

A ANÁLISE MORFOMÉTRICA E SUA APLICAÇÃO NA IMPLANTAÇÃO DE BARRAGENS
DE FORMAÇÃO DE AQUÍFEROS E SOLOS NO VALE DO ENCANTO/RN*

POR

J.G. Melo¹, A.M.N. Batista² e L.S. Galvão²

RESUMO - - Com vistas a seleção de sub-bacias hidrográficas e trechos do rio Encanto com condições favoráveis para a implantação de barragens de formação de aquíferos e solos, procedeu-se a análise morfométrica da bacia nos seus aspectos lineares, areais e hipsométricos. Os resultados da análise, auxiliados pelas estimativas do escoamento superficial, levantamento geológico e estrutural, e observações gerais de campo de caráter hidrológico, conduziram a informações consideradas satisfatórias.

INTRODUÇÃO

Os sedimentos aluviais, quando bem distribuídos ao longo dos rios e com boas características de permeabilidade, constituem importante fonte de suprimento hídrico das comunidades ribeirinhas, principalmente, porque em geral mantém a perenidade de suas águas mesmo nas épocas de estiagem prolongada.

Alguns cursos d'água ou certos trechos dos canais são desprovidos de aluviões ou as apresentam de forma pouco expressiva. Ainda, ocorrem com dominância de clásticos finos, sem condições para armazenarem água ou formarem aquíferos. Estas situações são frequentes e identificadas como as regiões mais carentes.

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de uma metodologia, que permita a identificação desses locais ou regiões em condições favoráveis para a implantação de barragens de formação de aquíferos e solos.

A metodologia envolve a aplicação de matérias interdisciplinares que compreendem: investigações geológicas e estruturais, morfométricas, hidrológicas e sedimentológicas e hidrogeológicas, no âmbito de bacias hidrográficas. No presente artigo é dado ênfase a análise morfométrica.

A pesquisa está sendo desenvolvida na bacia hidrográfica do rio Encanto, no extremo oeste do Estado do Rio Grande do Norte. A área da bacia é de cerca

* Trabalho desenvolvido com apoio do CNPq/PDCT-NE

1 Professor de Hidrogeologia do Deptº de Geologia da UFRN

2 Concluintes do Curso de Geologia da UFRN.

de 700 km², apresentando uma grande diversidade geomorfológica e litológica.

ASPECTOS CLIMÁTICOS

A área de estudo é caracterizada por uma acentuada irregularidade no regime pluviométrico, com chuvas concentradas num período anual muito curto (fevereiro a maio). A pluviosidade média anual no curso superior da bacia é da ordem de 800mm e no curso inferior é de 700mm.

A temperatura média anual é de 28°C e a umidade relativa do ar é de 66%. A taxa anual média de evaporação da superfície livre da água atinge 2300mm e a evapotranspiração potencial 1900mm.

O clima se enquadra no tipo BSHs'w' da classificação de Koppen.

GEOLOGIA

A geologia da região do Encanto é constituída, predominantemente, por terrenos cristalinos de idade pré-cambriana. Estão localmente, capeados por sedimentos de idade meso-cenozóica.

As rochas cristalinas compreendem um embasamento gnáissico-migmatítico, com faixas restritas de supracrustais (gnaiesses, quartzitos e micaxistos). As coberturas são clásticos finos a grosseiros da bacia sedimentar de Nazaré (tipo "graben") e sedimentos quaternários representados por elúvios, colúvios e alúvios. Os elúvios são de natureza predominantemente areno-argilosa, ocorrência irregular e espessuras mal definidas. Os colúvios são clásticos grosseiros, que se concentram nas encostas das elevações. As aluviões ocorrem com maior expressão no terço inferior do rio Encanto e na região de Cel. João Pessoa, onde são atingidas espessuras de até 10m e larguras de 400m. São de natureza essencialmente argilosa no topo e mais arenosas na base. No curso superior do rio, as aluviões são constituídas de clásticos médios a grosseiros.

A rede de drenagem é fortemente controlada pela estrutura geológica (fraturamentos), conforme mostrou os resultados da aplicação do "modelo Hortoniano" para redes fluviais. As fraturas possuem duas direções principais, NE e NW, sendo os fraturamentos mais intensos em sua parte ocidental.

DISPONIBILIDADES HÍDRICAS DA BACIA

O suprimento hídrico da bacia do rio Encanto é feito através do uso de águas superficiais e subterrâneas.

Os principais mananciais superficiais são: açude público Bonito com capacidade para 11x10⁶m³, açude Público 25 de Março e o açude Encanto, com 5,6 x 10⁶m³. Os dois primeiros estão situados nas sub-bacias do Bonito e Sanharão,

respectivamente, e o último, no terço inferior do curso do rio Encanto.

O principal aquífero do vale do Encanto são as aluviões, que ocorrem de forma mais expressiva à jusante da cidade do Encanto, no domínio da bacia sedimentar de Nazaré e ao longo do canal da sub-bacia Sanharão. Convém ressaltar que nessas áreas, apesar das melhores possanças e extensões aluviais, há uma dominância de clásticos finos, caracterizando um ambiente de deposição em regime de águas calmas. Suas águas são captadas através de poços tubulares rasos, cacimbões e cacimbas escavadas e utilizadas no suprimento hídrico das comunidades ribeirinhas.

As águas das aluviões e açudes são de boa qualidade e, em geral, apresentam resíduo seco inferior a 500 mg/l.

ANÁLISE MORFOMÉTRICA

A quantificação morfológica da bacia do Encanto foi feita nos aspectos reais, lineares e hipsométricos, a partir do estudo de suas principais sub-bacias. Este estudo foi realizado com o auxílio de folhas topográficas 1:100.000 e fotografias aéreas na escala 1:40.000, ver tabelas 1 e 2.

Dentre as variáveis, pode-se destacar os coeficientes de massividade (Cms) e orográfico (Cog) e o índice de forma (Ik), que são considerados como indicadores da produção relativa de sedimentos.

O coeficiente de massividade define o estágio de evolução do relevo de uma área de drenagem. Observando as curvas hipsométricas das figuras 2 e 3, pode-se defini-lo como igual ao valor relativo da área do quadrado abaixo das curvas. Comparando as duas curvas, observa-se no caso da sub-bacia Castelo-Jatobá, a existência de uma maior quantidade de volume rochoso, que define um estágio de "inequilíbrio" para a evolução do relevo (Cms = 0,695). Situação como esta também ocorre com as sub-bacias Bebedouro e Bonito. Na sub-bacia Sanharão, entretanto, a situação é totalmente contrária (Cms = 0,262) e o estágio de desenvolvimento do relevo foi definido como "monadnock". No primeiro caso, há predominância de intensos processos erosivos, enquanto que no último predominam os processos de sedimentação aluvionar. As sub-bacias Padre Cosme, Bom Será e a bacia do Encanto ficaram caracterizadas no estágio de equilíbrio, enquanto que as sub-bacias Canidezinho e Poço de Vara, no estágio de transição de inequilíbrio para equilíbrio.

O coeficiente orográfico é um bom indicador da distribuição altitudinal da bacia e, por conseguinte, do seu gradiente médio. Quanto maior o seu valor, maior é a energia de desgaste da água escoada, o que pode propiciar uma maior concentração de sedimentos transportados. Os maiores valores foram encontrados para as sub-bacias Castelo-Jatobá, Bebedouro e Bonito, com coeficiente orográfico de 255,55; 154,38 e 153,94, respectivamente. Os menores correspondem às sub-bacias Sanharão e Bom Será, com valores de 29,33 e 68,89.

A forma circular de uma bacia ($I_k = 1,0$) é um indicador de sua susceptibilidade a enchentes. O poder destruidor d'água nas enchentes faz com que as bacias circulares tenham uma maior disposição para gerar sedimentos. Poço de Vara, Canidezinho e Castelo-Jatobá são as que apresentam forma mais aproximada da circular, com índice de forma variando de 1,28 a 1,33. As formas mais alongadas correspondem as sub-bacias Padre Cosme e Sanharão, com valores de 1,62 e 1,51, respectivamente.

O "coeficiente de correlação de Spearman" foi utilizado para caracterização do grau de homogeneidade das sub-bacias do rio Encanto, considerando o tratamento estatístico de oito variáveis morfométricas: índice de forma (I_k), relação de relevo (R_r), frequência de seguimentos (F_s), densidade de drenagem (D_d), extensão do percurso superficial (E_p), coeficiente de manutenção (C_m), coeficiente de massividade (C_m) e índice de rugosidade (I_r). O valor de correlação máximo, igual a 1,0, foi obtido para as sub-bacias Bonito e Castelo-Jatobá. O valor mínimo foi verificado na correlação das sub-bacias Bom Será e Padre Cosme ($Y_s = 0,81$).

AVALIAÇÃO PRELIMINAR DOS ESCOAMENTOS SUPERFICIAIS

O poder erosivo de uma bacia, assim como a vazão dos sedimentos transportados, dentre outros fatores, depende do regime de escoamento dos cursos d'água. Se o regime é concentrado e forte, o desgaste é maior. Se os escoamentos são brandos e melhor distribuídos anualmente, a ação erosiva é menor. Nestas condições, o seu conhecimento a nível de sub-bacia, mesmo em caráter preliminar, é importante, para que se possa proceder a uma correlação com os demais parâmetros indicadores da concentração de sedimentos.

As avaliações dos volumes d'água afluentes foram feitas com o auxílio da fórmula do Eng^o Aguiar, que leva em consideração o rendimento pluvial da bacia ($R\%$), dimensões da área (A), caracterização do relevo (U) e precipitação pluviométrica média anual (P). Sua forma matemática é expressa por:

$$V_a = R\% \times A \times U \times P \quad (1)$$

Para efeito de cálculo tomou-se por base apenas o período de maior índice pluviométrico (quatro meses) e em seguida foram avaliados os valores médios em m^3/seg . Verificou-se, apesar das extrapolações procedidas nas avaliações dos escoamentos, uma boa correlação quanto ao caráter de concentração do transporte de sedimentos. Com efeito, as sub-bacias que apresentam maiores descargas líquidas por km^2 de área correspondem aquelas que se encontram em um estágio de desenvolvimento pouco desenvolvido. Por exemplo, a sub-bacia Bebedouro apresenta uma vazão de $5,1 \times 10^{-3} m^3/\text{seg}/km^2$; enquanto que na Sanharão a descarga é de $1,6 \times 10^{-3} m^3/\text{seg}/km^2$.

SELEÇÃO DE ÁREAS FAVORÁVEIS A IMPLANTAÇÃO DE BARRAGENS DE FORMAÇÃO DE AQUÍFEROS

Transporte de sedimentos

As informações levantadas até o momento quanto a produção de sedimentos, praticamente, são de natureza qualitativa, desde que não foram efetuadas ainda medições sistemáticas em campo. Citê-se apenas o caso de cinco barragens de pequena altura, em alvenaria de pedra, construídas para reservar água superficial, mas que ficaram completamente assoreadas. Destas, apenas a situada na localidade de Pescaria, no rio Encanto, pode-se fazer uma estimativa média da vazão sólida.

A barragem de Pescaria, com 3m de altura, apresenta um volume de sedimentos da ordem de $30 \times 10^3 m^3$, que segundo informações locais ficou assoreada no primeiro ano após sua construção.

O transporte sólido dos cursos d'água é normalmente avaliado em função de uma relação com a vazão líquida, que na forma mais simples é expressa pela equação exponencial a seguir:

$$C = dq^b \dots \quad (2)$$

onde: C = vazão sólida, ton/dia
 Q = vazão líquida em m^3/seg ;
 d e b são parâmetros.

Características das obras e previsão de assoreamentos

As barragens em que se deseja formar aquíferos ou aumentar a potência de um já existente, devem ser construídas em estruturas rígidas (alvenaria de pedra-cimento ou concreto), cujas dimensões e detalhes de construção serão função, além dos fatores hidrológicos mencionados, a nível de bacias, das condições topográficas do local.

A característica principal deste tipo de barramento é a sua construção em estágios sucessivos, pela necessidade de controle de sedimentação à montante. A altura de cada estágio deve ser projetada para que, durante os escoamentos, sejam depositados apenas o material predominantemente arenoso e evitada a formação de correntes de densidade, que possam provocar a sedimentação de finos. Desta feita, serão propiciadas boas características de permeabilidade para o sistema aquífero a ser formado.

Caso se deseje formar solos apropriados para o desenvolvimento de culturas, o último estágio a ser implantado deve propiciar condições para a sedimentação de uma fração fina.

Um outro fator importante, que deve ser considerado no projeto, é que o

fluxo não seja totalmente interrompido, como forma de permitir uma renovação eficiente das águas a cada período chuvoso e, por conseguinte; prevenir possíveis problemas de salinização. Nestas condições, a obra deve dispor de pontos controláveis de descarga d'água.

Conhecida a relação vazão sólida x vazão líquida, é possível prever os assoreamentos em determinadas secções. Pela aplicação da equação 2, é calculado o transporte médio em ton/ano. Com base no conhecimento do peso específico médio do material transportado, é avaliado a produção de sedimentos em m³/ano.

Desde que seja conhecida a curva cota x volume do reservatório, determina-se a altura mais adequada para cada estágio em função do tempo para assoreamento.

A título de exemplificação, imagine-se uma barragem com as seguintes dimensões: altura média de 6m, largura de 100m e extensão de 1km. Portanto, o volume assoreado obtido é de 0,6 x 10⁶m³. Admitindo uma porosidade específica da ordem de 15%, o volume d'água armazenado será de aproximadamente 100 x 10³ m³ e o volume regularizado da ordem de 30 a 60 x 10³m³ por ano.

Seleção das áreas

As áreas que oferecem melhores condições para a implantação de barragens de formação de aquíferos, são aquelas que apresentam maiores descargas de sólidos e que a natureza dos mesmos seja de clásticos grosseiros, preferencialmente quartzosos. Com estas condições, o tempo de assoreamento será menor e se obtém melhores características de permeabilidade.

A nível de sub-bacias, no âmbito da área em estudo, verificou-se uma certa homogeneidade quanto aos tipos litológicos e estruturas dominantes. Portanto, o caráter geológico pouco pode influenciar na escolha de áreas. Situações semelhantes se verificam com a cobertura vegetal e manto residual, ao nível das informações levantadas.

A análise morfométrica, auxiliada pelas avaliações preliminares dos escoamentos, sugere que as sub-bacias mais propícias para a implantação de barramentos de formação de aquíferos são: a Bebedouro, Castelo-Jatobá e Bonito. As duas primeiras, já revelaram esta vocação pela existência de barragens construídas para reservar água e que ficaram completamente assoreadas. As condições hidrológicas naturais da sub-bacia Bonito, entretanto, estão alteradas pela existência de uma barragem no seu curso médio, que retém a maior parte dos sedimentos.

A análise do perfil longitudinal do rio Encanto, auxiliada pelos resultados dos estudos morfométricos, estimativas de escoamento, e observações de campo, permitiram a subdivisão do rio em três zonas, designadas de zonas 1, 2 e 3, conforme mostra a fig. 4.

Verificou-se que o trecho da zona 2, compreendido entre Pescaria e o Açú de Encanto, com 20 km de extensão, é o que reúne melhores condições para a implantação de barragens de sedimentação. Este trecho, além de ter se revelado com uma boa capacidade de transporte de sedimentos, é totalmente desprovido de aluviões. Convém assinalar, que a região é bastante habitada e que, durante as épocas de estiagem, há uma carência muito grande de recursos hídricos.

Os trechos Lagoa-Taboca e Quintos-Pescaria, apresentam gradientes muito fortes e se acham entulhados de blocos de rochas, sem condições para armazenamento, não constituindo áreas favoráveis.

Os demais trechos já são providos de boa cobertura aluvial, com destaque para a ocorrência situada no trecho inferior, Encanto-Lagoinha.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOGARDI, J. - Sediment transport in alluvial streams. Budapeste. Akadémiai Kiadó, 1974. 826 p.
- CEPA/RN - Estudos para a elaboração do projeto de aproveitamento hidro-agrícola dos vales do rio Encanto e riacho Santana. Estudos básicos-hidroclimatologia. SAG/SEPLAN. Natal, 88 p.
- CHRISTOFOLETTI, A. - Geomorfologia. 2ª Edição. Editora Blucher/EDUSP. São Paulo, 180 p.
- HERAS, R. - Manual de hidrologia - La erosion y la sedimentacion y tecnicas específicas em hidrologia. Centro de Estudios Hidrográficos y Direccion General de Obras Hidráulicas. Publicacion, nº 88. Madrid, dezembro de 1972. 460 p.
- HORTON, R.E. - Erosional development of streams and their drainage basin: hydrophysical approach to quantitative morphology. Geol. Soc. America Bulletin. nº 56(3), 1945. 275-370 p.
- STRAHLER, A.N. - Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography Geol. Soc. America Bulletin, nº 63, 1952. 1117-1142 p.

Tabela 1. Resumo dos dados areais e lineares

BACIA E SUB-BACIAS	ÍNDICE DE FORMA (Ik)	RELAÇÃO DE RELEVO (Rr)	GRADIENTE DOS CANAIS (G)	COMPRIMENTO DO RIO /ÁREA (km ² -1)	DENSIDADE DE DRENAGEM (km/km ²) (Dd)	ÍNDICE DE RUGOSIDADE DE (Ir)	DENSIDADE DE HIDROGRÁFICA CANAIS/km ² (Dh)	FREQUÊNCIA DE SEGMENTOS (CANAIS) (Km ²) (Fs)	EXTENSÃO DO PERCURSO SUPERFICIAL (Km)	COEFICIENTE DE MANUTENÇÃO (m ² /m) (Gmr)
BEBEDOURO	1,50	0,043	2,49	9,08	1,37	0,45	1,19	1,79	0,36	730,46
CANINDEZINHO	1,33	0,036	2,05	6,89	1,68	0,52	1,02	1,65	0,30	596,66
PADRE COSME	1,62	0,019	1,10	13,88	1,68	0,64	1,47	1,89	0,30	594,53
POÇO DE VARA	1,28	0,036	2,05	8,55	1,32	0,38	0,77	0,90	0,38	758,15
BOM SERÁ	1,41	0,025	1,41	13,43	1,00	0,40	0,67	0,88	0,50	998,00
BONITO	1,42	0,019	1,09	21,18	1,27	0,50	0,81	1,15	0,39	788,02
SANHARÃO	1,51	0,017	0,96	27,26	1,22	0,49	0,89	1,19	0,41	817,66
CASTELO/JATOBÁ	1,33	0,024	1,36	30,37	1,26	0,67	0,88	1,22	0,40	791,77
BACIA DO ENCANTO	1,47	0,009	0,54	78,51	1,29	0,85	0,95	1,30	0,39	775,79

Tabela 02. Dados hipsométricos obtidos para a bacia hidrográfica do Encanto e suas sub-bacias

BACIA E SUB-BACIAS	ÁREA (km ²) (A)	AMPLITUDE ALTIMÉTRICA (m) (H)	INTEGRAL HIPOMETRICA CA. (J)	ALTURA MÉDIA (m) (hm)	COEFICIENTE DE MASSIVIDADE. (Cms)	COEFICIENTE DE OROGRAFICO. (Cog)	ESTÁGIO DE EVOLUÇÃO DO RELEVO
BEBEDOURO	20,1	330	0,684	225,7	0,684	154,38	INEQUILÍBRIO
CANINDEZINHO	12,7	313	0,576	180,3	0,576	103,85	EQUILÍBRIO À INEQUILÍBRIO
PADRE COSME	40,8	381	0,449	171,1	0,449	76,82	EQUILÍBRIO
POÇO DE VARA	18,2	290	0,570	165,3	0,570	94,22	EQUILÍBRIO À INEQUILÍBRIO
BOM SERÁ	38,6	298	0,416	165,6	0,416	68,89	EQUILÍBRIO
BONITO	82,5	394	0,625	246,3	0,625	153,94	INEQUILÍBRIO
SANHARÃO	125,6	398	0,262	104,3	0,262	27,33	MONADNOCK
CASTELO/JATOBÁ	150,4	529	0,695	367,7	0,695	265,55	INEQUILÍBRIO
BACIA DO ENCANTO	732,3	658	0,503	331,0	0,503	166,49	EQUILÍBRIO

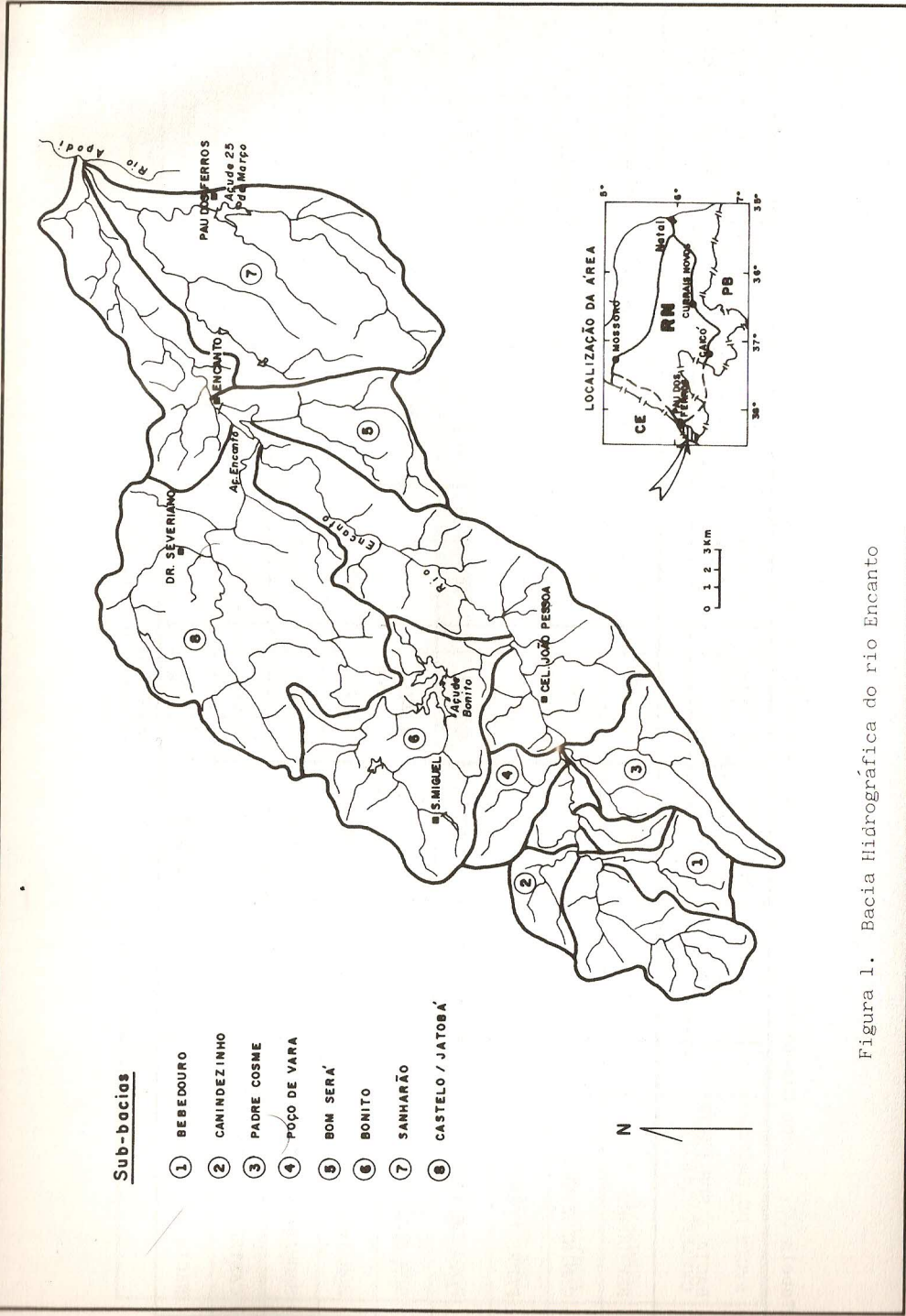


Figura 1. Bacia Hidrográfica do rio Encanto

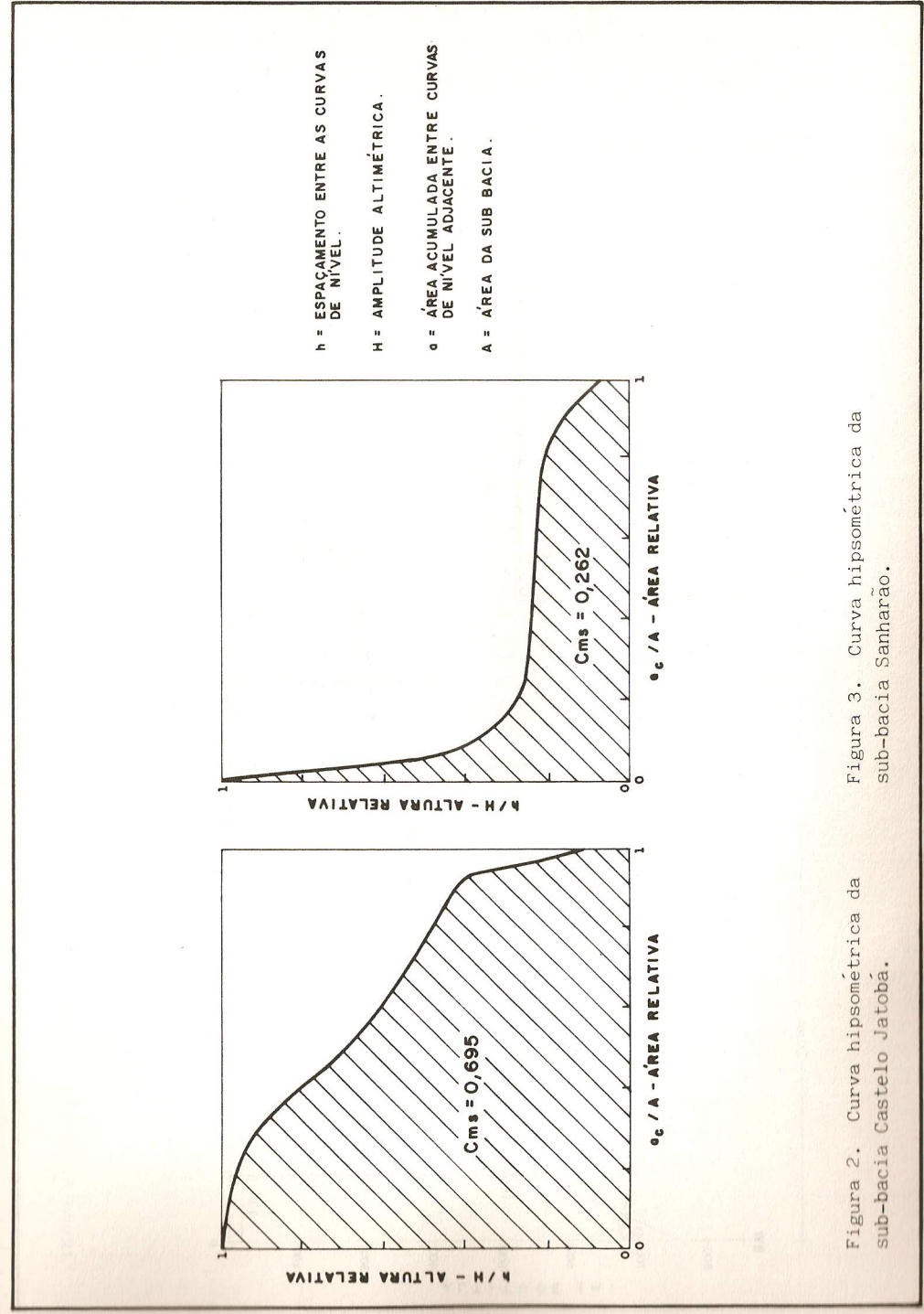


Figura 2. Curva hipsométrica da sub-bacia Castelo Jatobá.

Figura 3. Curva hipsométrica da sub-bacia Sanharão.

ABSTRACT - - In order to select hydrographic sub-basins and segments of Encanto river as appropriate sites for the setting up of dams that favour aquifer and soil formations, a morphometric analysis of the basin has been made, taking into account its linear, areal and hypsometric features. The results of this analysis, along with surface flow estimates, structural and geological survey and general field observations about of hydrological factors allowed the definition of useful informations.

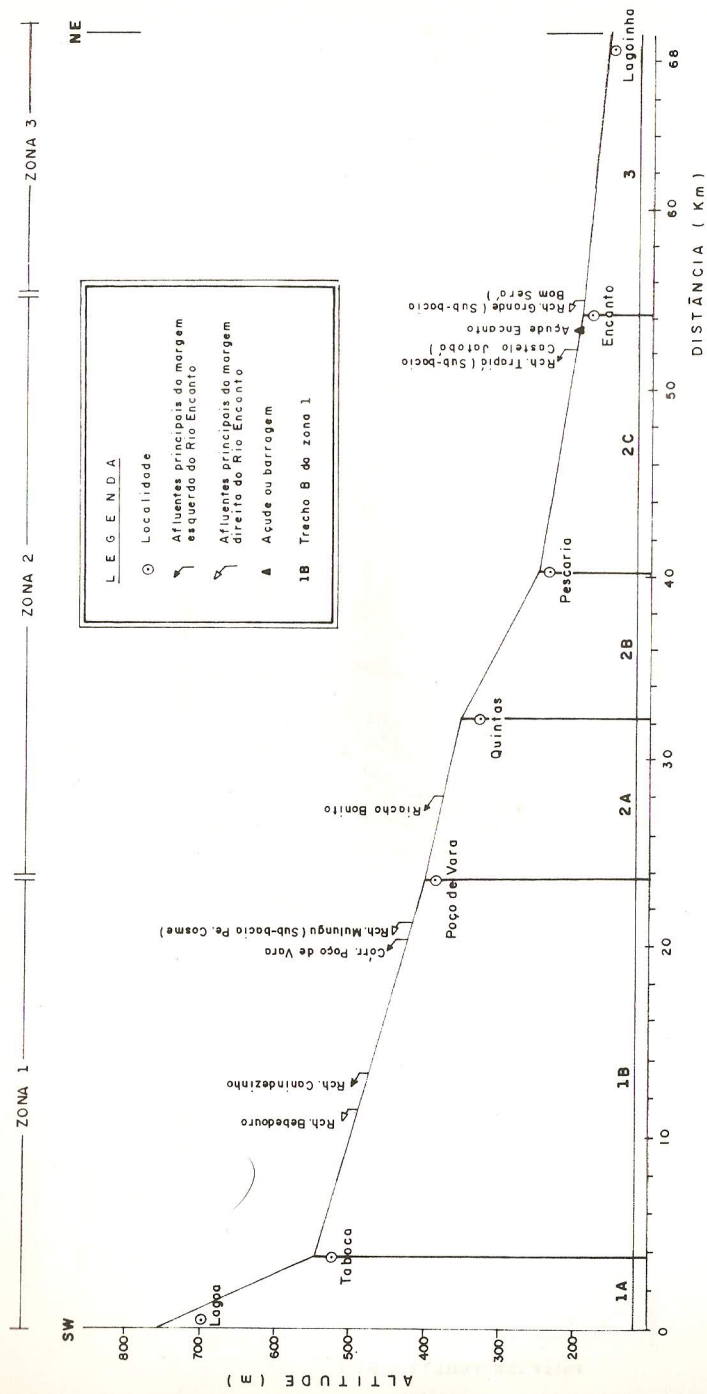


Figura 4. Perfil longitudinal do rio Encanto.