

ANÁLISE DO POTENCIAL HIDRELÉTRICO APROVEITÁVEL DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA POR MEIO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO

Marcelo Pedroso Curtarelli¹; Allan Saddi Arnesen¹; Luiz Rafael Catoira de Vasconcelos²

Resumo – As recentes mudanças institucionais e regulamentares do setor elétrico brasileiro incentivaram a descentralização da geração de energia, favorecendo a dispersão de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs). O setor de energia elétrica tem a responsabilidade de estudar e planejar a implantação de novos empreendimentos, sendo que neste planejamento se insere a etapa de estimativa do potencial hidrelétrico, que avalia a aptidão da bacia para geração de energia. Este trabalho tem como objetivo avaliar o potencial hidrelétrico da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas (BHRC), no município de Urubici (SC), utilizando de técnicas de geoprocessamento. A metodologia aplicada para o cálculo do potencial hidrelétrico por sub-bacias considera características topográficas e hidrológicas da área estudada. A sub-bacia do Rio Urubici foi a que apresentou o maior potencial hidrelétrico (19,86 MW), o que se deve às suas maiores dimensões. Por meio de uma análise de regressão, verificou-se que a variável Área apresenta elevada correlação linear positiva com o potencial hidrelétrico.

Abstract – The recent regulatory changes of the Brazilian electricity sector encouraged the decentralization of power generation by fostering the dispersion of Small Hydroelectric Centers (SHC). The electricity sector has the responsibility to study and plan the implementation of new enterprises, and this fits into the planning stage estimation of hydroelectric potential, which assesses the suitability of the basin for power generation. This study aims to evaluate the hydroelectric potential of Canoas River Basin, within the municipality of Urubici (SC) using geoprocessing techniques. The methodology for calculating the hydroelectric potential of the sub-basins considers topographic and hydrologic characteristics of the studied area. The Rio Urubici sub-basin presented the largest hydroelectric potential (19.86 MW), which is due to its larger size. Through a regression analysis, it was found that the variable Area has a high positive linear correlation with hydroelectric potential.

Palavras-Chave: Potencial hidrelétrico, Bacia Hidrográfica do Rio Canoas, Urubici.

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil. mpedroso@dsr.inpe.br; allansa@dsr.inpe.br

² Universidade Federal de Santa Catarina Caixa Postal 476 - 88040-970 – Florianópolis - SC, Brasil.luiizrcv@gmail.com

1 - INTRODUÇÃO

Uma das alternativas para a geração de energia elétrica é através da transformação da energia hidráulica disponível. Esse tipo de aproveitamento é bastante favorável no Brasil, representando 42% da matriz energética, devido à enorme disponibilidade de recursos hídricos no país (ANEEL, 2002). Segundo o MME (2007), o aproveitamento de potencial hidrelétrico do Brasil vem aumentando, principalmente através da construção de empreendimentos de grande porte, com o objetivo de tornar o país auto-suficiente em energia elétrica, utilizando tecnologia nacional.

Além disso, mudanças institucionais e regulamentares, que resultaram na reestruturação do setor elétrico brasileiro, incentivaram a descentralização da geração de energia, favorecendo a disseminação de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs). As PCHs são definidas pela resolução nº. 652/03 da ANEEL como empreendimentos com aproveitamento hidrelétrico entre 1 MW e 30 MW, com área de reservatório inferior a 3 km². Geralmente este tipo de empreendimento procura atender demandas próximas aos centros de carga, em áreas periféricas ao sistema de transmissão e em pontos marcados pela expansão agrícola nacional, promovendo o desenvolvimento de regiões remotas do país.

Por ser um dos grandes usuários dos recursos hídricos no Brasil, o setor de energia elétrica tem a responsabilidade de estudar e planejar a implantação de novos empreendimentos de forma racional e otimizada, contemplando os usos múltiplos da água preconizados pela lei nº. 9.433/97, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH).

Sendo assim, projeto para a implantação de um empreendimento hidrelétrico são necessários estudos e projetos, compreendendo cinco etapas: (1) estimativa do potencial hidrelétrico, (2) inventário hidrelétrico, (3) viabilidade, (4) projeto base e (5) projeto executivo. De acordo com MME (2007), a primeira etapa, estimativa do potencial hidrelétrico, trata-se de um estudo preliminar de características da bacia, como hidrológicas e topográficas, com o objetivo de avaliar sua aptidão para geração de energia. Este estudo é realizado em escritório, com dados existentes disponíveis e permite uma primeira avaliação do potencial hidrelétrico e a estimativa do custo de aproveitamento na bacia hidrográfica.

A utilização de técnicas de geoprocessamento é grande utilidade para a avaliação preliminar do potencial hidrelétrico em pequenas bacias hidrográficas. Através de cruzamentos, superposições e análise de dados espaciais, é possível otimizar os procedimentos de mapeamento temático e estudo hidrológico de bacias, antes onerosos e demorados. Por suas características técnicas, o Sistema de Informações Geográficas (SIG), um dos principais componentes do geoprocessamento, é um poderoso instrumento de auxílio ao planejamento, gestão e análise de projetos e atividades socioeconômicas e ambientais. Segundo Maguirre *et al.* (1991), esse sistema pode ser definido a

partir de três propriedades básicas: capacidade de apresentação cartográfica de informações complexas; base integrada de objetos espaciais; e sofisticado instrumento para a análise espacial.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar o potencial hidrelétrico da Bacia Hidrográfica do Rio Canoas (BHRC), no município de Urubici (SC), utilizando de técnicas de geoprocessamento e um SIG.

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 - Área de estudo

O município de Urubici (SC) localiza-se entre as coordenadas 28°00'54"S e 49°35'30"O e está situado na Região Hidrográfica 4 (Planalto de Lages) do estado de Santa Catarina. Possui importância estratégica para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos a nível estadual, nacional e continental, uma vez que tem parte de seu território dentro da zona de recarga direta do Sistema Aquífero Guarani, representada pelos afloramentos do arenito Botucatu. Em seu território localizam-se as nascentes de dois importantes rios da bacia hidrográfica do rio Uruguai, o Pelotas e o Canoas. Dentro do município de Urubici a BHRC possui uma área de aproximadamente 70.340 hectares sendo subdividida em 13 sub-bacias (Figura 1).

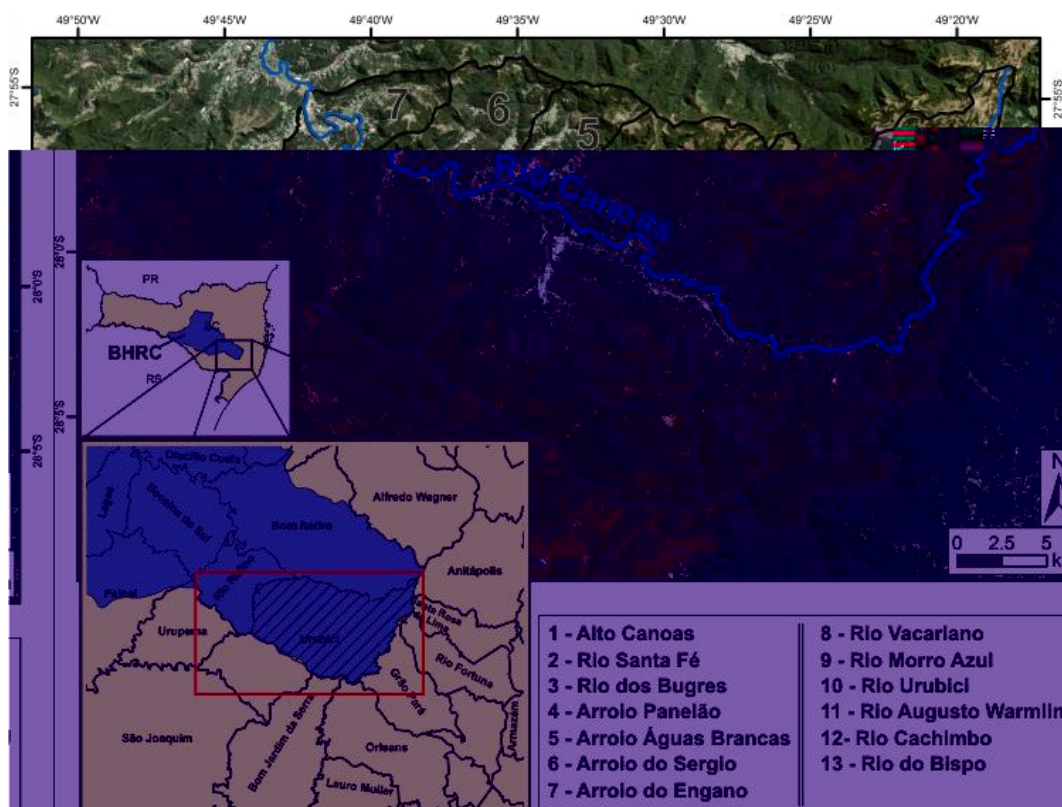


Figura 1 - Mapa de localização da Bacia hidrográfica do Rio Canoas. Imagem Landsat-5/TM de 04/02/2010 (composição cor verdadeira).

A Figura 2 apresenta o limite da BHRC no município de Urubici, com suas sub-bacias e a hidrografia da EPAGRI/IBGE, em escala 1:50.000.

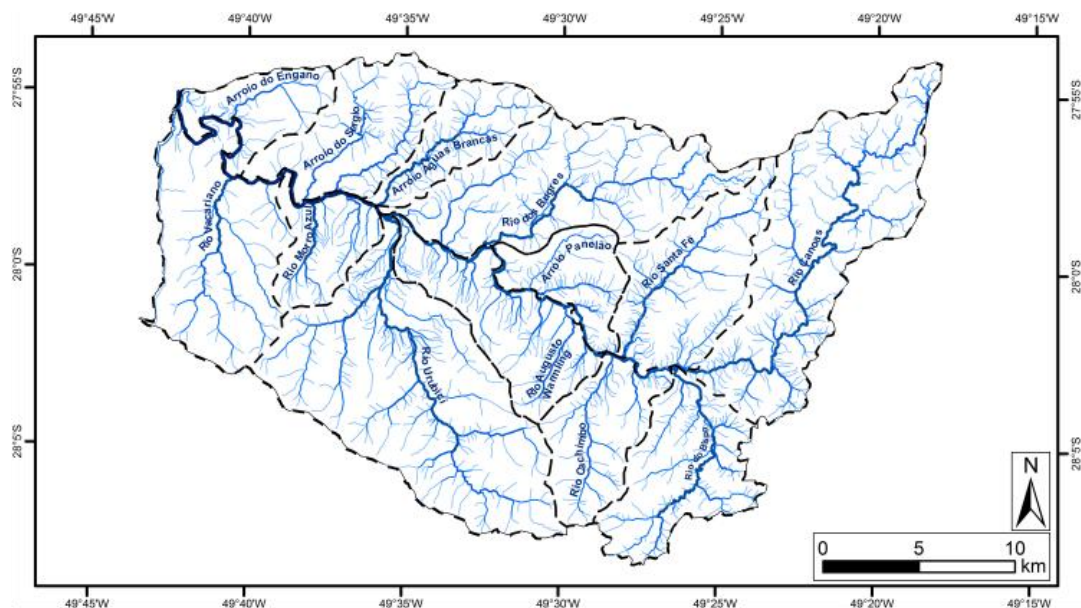


Figura 2 - Hidrografia e sub-bacias da BHRC no município de Urubici.

A Tabela 1 mostra um resumo das características físicas da bacia do rio Canoas em Urubici.

Tabela 1 – Características físicas da bacia.

Área	70.340,39	ha
Perímetro	142,65	Km
Comprimento do rio principal	80,15	Km
Comprimento total de rios	1370, 6	Km
Densidade de drenagem	1,95	Km.Km ⁻²
Coefficiente de compacidade	1,51	-
Fator de forma	0,11	-
Ordem do rio principal	6	-

2.2 - Materiais utilizados

Todos os dados utilizados neste trabalho estão listados na Tabela 2 e foram obtidos gratuitamente.

Tabela 2 - Dados utilizados.

Dado	Formato	Fonte
Catas topográficas	Vetorial	EPAGRI
Limite das unidades hidrográficas de Santa Catarina	Vetorial	EPAGRI
Série histórica de precipitação	Planilha eletrônica	ANA
Localização estações pluviométricas	Vetorial	ANA

As cartas topográficas foram adquiridas no site da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), através da Mapoteca Digital de Santa Catarina (<http://ciram.epagri.sc.gov.br/mapoteca/>). Foram adquiridas as seguintes cartas topográficas: Aiurê, Águas Brancas, Bom Retiro e Urubici (Figura 3). Todas as cartas são disponibilizadas no formato *shapefile* e escala 1:50.000, georreferenciados no datum SAD 1969. Também foi adquirida a divisão das unidades hidrográficas de Santa Catarina no formato *shapefile* e georreferenciada no Datum SAD 1969.

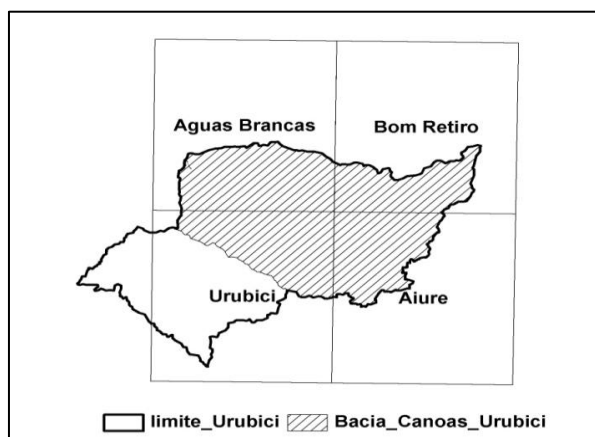


Figura 3 - Articulação das cartas digitais 1:50.000 da EPAGRI/IBGE.

A identificação das estações pluviométricas a serem estudadas foi realizada através do Mapa das Estações Pluviométricas de Santa Catarina e da sua respectiva tabela de informações das estações, ambos disponíveis no portal do Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos da Agência Nacional das Águas (ANA) <<http://www.ana.gov.br/portalsnirh/>>. Neste portal foram adquiridos os dados históricos de precipitação mensal de nove estações e o arquivo vetorial em formato *shapefile* das localizações das mesmas (Tabela 3 e Figura 4).

Tabela 3 - Resumo das informações das estações pluviométricas utilizadas no estudo.

Código estação	Nome	Município	Responsável	Operadora	Altitude (m)	Série disponível		Pmédia anual (mm)
						Anos totais	Anos completos	
2750007	Painel	Painel	ANA	CPRM	1196	51	47	1584,20
2749035	Bocaina do Sul	Lages	ANA	CPRM	900	33	27	1676,90
2749009	Rio Bonito	Lages	ANA	CPRM	900	50	40	1557,30
2749031	Vila Canoas	Lages	ANA	CPRM	900	52	45	1429,26
2849009	Bom Jardim da Serra	Bom Jardim da Serra	ANA	CPRM	1200	40	28	1457,11
2849021	São Joaquim	São Joaquim	INMET	INMET	1415	27	23	1748,33
2849025	Urubici	Urubici	ANA	CPRM	997	66	26	1546,63
2749007	Lomba Alta	Alfredo Wagner	ANA	EPAGRI	550	68	65	1560,13
2749027	Anitápolis	Anitápolis	ANA	EPAGRI	500	47	42	1934,98

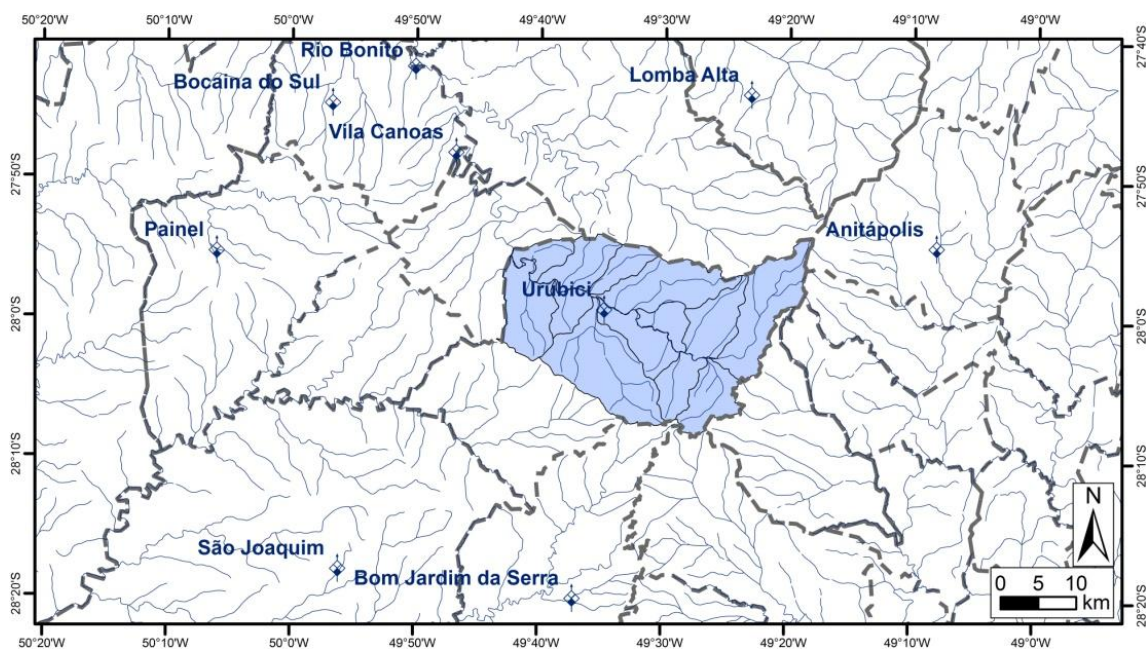


Figura 4 - Localização das estações pluviométricas utilizadas.

2.3 - Metodologia

O fluxograma a seguir apresenta as etapas da metodologia aplicada neste trabalho (Figura 5).

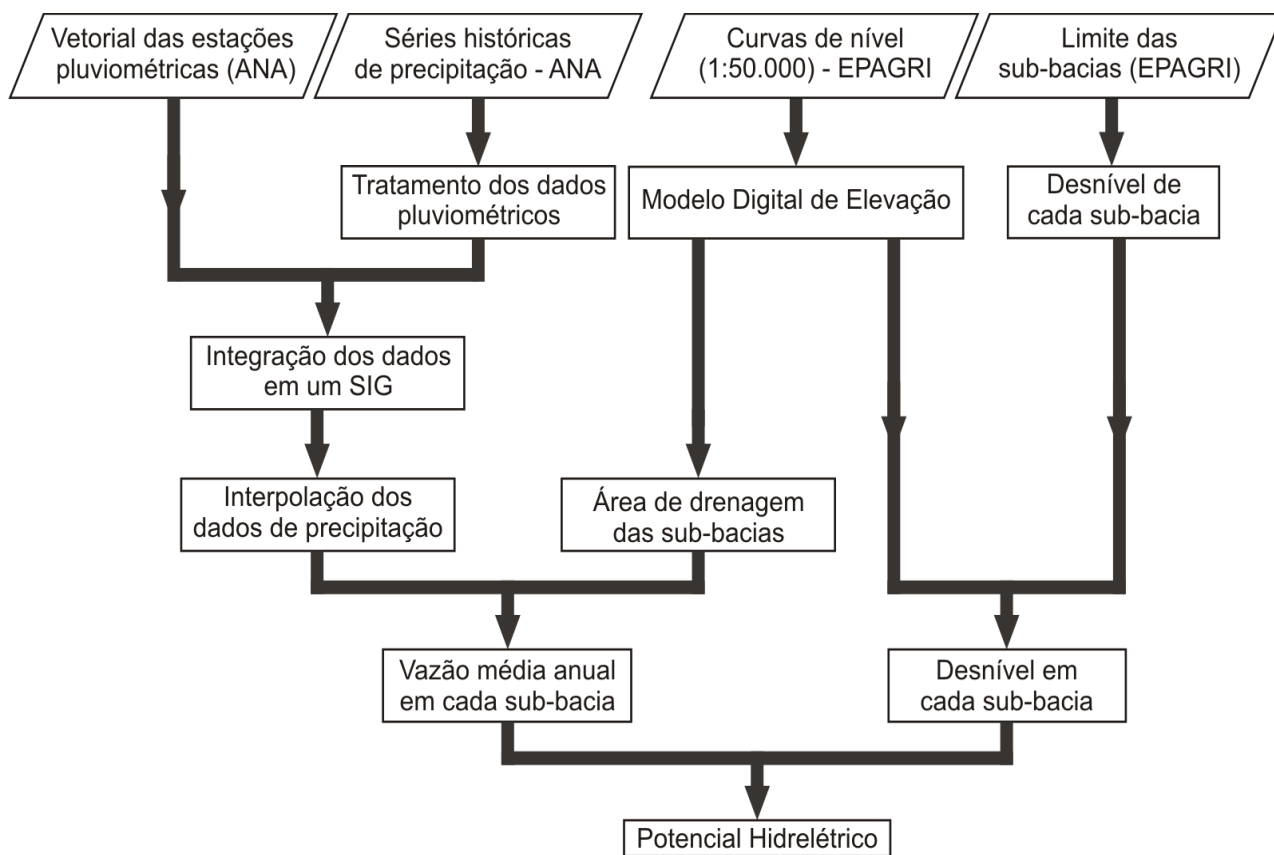


Figura 5 - Fluxograma geral da metodologia aplicada no trabalho.

2.3.1 – Estimativa da precipitação média anual

A análise da precipitação média na bacia consistiu de três etapas: tratamento dos dados de precipitação, interpolação espacial e estimativa da precipitação média. A etapa de tratamento de dados pluviométricos consistiu basicamente no preenchimento de falhas dos dados de pluviosidade e análise de consistência dos mesmos. O preenchimento de falhas dos dados ausentes foi realizado através do Método da Ponderação Regional, o qual é um método simplificado para o preenchimento de séries mensais ou anuais que visa à homogeneização do período de informações e à análise estatística das precipitações. Para o preenchimento do dado ausente de certo posto são selecionados outros três postos vizinhos, conforme Equação 1, estando eles numa região climatológica semelhante ao posto a ser preenchido (Tucci, 2007).

$$y_c = \frac{1}{3} \cdot \frac{x_1}{x_{m1}} + \frac{x_2}{x_{m2}} + \frac{x_3}{x_{m3}} \cdot y_m \quad (1)$$

Onde:

y_c = precipitação estimada para um posto qualquer (mm);

x_1 , x_2 e x_3 = precipitações correspondentes ao mês que se deseja preencher, observadas em três estações circunvizinhas (mm);

x_{m1} , x_{m2} e x_m = precipitações médias nas três estações circunvizinhas (mm); e

y_m = precipitação média no posto a ser preenchido (mm).

Posteriormente ao preenchimento das falhas existentes nas séries temporais, foi realizada uma análise de consistência dos dados dentro de uma visão regional, ou seja, verificando o grau de homogeneidade dos dados de cada posto com relação aos dados do mesmo período dos postos vizinhos. Para tanto, utilizou-se o Método da Dupla Massa, e foram gerados gráficos para cada estação pluviométrica. Cada gráfico apresenta no eixo das abscissas o total de chuva média acumulada de todas as estações analisadas e no eixo das ordenadas o total de chuva acumulada da estação em análise. Todas as estações apresentaram R^2 superior a 0,994 o que significa que as séries históricas não apresentaram erros significativos, nem mudança na tendência ao longo da série histórica.

Uma vez que as falhas estavam preenchidas e os dados consistidos, calculou-se a precipitação média anual (ou intensidade pluviométrica anual, mm.ano^{-1}). Em seguida os valores de intensidade pluviométrica anual foram interpolados através do método da krigeagem, em que os pesos são determinados às diferentes amostras (neste caso, estações pluviométricas) a partir de uma análise espacial, baseada no semivariograma experimental (Camargo, 1997), utilizando o aplicativo SPRING (Câmara *et al.* 1996).

Após a interpolação dos dados, a grade de precipitação foi fatiada em classes e a precipitação média anual (P , mm.ano⁻¹) foi estimada utilizando o método das isoietas, conforme Equação 2 (Tucci, 2007).

$$P = \frac{1}{A} A_{i,i+1} \frac{P_i + P_{i+1}}{2} \quad (2)$$

Onde:

A = área da bacia (km²);

$A_{i,i+1}$ = área calculada entre duas isoietas i e $i + 1$ (km²);

P_i = valor de precipitação na isoietas i (mm.ano⁻¹); e

P_{i+1} = valor de precipitação na isoietas $i + 1$ (mm.ano⁻¹).

2.3.2 – Topografia da bacia e estimativa dos desníveis

Para gerar o MDE da bacia foram utilizadas as curvas de nível das seis cartas topográficas em escala 1:50.000, disponibilizadas em formato vetorial *shapefile*, e o aplicativo SPRING. Primeiramente as curvas de nível foram interpoladas para uma grade irregular triangular (TIN, *Triangular Irregular Network*), utilizando a drenagem com linha de quebra. Em seguida o TIN foi convertido para uma grade regular retangular (GRID) com tamanho de *pixel* de 30 metros. Por fim foi utilizada a máscara da bacia para recortar o MDE dentro da área de estudo.

O cálculo do desnível foi realizado por sub-bacias, ou seja, dentro de cada uma destas verificou-se a cota máxima de seu rio principal (nascente) e a cota mínima do mesmo (exutório da sub-bacia), sendo o desnível a diferença de cota entre estas medidas. Este procedimento foi realizado utilizando o MDE gerado a partir das curvas de nível e a hidrografia da BHRC.

2.3.3 – Área de drenagem das sub-bacias

Para calcular as áreas de drenagem das sub-bacias foi utilizado o MDE gerado e rotinas computacionais para extrair atributos do terreno. Primeiramente foi utilizada uma rotina para o preenchimento de falhas e sumidouros no MDE gerado. Em seguida foram geradas as grades numéricas de direção de fluxo (DF) e acumulação de fluxo (AF) na bacia. Desta maneira foi possível gerar uma grade contendo área de contribuição para drenagem em cada *pixel* (AD_{pixel} , km²), utilizando a Equação 3.

$$AD_{\text{pixel}} = 90.10^{-6}.AF \quad (3)$$

Onde:

AF = valor da grade de acumulação de fluxo (valor inteiro); e

$90.10^{-6} = 0,003 \times 0,003$ = área de um *pixel* (km²).

Por fim, a área de drenagem de cada sub-bacia (AD , km²) foi determinada verificando o valor do *pixel* da grade AD_{pixel} no exutório de cada uma.

2.3.4 – Estimativa da vazão

O estudo de regionalização de vazões das bacias hidrográficas do estado de Santa Catarina foi realizado por um consórcio das empresas Engecorps, Tetraplan e Lacaz Martins no âmbito do Projeto Microbacias 2 da EPAGRI. O objetivo destes estudos foi definir relações funcionais que permitam determinar, de forma fácil e precisa, os parâmetros necessários para a caracterização de disponibilidade hídrica natural das bacias hidrográficas do Estado. Para o cálculo da vazão média de longo termo (Q_{mlt} , m³.s⁻¹) o estado foi dividido em regiões 5 homogêneas. Para a bacia do rio Canoas foi utilizada a Equação 4, referente à região homogênea M1 (Engecorps *et al*, 2006):

$$Q_{mlt} = 1,24.10^{-4}.P^{0,759}.AD^{0,968} \quad (4)$$

Onde:

P = precipitação média anual na bacia (mm); e

AD = área de drenagem da bacia (km²).

2.3.5 – Estimativa do potencial hidrelétrico

Segundo MME (1985), o potencial hidrelétrico aproveitável (Pb , KW) pode ser compreendido como o máximo potencial que um dado local escolhido pode fornecer, considerando suas características topográficas de desnível e hidrológicas de vazão disponível. O Pb foi estimado utilizando a Equação 5.

$$Pb = 7,16.H.Q_{mlt} \quad (5)$$

Onde:

Q_{mlt} = vazão (m³.s⁻¹);

H = Desnível da bacia (m); e

7,16 = Valor para correção decorrente da eficiência do sistema de geração.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 6 mostra o resultado da interpolação espacial dos dados de precipitação. Pode-se notar que o maior volume de precipitação, cerca de 1750 mm.ano^{-1} , ocorre nas regiões mais altas da bacia, próxima às nascentes do Rio Canoas. Já nas regiões mais baixas, próximo ao exutório, a precipitação é de aproximadamente 1550 mm.ano^{-1} , ficando evidente um gradiente de precipitação no sentido leste-oeste da bacia. A precipitação média anual estimada pelo método das isoietas, no período de 1980 a 2006, foi de $1597,7 \text{ mm.ano}^{-1}$. De um modo geral a precipitação se distribui bem por todos os meses do ano, como pode ser visto na Figura 7.

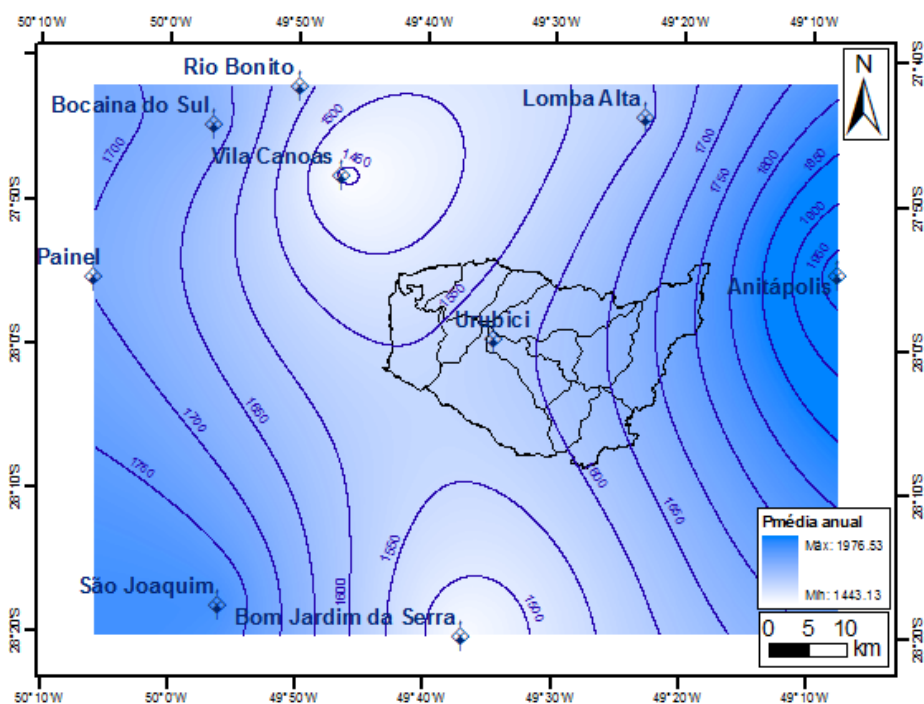


Figura 6 - Resultado da interpolação dos valores de precipitação média anual.

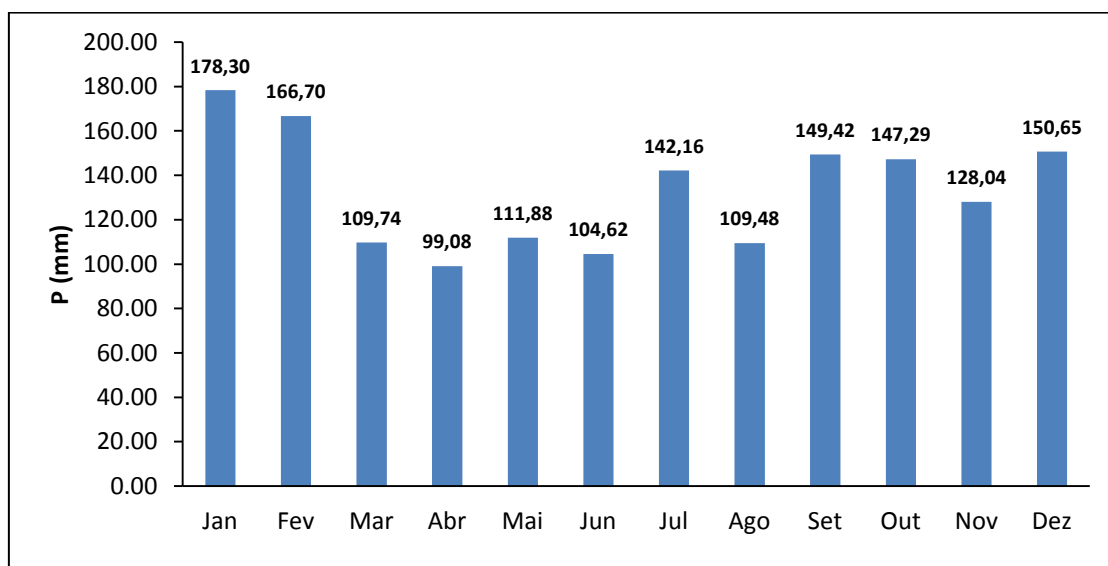


Figura 7 - Precipitação média mensal na BHRC em Urubici (1980-2006).

Os desníveis por sub-bacia e o desnível total da BHRC em Urubici calculados com base no MDE gerado a partir das curvas de nível (Figura 8) e na hidrografia da EPAGRI/IBGE (em escala 1:50.000) estão apresentados na Tabela 4, juntamente com as respectivas áreas das sub-bacias ordenadas em ordem crescente. Embora as sub-bacias de menor e maior área apresentem, respectivamente, os desníveis extremos de 459 e 804 metros, não podemos afirmar que existe relação entre área e desnível, pois como se trata de uma área de relevo montanhoso pode ocorrer grandes desníveis em bacias de áreas relativamente pequenas (como a do Rio do Bispo, por exemplo). O desnível é vinculado somente à topografia de cada sub-bacia, variando conforme as características do relevo da área de estudo.

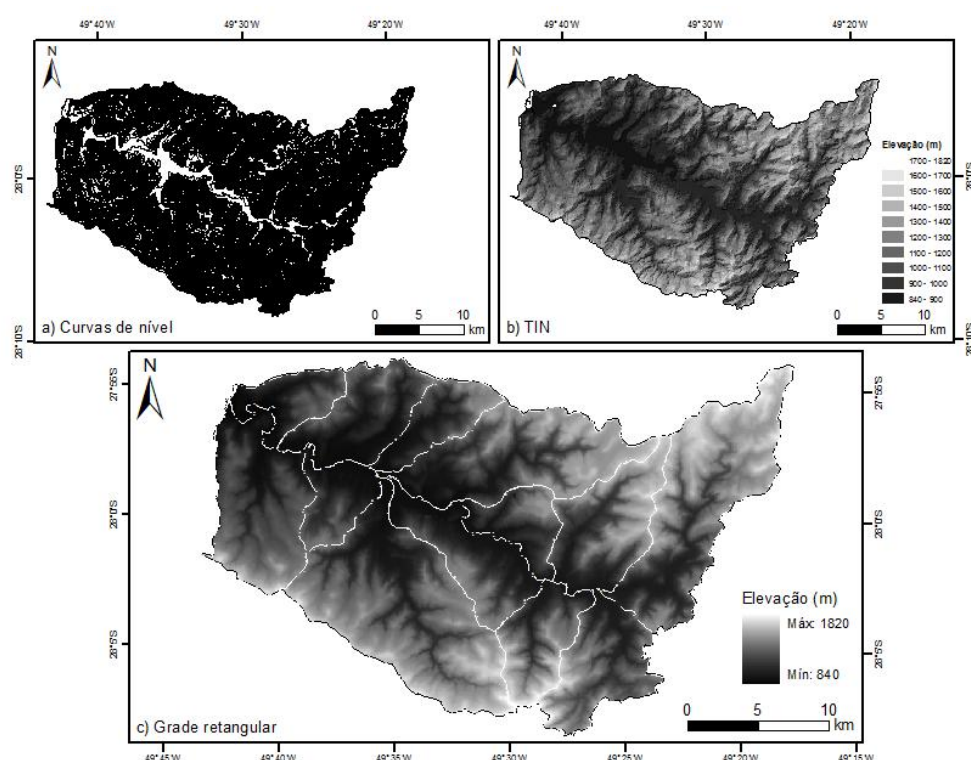


Figura 8 - a) Curvas de nível da EPAGRI em escala 1:50.000; b) grade triangular (TIN) gerado a partir destas curvas de nível; c) Grade retangular com tamanho de pixels de 30x30m, gerado com base no TIN.

Tabela 4 - Áreas das sub-bacias da BHRC em Urubici.

Sub-bacia	Área (km ²)	Desnível (m)	Sub-bacia	Área (km ²)	Desnível (m)
Arroio do Engano	24,23	459	Rio Cachimbo	47,42	712
Rio Morro Azul	24,65	460	Rio Santa Fé	52,83	676
Arroio Panelão	25,29	580	Rio Vacariano	69,74	661
Arroio Águas Brancas	26,72	597	Rio dos Bugres	81,15	720
Rio do Bispo	35,50	708	Alto Canoas	99,70	703
Arroio do Sergio	44,11	543	Rio Urubici	127,42	804
Rio Augusto Warmling	44,57	540	BHRC Urubici	703,33	980

As vazões médias calculadas por sub-bacias para o período estudado (1980 a 2006) estão apresentadas na Figura 9, na qual se observa que a sub-bacia do Rio Urubici apresenta a maior vazão, decorrente de sua maior área de drenagem (Tabela 5). Contudo, a sub-bacia de menor área, Arroio do Engano, não foi a que apresentou a menor vazão média (i.e. $0,73 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$). Isto indica que, embora a variável área ser mais influente no cálculo da vazão, tendo o seu valor elevado à potência de 0,968 (Equação 5), a variável precipitação é responsável por fazer que as sub-bacias com menor área apresentem maior vazão média do que aquelas com menores precipitações médias anuais. Este é o caso das sub-bacias do Arroio do Engano (Área= $24,23 \text{ km}^2$ e $Q_{mlp}=0,70 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) e do Rio Morro Azul (Área= $24,65 \text{ km}^2$ e $Q_{mlp}=0,65 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$).

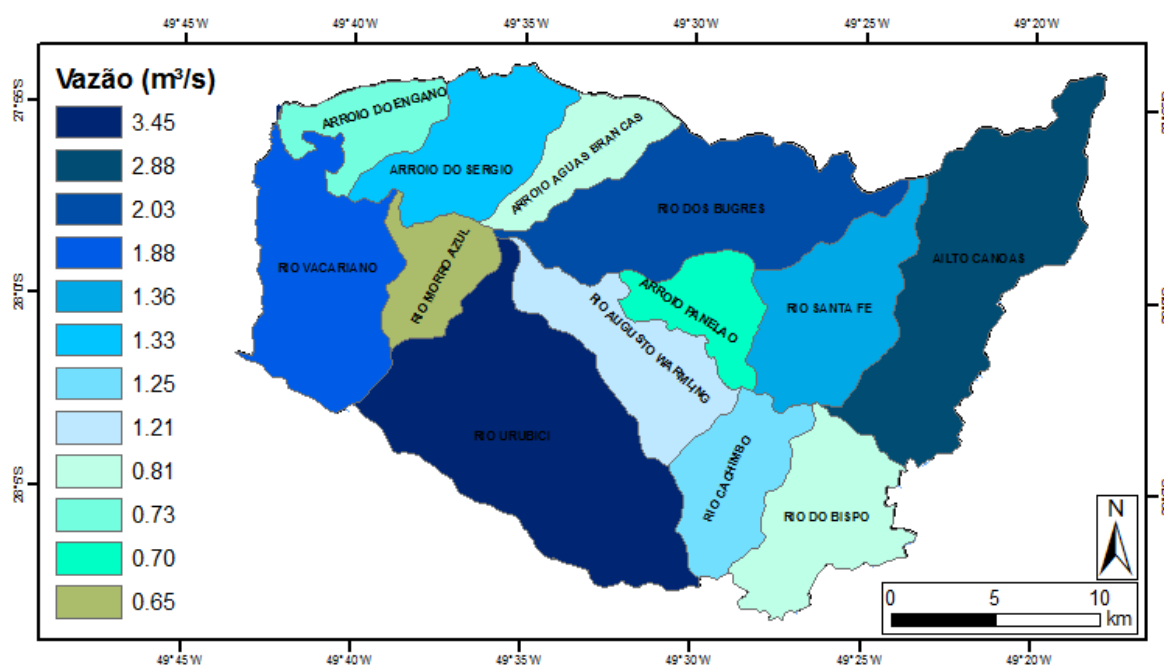


Figura 9 - Mapa das vazões por sub-bacias.

A Tabela 5 mostra um resumo das características físicas e hidrológica da BHRC em Urubici e suas sub-bacias, além dos valores estimados de potencial hidrelétrico aproveitável. O valor estimado para toda a bacia foi de 91,54 MW, o que mostra que, do ponto de vista técnico, esta bacia possui características favoráveis para a geração de energia, através de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs). O potencial hidrelétrico estimado para BHRC em Urubici representam aproximadamente 5,8% de todo o potencial da BHRC (1.582 MW, ANEEL, 2002), 0,70% do potencial da bacia do Rio Uruguai (13.337 MW, ANEEL, 2002) e 0,04% do potencial estimado para o Brasil (260.095 MW, ANEEL, 2002), o que reforça a importância estratégica desta região para o planejamento e gestão dos recursos hídricos a nível estadual, regional e nacional.

Tabela 5 - Resumo dos resultados por sub-bacia.

Sub-Bacia	Área (km ²)	Pmlp (mm)	Qmlp (m ³ /s)	Desnível (m)	Pb (MW)	%
RIO MORRO AZUL	24,65	1531,20	0,65	460	2,14	2,34
ARROIO DO ENGANO	24,23	1600,65	0,73	459	2,40	2,62
ARROIO PANELAO	25,29	1559,10	0,70	580	2,91	3,18
ARROIO AGUAS BRANCAS	26,72	1614,20	0,81	597	3,46	3,78
RIO DO BISPO	35,50	1585,99	0,81	708	4,11	4,49
RIO AUGUSTO WARMLING	44,57	1544,76	1,21	540	4,68	5,11
ARROIO DO SERGIO	44,11	1600,79	1,33	543	5,17	5,65
RIO CACHIMBO	47,42	1599,01	1,25	712	6,37	6,96
RIO SANTA FE	52,83	1559,73	1,36	676	6,58	7,19
RIO VACARIANO	69,74	1515,45	1,88	661	8,90	9,72
RIO DOS BUGRES	81,15	1585,68	2,03	720	10,47	11,43
ALTO CANOAS	99,70	1650,36	2,88	703	14,50	15,84
RIO URUBICI	127,42	1544,13	3,45	804	19,86	21,70
TOTAL BHRC Urubici	703,40	1597,36	19,09	980	9154	100,00

O potencial hidrelétrico estimado para cada uma das sub-bacias foi fatiado em classes com diferentes intervalos (Figura 10). Entre todas as sub-bacias, a do Rio Urubici e do Alto Canoas foram as que apresentaram os maiores potenciais hidrelétricos, com 19,86 MW (21,70%) e 14,50 MW (15,84%) do total respectivamente. Já os menores potenciais hidrelétricos foram os das sub-bacias do Rio Morro Azul e Arroio do Engano, com características opostas as das sub-bacias do Rio Urubici e Alto Canoas, sendo responsáveis por apenas 2,14 MW (2,34%) e 2,40 MW (2,62%) do total respectivamente.

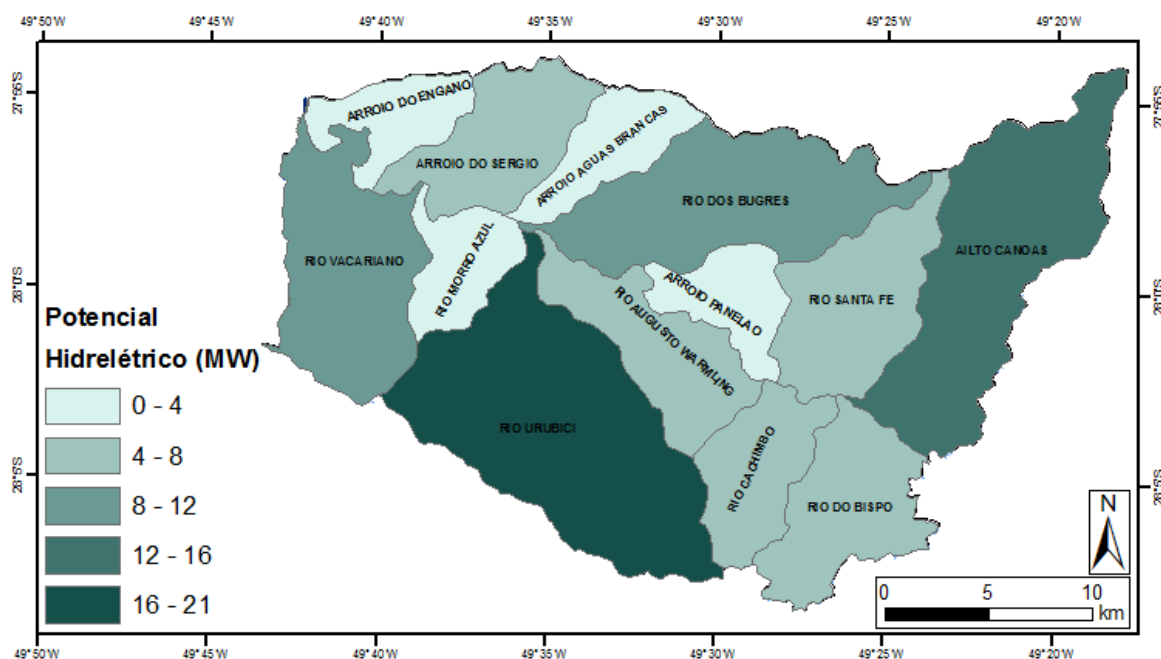


Figura 10 - Mapa dos potenciais hidrelétricos por sub-bacia.

Com base na análise dos resultados, foi possível notar que variáveis (precipitação, área de drenagem e desnível da bacia) exerceram influência de diferentes intensidades na estimativa do potencial hidrelétrico. Através do cálculo do coeficiente de variação (Equação 6), expressos em porcentagem (Tabela 6), observou-se que a precipitação tem baixa variação (2,4 %), o que indica que a precipitação média anual é bem parecida em todas as sub-bacias. Já a área das sub-bacias variou 59,2 %, sendo talvez esta a variável que mais influencie nas estimativas de vazão e consequentemente do potencial hidrelétrico nesta região estudada.

$$C_v = \frac{\sigma}{\mu} * 100 \quad (6)$$

Onde:

σ é o desvio-padrão; e

μ é a média.

Tabela 6 - Valores de média, desvio-padrão e coeficiente de variação.

	Desnível	Área	Precipitação
Média	106,82 m	54,11 km ²	1576,23 mm
Desvio padrão	627,92 m	32,08 km ²	37,80 mm
Coeficiente de variação	17,01 %	59,20 %	2,40 %

A Figura 11 mostra a relação entre cada variável envolvida na estimativa e o potencial hidrelétrico. Pode-se observar que a variável área de drenagem (Figura 11a) apresentou uma alta correlação linear positiva com o potencial hidrelétrico estimado ($R^2 = 0,99$), isto significa quanto maior for a área da sub-bacia, maior será seu potencial hidrelétrico. A correlação entre as variáveis desnível e potencial hidrelétrico (Figura 11b) melhor se ajustou a uma função exponencial ($R^2 = 0,70$). Já a variável precipitação (Figura 11c) não apresentou nenhuma relação com o potencial hidrelétrico ($R^2 = 0,00$). Uma provável explicação para a alta correlação entre a variável área e o potencial é seu elevado valor do coeficiente de variação (59,20%), ao passo que a variável precipitação, que não apresentou nenhuma relação com o potencial, foi a com o menor coeficiente de variação (2,40%).

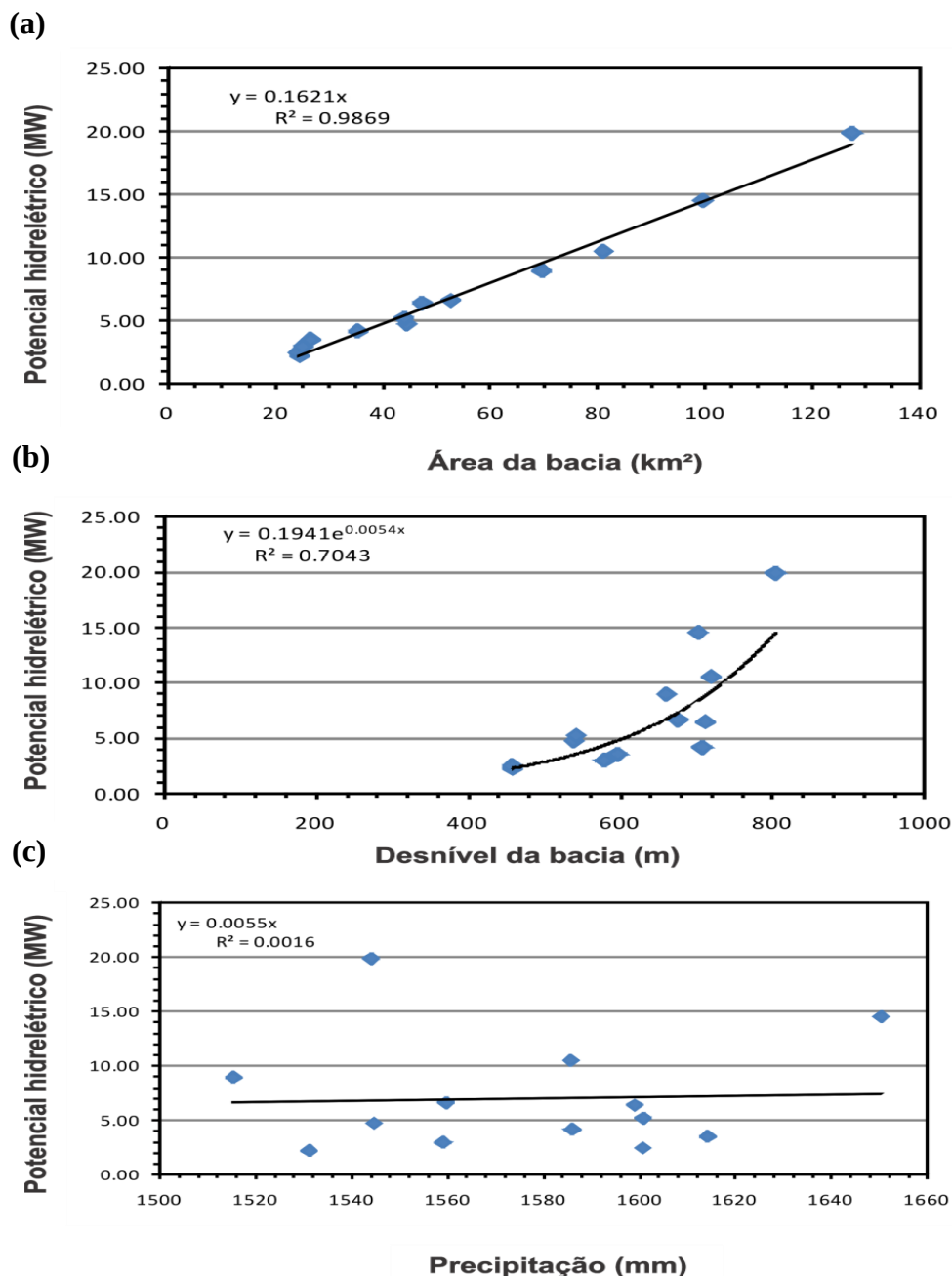


Figura 11 – Relação entre o potencial hidrelétrico e a) área da sub-bacia; b) vazão da sub-bacia e c) desnível da sub-bacia.

4 - CONCLUSÕES

O geoprocessamento se mostrou uma ferramenta rápida e eficiente na caracterização hidrológica e topográfica das bacias hidrográficas, integrando diferentes temas, como hidrografia, precipitação e elevação do terreno, e possibilitando a análise integrada das informações.

A BHRC em Urubici apresentou um potencial hidrelétrico de 91,54 MW, sendo que a sub-bacia do Rio Urubici foi que apresentou o maior valor do potencial (19,86 MW). A sub-bacia do Rio Morro Azul, no outro extremo, foi a que apresentou o menor potencial (2,14 MW). No entanto, é importante observar que nem todas as sub-bacias apresentaram aptidão para geração de energia através de PCH.

Deve-se salientar que os resultados obtidos neste estudo abordam um ponto de vista teórico das condições físicas e hidrológicas propícias para aproveitamentos hidrelétricos, sendo necessária ainda, uma análise mais profunda das questões econômicas, sociais e ambientais envolvidas. Estas incluiriam estudos de viabilidade financeira de construção no local, legislação pertinente, presença de Áreas de Preservação Permanente (APPs), Unidades de Conservação (UC), entre outros fatores que inviabilizem o empreendimento.

BIBLIOGRAFIA

a) Livro

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). (2002). *Atlas de energia elétrica do Brasil*. ANEEL Brasília, 153 p.

MAGUIRRE, D. J.; GOODCHILD, M. F.; RHIND, D. W. (1991). *Geographical information systems: principles and applications*. Longman Scientific and Technical: Londres, 1096 p.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). (1985). *Manual de microcentrais hidrelétricas ELETROBRÁS/DNAEE* Brasília, 344 p.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). (2007). *Manual de inventário hidroelétrico de bacias hidrográficas*. MME/CEPEL Rio de Janeiro, 684 p.

TUCCI, C. E. M. (2007). *Hidrologia: ciência e aplicação*. UFRGS/ABRH Porto Alegre, 943 p.

b) Capítulo de livros

c) Artigo em revista

CAMARA, G., SOUZA R. C. M., FREITAS U. M., GARRIDO J. (1996). “*SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling*”. *Computers & Graphics* 20 (3), pp.395-403.

d) Outros

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELEÉTRICA (ANEEL). *Resolução nº. 652, de 9 de dezembro de 2003*. Estabelece os critérios para o enquadramento de aproveitamento hidrelétrico na condição de Pequena Central Hidrelétrica (PCH). Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2003652.pdf>> Acesso em: 02 de abril de 2011.

BRASIL. *Lei nº. 9.433, de 8 de janeiro de 1997*. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm> Acesso em: 05 de maio de 2011.

CAMARGO, E. C. G. (1997). *Desenvolvimento, implementação e teste de procedimentos geoestatísticos (Krigagem) no sistema de processamento de informações georreferenciadas (SPRING)*. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais São Jose dos Campos, 146 p.

ENGEORPS, TETRAPLAN E LACAZ MARTINS. (2006). *Estudos dos Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos para o Estado de Santa Catarina e apoio a sua implementação: Regionalização de Vazões das Bacias Hidrográficas Estaduais do Estado de Santa Catarina.* Consórcio Engecorps/Tetraplan/Lacaz Martins/SDS Florianópolis, 143 p.