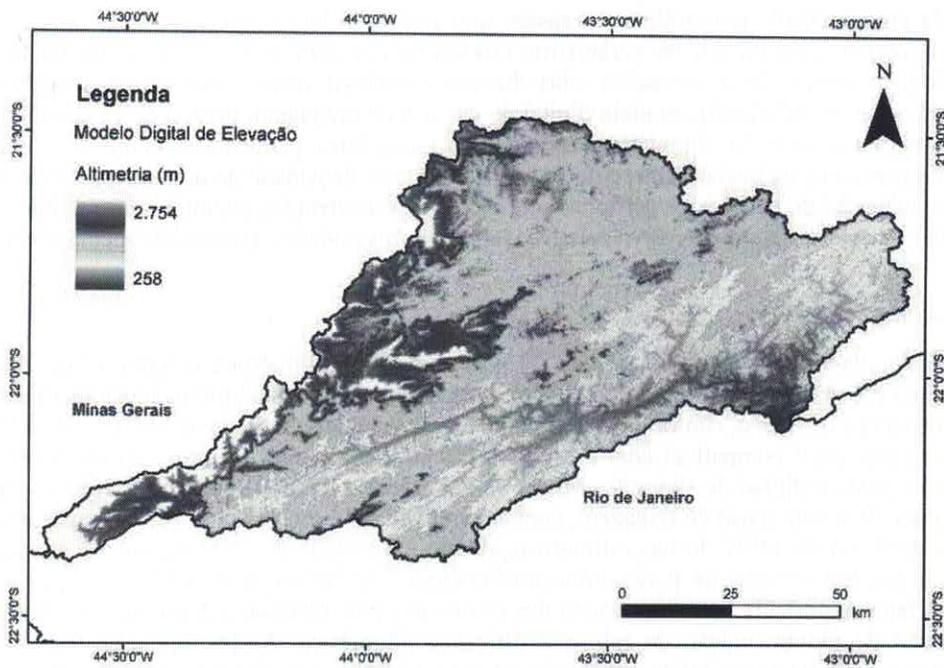


Figura 4: Modelo Digital de Elevação.



**Tabela 1:** Relação de parâmetros morfométricos a serem estimados.

Drenagem	Descrição e Unidade	Fórmula
Comprimento da rede de drenagem (Cr)	Soma do comprimento dos segmentos de rios (km)	
Comprimento do rio principal (C)	Medida de comprimento do rio principal (km)	
Área da bacia (A)	Área total da bacia (km <sup>2</sup> )	
Perímetro da bacia (P)	Perímetro total da bacia (km)	
Nº de segmentos de rios (Nt)	Número total de segmentos de rios (nº)	
Densidade de drenagem (Dd)	Relação entre Cr e A (km/km <sup>2</sup> )	$Dd = Cr / A$
Frequência de rios (F)	Relação entre Nt e A (nº/km <sup>2</sup> )	$F = Nt / A$
Razão de textura (T)	Relação entre Nt e P (nº/km)	$F = Nt / P$
Extensão de percurso superficial (Eps)	Modelo de drenagem (km)	$Eps = 1 / (2 * Dd)$
Coefficiente de Manutenção (Cm)	Modelo de drenagem (m <sup>2</sup> )	$Cm = (1 / Dd) * 1.000$
Relevo	Descrição e Unidade	Resultado
Menor Altitude (A <sub>min</sub> )	Cota da foz (m)	
Maior Altitude (A <sub>máx</sub> )	Cota da maior altitude (m)	
Amplitude Altimétrica (H)	Diferença entre maior e menor cota (m)	$H = A_{máx} - A_{min}$
Razão de Relevo (Rr)	Relação entre H e C (m/m)	$Rr = H / C$
Razão de Relevo Relativo (Rrl)	Relação entre H e P (m/m)	$Rrl = H / P$
Índice de Rugosidade (Ir)	Produto entre H e Dd	$Ir = H * Dd$
Declividade média (D)	Declividade média a partir da maior taxa de declive em máscara de 3x3 pixels (%)	$D = (\sum_{p=1}^n D_p) / n$
Coefficiente de Rugosidade (CR)	Produto entre Dd e D	$CR = Dd * D$

**Figura 5:** Modelo de aplicação no SIG para a geração dos parâmetros.

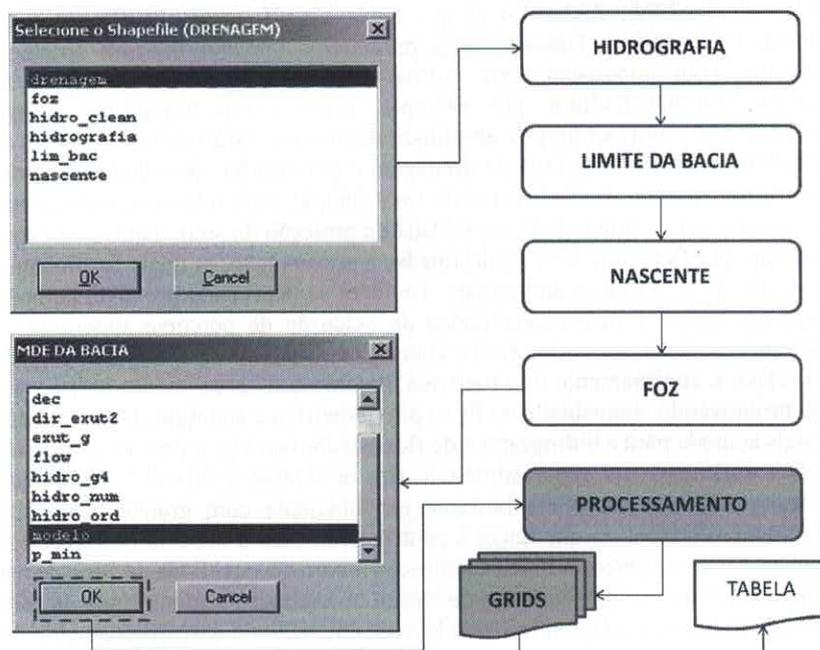
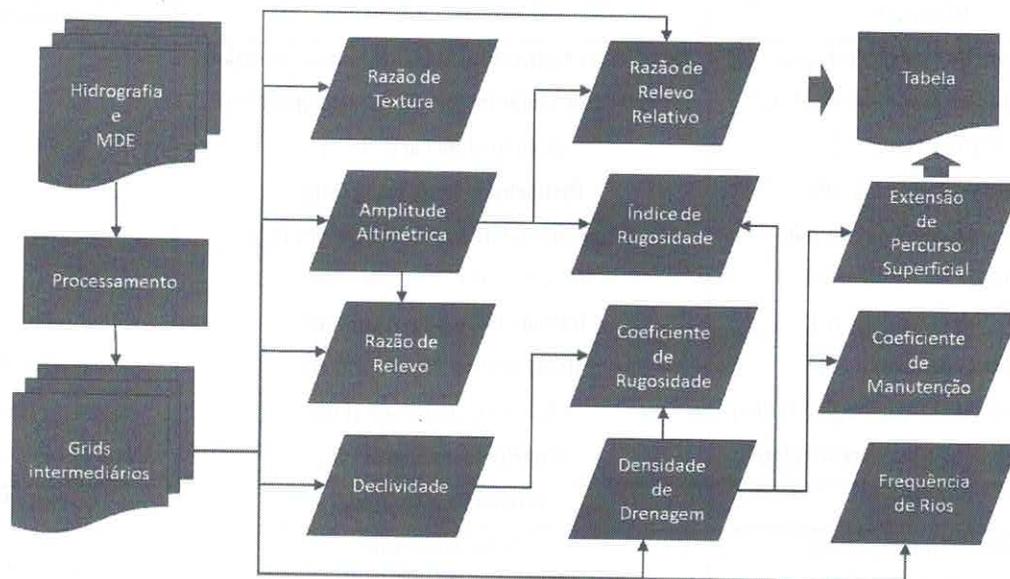


Figura 6: Fluxograma geral das operações.



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi obtida a tabulação dos resultados (Tabela 2) da aplicação no SIG após o processamento, onde observa-se, em um primeiro momento uma grande variabilidade altimétrica ou grande movimentação do relevo em razão da amplitude altimétrica e densidade de drenagem superficial apresentados, tendo em vista que a orografia da bacia se complementa com as informações de cumeadas, vertentes e canais de escoamento existentes na superfície do relevo. Dessa forma, verifica-se uma alta densidade de drenagem, indicando um escoamento superficial desenvolvido, cujo padrão dendrítico e exorreico denota deflúvio encaixado e bem distribuído na bacia. Com uma alta densidade de drenagem e frequência de rios, além de indicar um maior fluxo superficial denotam um maior potencial para ocorrência de processos erosivos e degradação ambiental, tendo em vista a alta declividade média estimada (RODRIGUES et al., 2008; ZANATA et al., 2011; CALIL et al., 2012) e aptidão para pecuária demonstrada pelos parâmetros obtidos. Todavia, estes parâmetros também indicam aptidão das terras para atividades agrosilvipastoris, com integração entre cultivos anuais, criação de animais e reflorestamentos, envolvendo eucaliptocultura ou heveicultura, por exemplo, assim como fruticultura, adotando-se práticas conservacionistas. Em bacias com altos valores de amplitude altimétrica, razão de relevo, razão de relevo relativo e razão de textura, observam-se uma densa rede de drenagem e hidrografia em relação ao perímetro da bacia e maior comprimento, ou distância entre nascente e foz do rio principal, com relevo forte ondulado a montanhoso. A partir desses valores de parâmetros prevê-se a necessidade de proteção do solo, o que é corroborado nesta bacia pelo percentual de ocupação por florestas, 32%, já destinadas à preservação, as quais funcionam para a produção de água e adapta-se à prestação de serviços ambientais. Também se depreende provável compactação dos solos em decorrência dos valores baixos a médios estimados de extensão de percurso superficial e coeficiente de manutenção frente aos materiais de origem graníticos e gnáissicos. Coeficiente e índice de rugosidade ratificam a alta movimentação do relevo e confinamento de processos dinâmicos de escoamento hídrico à componentes de resistência topográfica, promovendo sinuosidade no fluxo pluviométrico e acúmulo de energia potencial. Todavia a utilização de escala mais acurada para a hidrografia e de fluxo acumulado para drenagem equivalente ocasionam uma ligeira elevação dos parâmetros ou superestimativa para os fatores analisados. Os parâmetros estimados expressam o caráter topográfico de superfície bastante movimentada com grande densidade de drenagem, depreendendo-se deflúvio significativo no que tange à contribuição para a importante Bacia do Paraíba do Sul. Diversos outros parâmetros podem ser incorporados à aplicação macro desenvolvida no SIG, de maneira facilitada, permitindo automatizar a avaliação geomorfométrica de bacias. A avaliação regionalizada de cada sub-bacia para os rios componentes Preto, do Peixe, Cágado torna-se relevante em razão da variabilidade altimétrica, rugosidade topográfica e formação heterogênea de canais ocasionada em cada uma, visivelmente apresentada na análise dos

planos de informação. Entretanto, a obtenção de parâmetros gerais para a bacia como um todo permitem diagnosticar a condição hidrogeomorfológica e processos subjacentes relacionados como a dinâmica fluvial, pluvial e de uso das terras.

**Tabela 2:** Resultados dos parâmetros morfométricos da bacia.

<b>Drenagem</b>	<b>Resultado</b>
Comprimento da rede de drenagem (km)	18.159
Comprimento do rio principal (km)	195
Área da bacia (km <sup>2</sup> )	8.594
Perímetro da bacia (km)	734
Nº de segmentos de rios (nº)	26.381
Densidade de drenagem (km/km <sup>2</sup> )	2,11
Frequência de rios (nº/km <sup>2</sup> )	3,07
Razão de textura (nº/km)	35,94
Extensão de percurso superficial (km)	0,24
Coefficiente de Manutenção (m <sup>2</sup> )	473,29
<b>Relevo</b>	<b>Resultado</b>
Menor Altitude (m)	259
Maior Altitude (m)	2.754
Amplitude Altimétrica (m)	2.494
Razão de Relevo	0,0128
Razão de Relevo Relativo	0,0034
Índice de Rugosidade	5.270
Declividade média (%)	27,65
Coefficiente de Rugosidade	58,43

## CONCLUSÕES

A partir da performance da aplicação no SIG e dos resultados obtidos conclui-se que:

1) A aplicação desenvolvida em ambiente de macro proporcionou agilidade e precisão na estimativa dos parâmetros morfométricos da bacia do Rio Paraibuna, em razão do menor uso de interface gráfica e de funções especializadas no tratamento de matrizes.

2) Os parâmetros concernentes à drenagem e hidrografia mapeada denotaram a complexidade da bacia, que em função da escala de análise adotada, cuja rede fluvial se mostra encaixada, densamente distribuída e com grande extensão.

3) A bacia possui um relevo bastante movimentado com Coeficiente e Índice de Rugosidade que indicam textura e resistência topográfica ao escoamento compatível com solos compactados, próprio de áreas declivosas e, que atrelado aos parâmetros de drenagem dotam a bacia de potencial de acúmulo hídrico, hidroenergético e com aptidão físico-ambiental a atividades agrossilvipastoris, integradas ou não, notadamente silvicultura e pecuária.

## AGRADECIMENTOS

À Embrapa e à Fapemig pelo apoio constante às pesquisas básicas e aplicadas ao setor leiteiro.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CALIL, P. M., OLIVEIRA, L. F. C., KLIEMANN, H. J., OLIVEIRA, V. A. Caracterização geomorfométrica e do uso do solo da Bacia Hidrográfica do Alto Meia Ponte, Goiás. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.4, p.433-442, 2012.
- FONSECA, L.D.M. *Análise Ambiental da Bacia do Rio Paraíba: Cenário de Implantação de Áreas de Preservação Permanente*. Juiz de Fora, UFJF, 67 p. 2011 (Monografia de conclusão de curso de Geografia).
- HOTT, M.C, FURTADO, A. L. S. Metodologia para a determinação automática de parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas. Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005.
- MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Programa Nacional de Capacitação de gestores ambientais: licenciamento ambiental**. Brasília: MMA, 2009.
- RODRIGUES, F. M., PISSARRA, T. C. T., CAMPO, S. Caracterização morfométrica da microbacia hidrográfica do córrego da fazenda Glória, município de Taquaritinga, SP. *Irriga*, v.13, p.310-322, 2008.
- VANACKER, V., MOLINA, A., GOVERS, G., POESEN, J., DERCON, G., DECKERS, S. River channel response to short-term human-induced change in landscape connectivity in Andean ecosystems. *Geomorphology*, v.72, p.340-353, 2005.
- ZANATA, M., PISSARRA, T.C.T., ARRAES, C. L., RODRIGUES, F. M., CAMPOS, S. Influência da escala na análise morfométrica de microbacias hidrográficas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.10, p.1062-1067, 2011.