

## Caracterização geomorfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (RN), utilizando dados Topodata e recursos de geoprocessamento

Aline Berto Faustino<sup>1,2</sup>  
Sebastião Milton Pinheiro da Silva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
CEP 59076-740- Natal-RN, Brasil  
aline.berto@crn.inpe.br

<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN  
Caixa Postal 1524 ó CEP 59072-970. Campus Universitário, Natal-RN, Brasil  
alinebertow@gmail.com; smpsilva@cchla.ufrn.br

**Abstract.** The Earth's surface results from the association and activity of endogenous and exogenous processes. Watersheds integrate surfaces bounded by topographic dividers consisting of channels and tributaries, which drain rainfall, sediment, and dissolved substances to a main channel, and whose flow converges into a single output surfaces. The geomorphometric analysis of watersheds is crucial for diagnosis and territorial planning. This study utilizes data from Topodata project, with the main objective of performing the geomorphometric characterization of the watershed of Rio Doce/RN. The data were modeled, imported, processed and stored using the database management system of geographic data SQLite coupled with SPRING open source software. The maximum amplitude for the topographic basin area of 132.50 m is considered relatively high, and the relief relationship was determined in 6.75%, indicating low slope. The roughness index is 1.78 m, indicating a slightly dissected relief and that the basin has a low risk of erosion by hydric processes. The average slope of 4.45% shows low susceptibility to erosion. The Rio Doce watershed may be considered, therefore, from the point of view of relief, as a basin of low environmental vulnerability to erosion throughout its extension, evidently disregarding anthropogenic factors resulting from broad and extensive human occupation in the basin.

**Palavras-chave:** DEM, geomorphometry, topodata, watershed, Rio Doce, MDE, geomorfometria, topodata, bacia hidrográfica, Rio Doce.

### 1. Introdução

A superfície da Terra é o resultado da associação entre os processos endógenos e exógenos. Dos agentes externos, a água é um dos mais atuantes na modelagem da paisagem. Para Coelho Netto (2013), a ação da água relaciona fenômenos da atmosfera e da litosfera e interfere nos seres vivos. Nessa paisagem, as bacias hidrográficas integram o conjunto de superfícies delimitadas pelos divisores topográficos e são constituídas por canais e tributários, que drenam a pluviosidade, os sedimentos e as substâncias dissolvidas para um canal principal, cuja vazão converge numa saída única (Lima, 1976). Elas compõem um sistema natural aberto, sujeitos às ações das condições naturais e antrópicas (Cunha e Guerra, 2012). Nessas bacias, os cursos d'água são importantes agentes modeladores, contribuindo para a esculturação do relevo (Christofolletti, 1980; Cunha e Guerra, 2012). O comportamento hidrológico de uma bacia, por sua vez, depende de suas características geomorfológicas e geomorfométricas, do ponto de vista da forma, do relevo, da área drenada, da geologia, da rede de drenagem, dos solos e do tipo de cobertura vegetal existente (Lima, 1976).

A análise geomorfométrica baseia-se na utilização de técnicas matemáticas para o estudo das formas, da descrição do relevo e dos processos que a modelam, utilizando-se historicamente como instrumento para determinação de parâmetros geomorfométricos as cartas topográficas analógicas impressas em papel. Os avanços tecnológicos da microinformática e do sensoriamento remoto trouxeram consigo a disponibilização de dados como o Modelo Digital de Elevação (MDE) de toda a Terra, por intermédio da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Esse fato impulsionou variados estudos no sentido de investigar e avaliar parâmetros geomorfométricos e suas relações solo-relevo (Muñhoz, 2009)

e a modelagem dos sistemas ambientais em bacias hidrográficas (Silveira e Silveira, 2013). O projeto Topodata (Valeriano, 2005, 2008) representa um avanço na disponibilidade dos dados do Modelo de Digital de Elevação (MDE) e geomorfométricos baseados na missão SRTM, considerando a sua melhor resolução espacial em relação aos dados originais dessa missão. O projeto Topodata disponibiliza livre acesso aos dados do Modelo Digital de Elevação (MDE) e demais arquivos *raster* dele derivados, como declividade, curvatura vertical e horizontal, orientação do relevo, dentre outros, para todo o território brasileiro. Neste estudo, a utilização dos dados Topodata teve por objetivo analisar e caracterizar geomorfometricamente a bacia hidrográfica do Rio Doce no se refere às formas físicas, à compreensão dos processos morfogenéticos e ao uso e ocupação do solo de modo a contribuir para o planejamento territorial.

A Bacia Hidrográfica do Rio Doce localiza-se no estado do Rio Grande do Norte, entre os paralelos  $05^{\circ} 45' 49''$  e  $05^{\circ} 38' 41''$  de latitude Sul e os meridianos de  $35^{\circ} 38' 33''$  e  $35^{\circ} 12' 15''$  a Oeste de *Greenwich*, abrangendo uma área de  $385 \text{ km}^2$ . O Rio Doce tem origem na Lagoa de Extremoz, e esta, por sua vez, resulta da confluência dos Rios Guajiru e do Mudo, que são os dois principais tributários da bacia (Figura 1). O Rio Doce constitui o principal rio da bacia, limita os municípios de Extremoz e Natal e deságua no estuário do Rio Potengi (Azevedo, 2010).

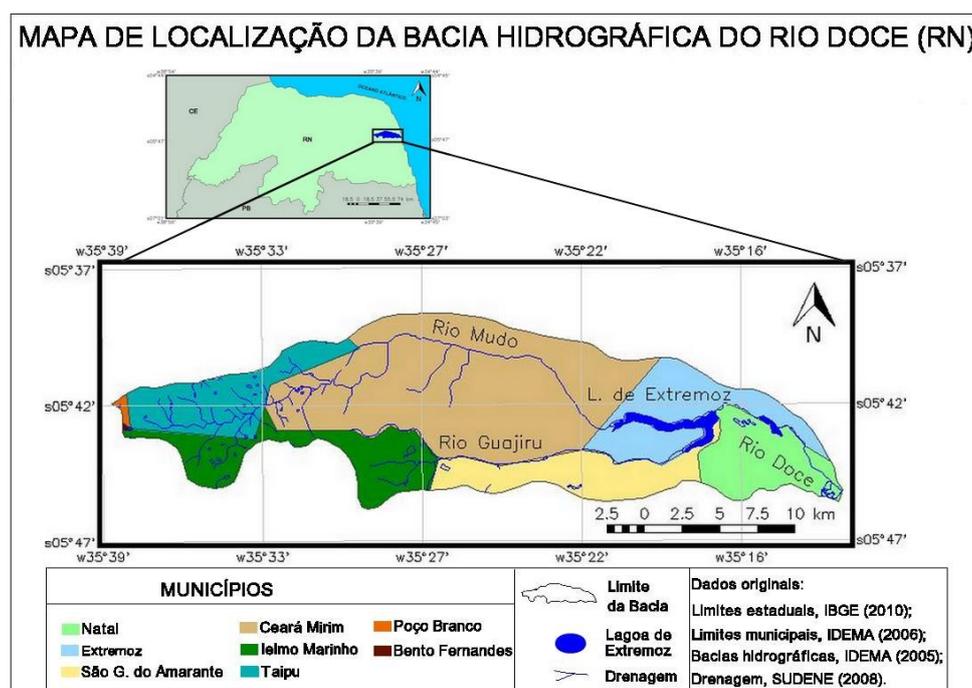


Figura 1 ó Localização da área de estudo.

Geologicamente afloram depósitos colúvio-eluviais, do neogeno, constituídos por sedimentos arenosos e areno-argilosos esbranquiçados e avermelhados (CPRM 2007), que se estendem desde o baixo até o médio curso do rio, ocupando cerca de 20% da área da bacia. O Grupo Barreiras é constituído por rochas sedimentares inconsolidadas, representadas por areias de finas a grossas, em grãos angulosos, e por argilas cinza-avermelhadas e amareladas do paleogeno e neogeno. Essas rochas ocupam 44% da área da bacia, estendendo-se do baixo até o médio curso do rio. No extremo oeste da área, há rochas plutônicas do Ediacarano, pertencentes à suíte intrusiva Dona Inêz (CPRM, 2007), ocupando cerca de 14% da área, no alto curso da bacia.

Geomorfologicamente, encontra-se unidades da Depressão Sertaneja, dos Tabuleiros, das

dunas fixas e móveis, da Planície Flúvio-Marinha, na faixa litorânea, e da Planície de Inundação Fluvial, que ocupa quase toda a extensão da bacia (IDEMA, 2005). Os solos compreendem o neossolo quartzarênico e o latossolo amarelo distrófico (IDEMA, 2012). A cobertura vegetal é composta por caatinga arbórea arbustiva, vegetação de tabuleiros, mata, restinga e manguezal (SERHID, 2004).

## 2. Materiais e metodologia de trabalho

Para execução do trabalho, foi criado um banco de dados espaciais no software SPRING, versão 5.2.6 (CÂMARA et. al., 1996), disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os dados espaciais foram modelados, importados, processados e armazenados, utilizando-se o sistema gerenciador de banco de dados SQLite. A projeção empregada foi a Universal Transversa de Mercator (UTM) e o Datum SAD69. A modelagem dos dados espaciais abrangeu os modelos cadastral, temático e o modelo numérico de terreno (MNT). Os arquivos vetoriais do tipo *shapefile* foram convertidos para o formato padrão do SPRING. Os dados sobre limites da bacia, divisão administrativa regional e rede hidrográfica foram obtidos no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no Instituto do Desenvolvimento Sustentável, Meio Ambiente do Rio Grande do Norte (IDEMA) e na Superintendência para o Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), respectivamente.

Os arquivos *raster*, no formato \*.geoTiff, também foram convertidos para o formato \*.spg, padrão do SPRING. Os dados do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil, com resolução espacial de 30 metros, referem-se à quadrícula 05S36 e compreendem declividade, altimetria e orientação octante (TOPODATA, 2011).

Durante o desenvolvimento do trabalho foram obtidos os seguintes parâmetros geomorfométricos:

**a) declividade média**, calculada por intermédio da análise exploratória-geoestatística, para obter-se a média de todas as declividades em cada pixel dentro da área da bacia;

**b) amplitude topográfica máxima**, obtida a partir da extração das cotas altimétricas mais elevadas do MDE, calculando-se a média entre elas para, em seguida, subtraí-la do menor valor de cota encontrado na foz do rio Doce. É dada pela expressão (Equação 1):

$Hm = P_1 - P_2$  (1), onde  $P_1$  = ponto mais alto (m),  $P_2$  = ponto mais baixo (m) da bacia hidrográfica;

**c) relação de relevo**, calculada mediante a expressão (Equação 2):  $Rr = Hm/A^{0,5}$  (2), onde  $Hm$  = amplitude topográfica máxima;  $A^{0,5}$  = raiz quadrada da área da bacia;

**d) índice de rugosidade**, obtido com a expressão (Equação 3):  $Ir = Dm \times Dd$  (3), sendo  $Dm$  = declividade média;  $Dd$  = densidade de drenagem;

**e) densidade de drenagem**, determinada utilizando a expressão (Equação 4):  $Dd = Lt/A$  (4), onde  $Lt$  = comprimento total dos canais;  $A$  = área total da bacia.

Para obtenção do comprimento total dos canais, utilizou-se o arquivo de drenagem das cartas Natal e João Câmara da SUDENE, pelo fato de este dado deter informações mais expressivas no que se refere à densidade de canais, considerando-se os planos de informação de rios intermitentes e rios permanentes. A área da bacia foi calculada em  $km^2$ , com base na técnica de medidas de apontamento, que é uma das opções de operações métricas oferecidas pelo SPRING. Ela foi aplicada sobre o arquivo vetorial de bacias hidrográficas do RN (IDEMA, 2005). Por último, foi gerado o mapa de vulnerabilidade das encostas com base na declividade, dividido em cinco classes de suscetibilidade aos processos erosivos, conforme Corvalán e Garcia (2011).

## 3. Resultados e discussão

A classificação do relevo é muito importante para verificar o comportamento de uma bacia. Para a área de estudo, foi obtida a declividade média da ordem de 4,45%, que revela

ligeira suscetibilidade à erosão, podendo-se, portanto, considerar a bacia do Rio Doce como uma bacia de baixa fragilidade ambiental aos processos erosivos em toda sua extensão (Figura 2).

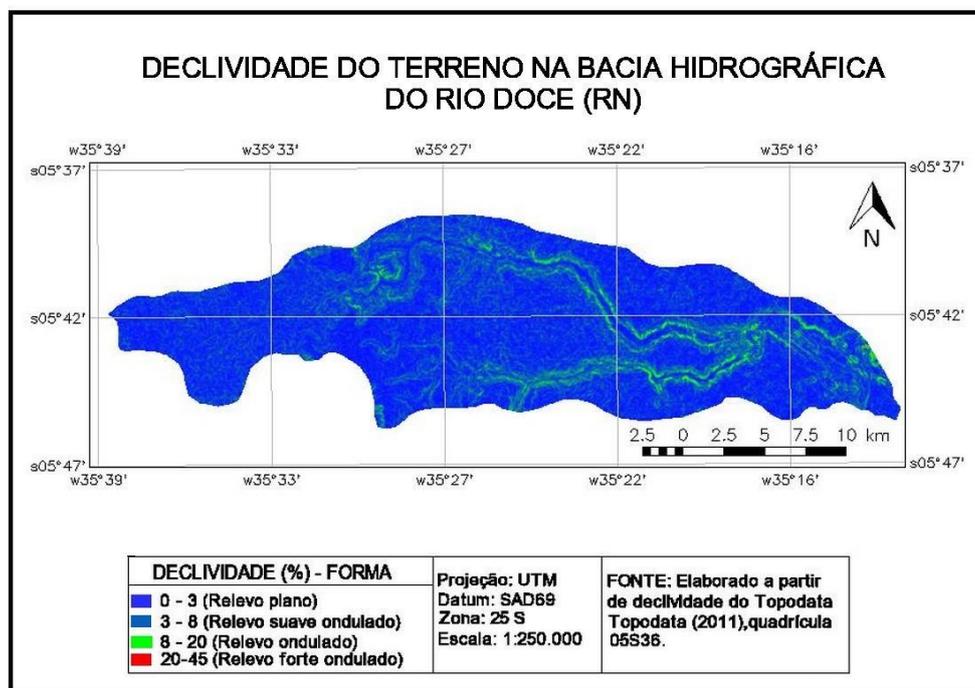


Figura 2 Declividade na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (RN).

A orientação do terreno revela a direção do fluxo das águas superficiais. Segundo a Figura 3, as direções de maior tendência das vertentes é preferencialmente voltada para Norte e Nordeste.

A orientação do terreno também indica as direções de maior erosividade (processo erosivo provocado pela energia cinética da chuva ao atingir o solo), já que é também, por consequência, a orientação do fluxo de água superficial, fato que, associado à maior incidência da radiação solar nessas vertentes, contribui para uma atuação mais proeminente do intemperismo químico, conforme evidenciado pelos materiais no terreno. A Figura 3 mostra a orientação do terreno na Bacia Hidrográfica Rio Doce (RN).

Na Tabela 1 apresenta-se a distribuição das áreas em função das direções do terreno.

Tabela 1 - Distribuição das áreas em função da direção do terreno na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (RN).

Orientação (graus)	Direção	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
0/360	N	59,35	15,37
45	NE	57,61	14,91
90	E	50,27	13,01
135	SE	47,55	12,31
180	S	49,51	12,82
225	SW	41,02	10,62
270	W	35,72	9,25
315	NW	45,23	11,71
<b>Total</b>		<b>386,26</b>	<b>100</b>

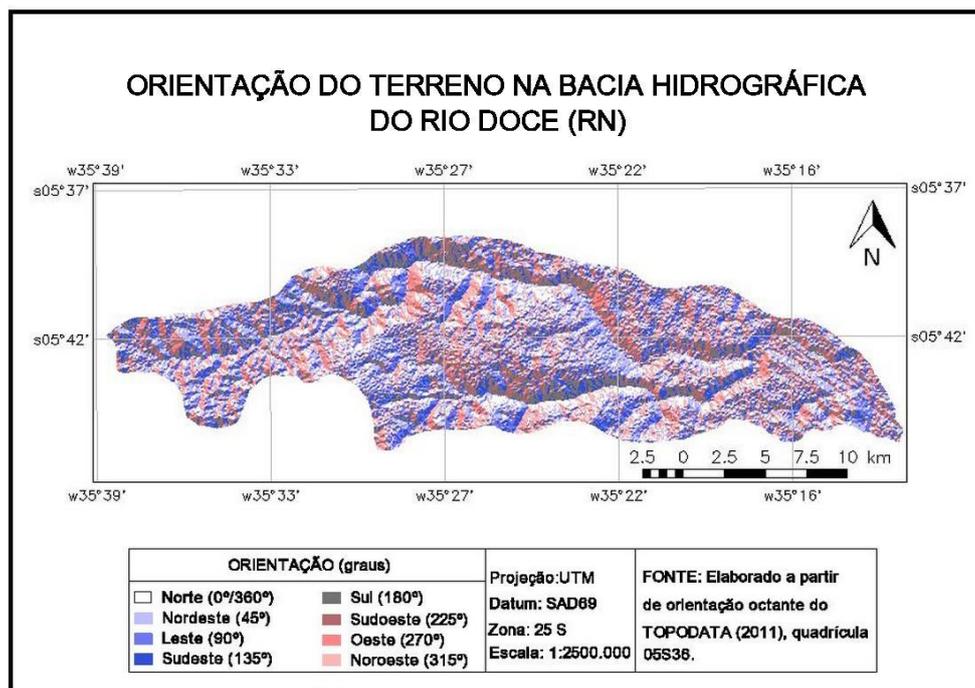


Figura 3 ó Orientação do terreno na Bacia Hidrográfica Rio Doce (RN).

A amplitude topográfica máxima para a área da bacia é de 132,50 m e é considerada como relativamente alta. Esse dado define parte da velocidade do escoamento, que apresenta características de rápido escoamento, reduzindo, portanto, o acúmulo de água. Podem ocorrer eventos de enchentes apenas de curta duração à jusante da Bacia Hidrográfica Rio Doce.

A relação de relevo foi determinada em 6,75%, sendo indicativa de baixa declividade, fato que diminui o tempo de concentração do escoamento superficial. Trata-se de um bom indicador, pois revela a baixa capacidade de elevação de picos de enchente e de inundações na bacia.

O índice de rugosidade, além de mostrar os riscos de erosão, pode também contribuir para o plano de manejo e de uso potencial dos solos. A Bacia Hidrográfica do Rio Doce apresenta rugosidade de 1,78 m, dado que indica um relevo pouco dissecado e que a bacia possui baixo risco de erosão por processos hídricos.

O mapa temático de vulnerabilidade das encostas (Figura 4) demonstra o baixo grau de vulnerabilidade à erosão em quase toda a extensão da bacia. A Figura 4 revela que há um equilíbrio na dinâmica da esculturação das vertentes. A área oferece poucos riscos de movimentação de massa; no entanto há de se atentar para alguns poucos trechos, em tons de vermelho claro a escuro, onde são altos os graus de riscos encontrados. Esses trechos seguem de maneira estreita o perímetro do leito dos Rios Guajiru, Mudo e Doce. Outra parte com riscos significativos pode ser observada nas proximidades das lagoas e das dunas. Vale ressaltar que as dunas móveis, por estarem localizadas junto à faixa litorânea, normalmente já sofrem as ações dos processos erosivos naturais e dos processos antropogênicos.

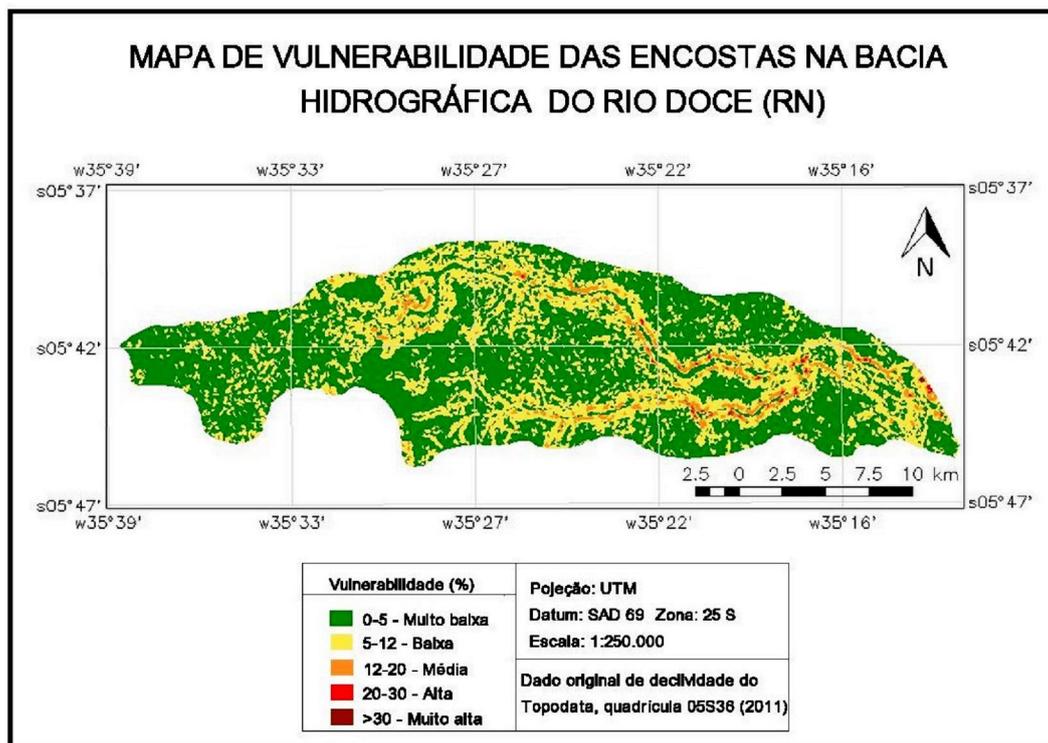


Figura 4 - Vulnerabilidade das encostas na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (RN).

A Tabela 2 expressa o grau de vulnerabilidade e o tipo de risco, de acordo com a declividade da bacia representada em área percentual e em km<sup>2</sup>.

Tabela 2 ó Grau de vulnerabilidade das vertentes na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (RN).

Declividade (%)	Grau	Classe de Vulnerabilidade	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
0-5	1	Muito baixa	265,68	68,78
5-12	3	Baixa	110,59	28,63
12-20	5	Média	9,36	2,42
20-30	7	Alta	0,58	0,15
>30	9	Muito Alta	0,05	0,02
<b>Total</b>			<b>386,26</b>	<b>100</b>

#### 4. Conclusões

Os resultados alcançados demonstram que, do ponto de vista de relevo, a Bacia Hidrográfica do Rio Doce comporta-se como uma bacia de baixa fragilidade ambiental, evidentemente desconsiderado-se os fatores antropogênicos relacionados com a ampla e extensiva ocupação humana na bacia.

A determinação da suscetibilidade da bacia ao desenvolvimento de inundações possibilitou de forma integrada que os elementos geológicos, pedológicos e geomorfológicos controlam o regime hidrológico, indicando um baixo potencial de inundação da bacia.

A obtenção das informações sobre a vulnerabilidade, por meio da determinação da declividade, demonstra a importância dos dados Topodata para o planejamento territorial, uma vez que os dados do MDE são estritamente necessários para a caracterização do relevo. Com esses dados, foi possível delimitar as áreas vulneráveis a riscos.

Os dados analisados contribuíram para a compreensão da suscetibilidade da bacia aos processos erosivos naturais e constituem informações fundamentais para o planejamento e zoneamento da bacia em questão. A determinação da orientação de vertentes é determinante

na detecção das áreas de maiores regimes térmicos e hídricos, uma vez que a irradiação solar tende à maior incidência nas vertentes Norte e Nordeste, podendo, inclusive, subsidiar o planejamento territorial do ponto de vista da ocupação dos solos para atividades agrícolas, e conseqüentemente, também influenciar no custo das terras.

### **Agradecimentos**

À Universidade Federal do Rio Grande do Norte pelo apoio e incentivo e, em particular, à PROPESQ/UFRN pela bolsa de iniciação científica concedida durante o período da pesquisa (Processos PVC5317-2012 e PVC5317-2013).

### **Referências bibliográficas**

Azevedo, P. G. **Vulnerabilidades socioambientais na Zona de Proteção Ambiental-9, Natal/RN**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Natal, RN: 2010.

Câmara, G., Souza, R. C. M., Freitas, U. M., Garrido, J. **SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. Computers & Graphics**, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996. Versão 5.0. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring>>. Acesso em: 15 Jun. 2013.

Christofolletti, A. **Geomorfologia**. 2ª ed., São Paulo: Edgard Blucher Ltda., 1980. 188 p.

Coelho Netto, A. L. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. da (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 12ª ed. ó Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013. Cap.3, p. 93-144.

Corvalán, S. B.; Garcia, G. J. **Avaliação Ambiental da Apa Corumbatai Segundo Critérios de Erodibilidade do Solo e Cobertura Vegetal**. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 30, n. 2, p. 269-283, 2011.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Geologia e recursos minerais do Estado do Rio Grande do Norte** - Escala 1:500.000. Recife, CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2007.

Cunha, S. B. da. Geomorfologia Fluvial. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. da (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 12ª ed. ó Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013. Cap.51, p. 211-245.

Cunha, S. B. da; Guerra, A. J. T. Degradação Ambiental. In: Guerra, A. J. T. e CUNHA, S. B. da (Org.). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 11ª ed. ó Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. Cap. 7, p.337-374.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Limites estaduais do Brasil**, Escala: 1: 1.000.000, 2010. CDROM.

IDEMA. Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente. Banco de Dados Geográficos. **Bacias e estuários - RN**, Escala:1:100.000, 2005. CDROM.

\_\_\_\_\_. Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente. Banco de Dados Geográficos. **Geomorfologia - RN**, Escala:1:100.000, 2005. CDROM.

\_\_\_\_\_. Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente. Banco de Dados Geográficos. **Solos - RN**, Escala:1:100.000, 2012. CDROM.

Lima, W. de P. **Princípios de manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ. USP, 1976.

Melo, J. G. de. **Estudo da quantificação da oferta de água da região da lagoa de Extremoz**. Engesoft Engenharia e Consultoria. Relatório Final. Secretaria de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte (SERHID), V. 1. 2004,165 p.

Silveira, C. T.; Silveira, R. M. P. Classificação geomorfométrica de unidades morfológicas do relevo no estado do Paraná obtida de atributos topográficos e árvore de decisão. In: **XV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. Anais, Vitória/ES. 2013.

SUDENE. Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos - SERHID. **Carta Topográfica do Município de João Câmara, RN** (SB ó 25 ó V ó C - IV), Escala 1:100.000. 2003. CDROM.

\_\_\_\_\_. Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos - SERHID. **Carta Topográfica do Município de Natal, RN** (SB ó 25 ó V ó C - V), Escala 1:100.000. 2003. CDROM.

TOPODATA. Banco de dados Geomorfológicos. Altitude, Declividade, Orientação Octante quadrícula 05S36. Escala: 1:250.000, 2011, INPE.

Valeriano, M. M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. 2005. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto XII, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 3595-3602. CD-ROM, On-line. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/10.29.11.41/doc/3595.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2013.

\_\_\_\_\_. **TOPODATA**: guia para utilização de dados geomorfométricos locais. São José dos Campos: INPE, 2008. 44p. (CNPq, processo n. 306021/2004-8, NV). Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/topodata/documentos.php>>. Acesso em: 05 jan. 2009.