

ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA DE RESERVATÓRIOS DO DNOCS NO ESTADO DO CEARÁ

Adbeel Goes Filho¹

RESUMO - Neste trabalho foram coletados dados de 35 reservatórios construídos pelo DNOCS no Estado do Ceará e realizadas as classificações de suas formas conforme curvas hipsométricas cota vs. área e critérios propostos por Håkanson (1981), bem como cota vs. volume conforme Campos (2006). Os reservatórios foram selecionados com uso de ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Um ambiente computacional foi desenvolvido com o objetivo de automatizar os cálculos e flexibilizar simulações quanto ao número de registros de cota vs. área vs. volume (CAV) e outros parâmetros específicos de cada reservatório, proporcionando um cenário completo e agradável para os estudos.

ABSTRACT - This study gathered data from 35 reservoirs built by the DNOCS in the state of Ceará and made the classification of its forms as curves hipsometrics stage-area and criteria proposed by Håkanson (1981), as well as stage-storage as Campos (2006). The reservoirs were selected by Geographic Informations Systems (GIS) tools. A computacional environment was developed with the objective to automate the calculations and simulations flexible about the number of records of stage-area-storage (SAS) and other specific parameters of each reservoir, providing a complete scenario and enjoyable for the studies.

Palavras-chave: Reservatórios, morfologia, morfometria.

¹Professor da Universidade de Fortaleza, Av. Washington Soares, 1321, CCT. Fortaleza-CE, 60.811-905 – Fone (85) 3477-3161. Funcionário do DNOCS. Av. Duque de Caxias, 1700. Fortaleza-CE. Fone (85)3288-5170. Doutorando em Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará. E-mail: adbeel@unifor.br; adbeel.goes@dnocs.gov.br

INTRODUÇÃO

Neste trabalho foram coletados dados de 35 reservatórios construídos pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) no Estado do Ceará, e realizado um estudo de classificação de suas formas conforme curvas hipsométricas cota vs. área e critérios propostos por Håkanson (1981), bem como cota vs. volume conforme Campos (2006). Devido a intensa computação de dados necessária para classificar os reservatórios, e analisar com mais profundidade as informações obtidas, um *software* foi desenvolvido com o objetivo de facilitar os cálculos e flexibilizar simulações, disponibilizando um ambiente computacional simples e agradável para processamento e análise dos resultados.

Os dados dos reservatórios foram obtidos diretamente dos arquivos do DNOCS e georeferenciados no ponto correspondente à parede da barragem. Para classificá-los, automatizamos os procedimentos na ferramenta computacional proposta por Goes (2008), módulo de simulação denominado Hidros, desenvolvido especificamente para este estudo. O *software* computacional foi implementado com a linguagem de programação Java e executado no sistema operacional GNU/Linux, mostrando extrema estabilidade e qualidade para trabalhos dessa natureza.

METODOLOGIA

Morfologia é o estudo das formas dos reservatórios e seus elementos, já a morfometria é a quantificação e a medida destas formas e seus elementos de acordo com Håkanson (1981).

Um dos objetivos do estudo da morfometria em reservatórios diz respeito a avaliação e construção de mapas batimétricos. O estudo temporal da morfometria leva-nos a avaliação dinâmica da área do espelho d'água e do volume, informações valiosas para estabelecer procedimentos qualitativos, mais adequados a realidade e considerados para operações e simulações de reservatórios.

Para o desenvolvimento deste trabalho selecionamos 35 reservatórios no Estado do Ceará em municípios distribuídos aleatoriamente e sem repetição, sendo os reservatórios georeferenciados no ponto correspondente à parede da barragem com o apoio de técnicas e ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Os dados dos reservatórios obtidos do DNOCS (Tabela 1) estão armazenados na relação cota (m) vs. área (m²) vs. volume (m³), sendo que um pré-processamento foi realizado para fazer ajustes de natureza numérica e corrigir algumas inconsistências nos dados

CAV e das coordenadas geográficas armazenadas, transformadas para o sistema UTM/SAD-69.

Tabela 1 - Reservatórios selecionados

ID	Reservatório	Município	UF	Cota Min. (m)	Cota Max (m)	Volume útil (m³)	X (UTM)	Y (UTM)
1	Orós	Orós	CE	160,00	199,50	1.936.719.500,00	508313	9310493
3	Pentecoste	Pentecoste	CE	39,00	58,00	395.638.000,00	470797	9580258
5	Cedro	Quixadá	CE	100,00	114,50	126.449.000,00	493311	9449300
6	Favelas	Tauá	CE	420,00	436,00	30.100.000,00	375674	9338472
7	Frios	Umirim	CE	33,00	50,00	33.025.493,00	468191	9592748
8	General Sampaio	General Sampaio	CE	92,00	124,50	322.109.345,00	449582	9551070
11	Patu	Senador Pompeu	CE	100,00	130,00	71.829.000,00	455256	9383037
13	Serrote	Santa Quitéria	CE	175,00	201,00	254.634.401,00	379838	9537050
15	Banabuiú	Banabuiú	CE	89,00	142,50	1.601.000.000,00	508724	9411109
17	Araras	Reriutaba	CE	120,00	153,00	891.111.000,00	339071	9534638
35	Castanhão	Alto Santo	CE	40,00	106,00	6.700.000.256,00	560587	9393231
121	Jenipapeiro	Dep. Irapuan Pinheiro	CE	84,00	98,50	17.000.000,00	472685	9357523
150	Atalho	Brejo Santo	CE	391,00	425,00	108.250.000,00	511659	9155208
311	Forquilha	Acaraú	CE	98,00	112,00	50.132.000,00	360519	9580247
313	Gomes	Mauriti	CE	401,00	425,00	2.350.000,00	529600	9173055
314	Ayres de Sousa (Jaibas)	Sobral	CE	74,00	95,00	104.430.000,00	333157	9580522
318	Poço da Pedra	Campos Sales	CE	520,00	542,00	52.000.000,00	350249	9228023
321	Prazeres	Barro	CE	52,17	98,00	32.500.000,00	534407	9213268
322	Premuoca	Uruoca	CE	77,00	88,00	5.202.000,00	327377	9632774
323	Quinquê	Acopiara	CE	82,00	95,00	7.134.904,00	449839	9327420
325	Quixeramobim	Quixeramobim	CE	88,00	102,00	54.000.000,00	299706	9418242
327	Realejo	Crateús	CE	309,00	327,00	31.551.000,00	299706	9418242
328	Riachão	Pacatuba	CE	102,00	112,00	6.500.000,00	553073	9557737
330	Riacho do Sangue	Solonópole	CE	100,00	118,00	61.424.100,00	505400	9370729
331	Salão	Canindé	CE	84,00	95,00	5.995.000,00	465443	9513061
334	Sto. Antônio de Russas	Russas	CE	99,40	109,29	24.000.000,00	592374	9463495
336	São Gabriel	Irauçuba	CE	86,30	95,00	4.565.000,00	404331,3	9570164,4
339	São Pedro da Timbaúba	Miraima	CE	90,00	99,00	19.259.000,00	391634	9605201
342	Serafim Dias	Mombaça	CE	235,80	254,50	43.000.000,00	428462	9366298
346	Trussu	Iguatu	CE	225,00	254,00	301.318.000,00	452102	9302815
347	Tucunduba	Senador Sá	CE	98,00	109,00	41.436.000,00	338937	9648337
348	Umari	Crato	CE	416,00	441,00	28.787.200,00	446345	9216730
349	Várzea da Volta	Moraújo	CE	98,00	108,00	12.500.000,00	321602	9613026
367	Ema	Iracema	CE	10,00	23,50	10.399.840,00	572335	9361071
368	Joaquim Távora (Feiticeiro)	Jaguaribe	CE	102,00	114,45	26.772.800,00	521161,3	9343624,4
Total				35				

A partir da obtenção e georeferenciamento dos registros dos reservatórios constantes na Tabela 1, empreendemos procedimentos computacionais para realizar o estudo morfológico de classificação, segundo o disposto na Figura 1.

Ainda de acordo com Håkanson (1981), podemos classificar os reservatórios em: Muito Convexo (MC), Convexo (CV), Ligeiramente Convexo (LC), Linear (LI) e Côncavo (CO). Reservatórios fictícios foram criados para o enquadramento nas classes propostas e assim servir de base para a classificação dos reservatórios selecionados. As formas propostas estão dispostas na Figura 2.

Para facilitar os procedimentos computacionais foi criada uma tabela de referência onde as classes variam com determinados intervalos (Tabela 2). Os planos de classificação baseados nos percentuais de áreas e volumes são mostrados conforme Tabela 2 e Tabela 3, respectivamente.

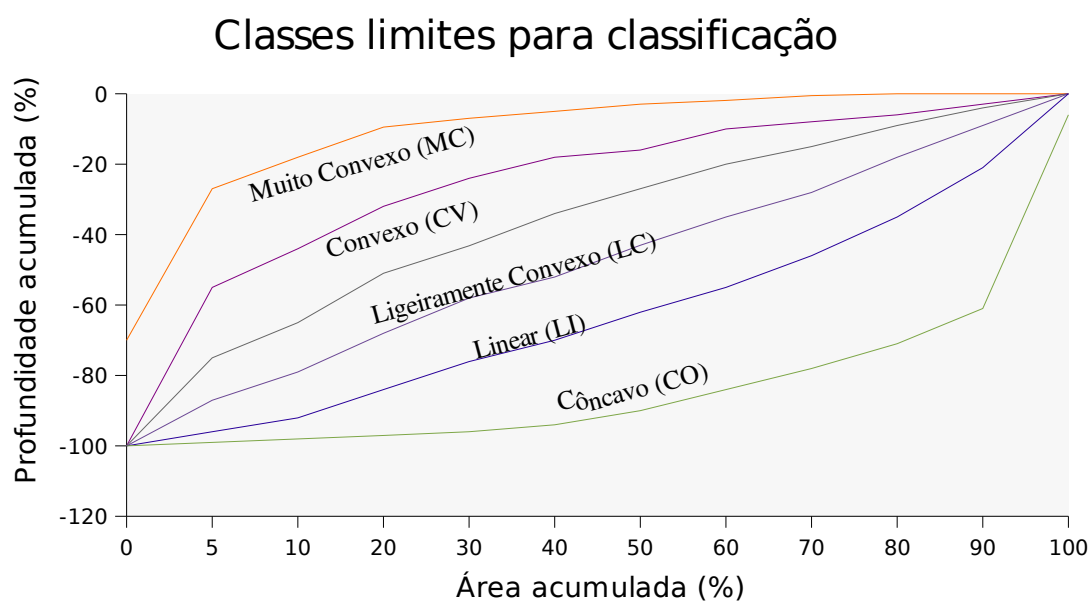


Figura 1 - Classes limites para classificação

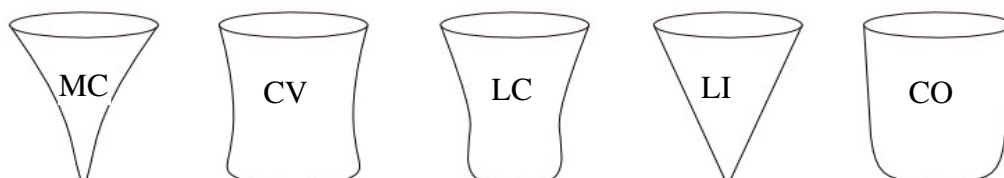


Figura 2 - Formas dos reservatórios

Tabela 2 - Intervalos de interesse das classes - plano área

	Muito Convexo		Convexo		Ligeiramente Convexo		Linear		Côncavo		Sem Forma		Sem Forma	
	MC		CV		LC		LI		CO		SDF		SF	
Área (%)	Profundidade (%)													
0	-70	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	0	-70
5	-27	-55	-55	-75	-75	-87	-87	-96	-96	-99	-99	-100	0	-27
10	-18	-44	-44	-65	-65	-79	-79	-92	-92	-98	-98	-100	0	-18
20	-9,5	-32	-32	-51	-51	-68	-68	-84	-84	-97	-97	-100	0	-9,5
30	-7	-24	-24	-43	-43,2	-58	-58	-76	-76	-96	-96	-100	0	-7
40	-5	-18	-18	-34	-34	-52	-52	-70	-70	-94	-94	-100	0	-5
50	-3	-16	-16	-27	-27	-43	-43	-62	-62	-90	-90	-100	0	-3
60	-1,9	-10	-10	-20	-20	-35	-35	-55	-55	-84	-84	-100	0	-1,9
70	-0,5	-8	-8	-15	-15	-28	-28	-46	-46	-78	-78	-100	0	-0,5
80	0	-6	-6	-9	-9	-18	-18	-35	-35	-71	-71	-100	0	0
90	0	-3	-3	-4	-4	-19	-9	-21	-21	-61	-61	-100	0	0
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-6	-6	-100	0	0

Para o plano de classificação por volume utilizamos a representação matricial proposta na Tabela 3 e exibido na Figura 3.

Tabela 3 - Intervalos de interesse das classes - plano volume

	Muito Convexo		Convexo		Ligeiramente Convexo		Linear		Côncavo		Sem Forma		Sem Forma	
	MC		CV		LC		LI		CO		SDF		SF	
Vol (%)	Profundidade (%)													
0	-80	-100	-99,8	-100	-99,8	-100	-99,8	-100	-99,8	-100	-99,8	-100	0	-80
5	-46	-52	-52	-63	-63	-71	-71	-78	-78	-88	-88	-100	0	-46
10	-35	-42	-42	-53	-53	-61	-61	-70	-70	-81	-81	-100	0	-35
20	-23	-33	-33	-41	-41	-50	-50	-59	-59	-71	-71	-100	0	-23
30	-16	-26	-26	-35	-35	-42	-42	-51	-51	-62	-62	-100	0	-16
40	-12	-21	-21	-28	-28	-35	-35	-42	-42	-53	-53	-100	0	-12
50	-9	-18	-18	-23	-23	-29	-29	-35	-35	-44	-44	-100	0	-9
60	-6	-15	-15	-18	-18	-23	-23	-28	-28	-36	-36	-100	0	-6
70	-5	-11	-11	-15	-15	-18	-18	-23	-23	-28	-28	-100	0	-5
80	-3	-8	-8	-12	-12	-14	-14	-16	-16	-21	-21	-100	0	-3
90	-1	-3	-3	-5	-5	-8	-8	-12	-12	-14	-14	-100	0	-1
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-100	0	0

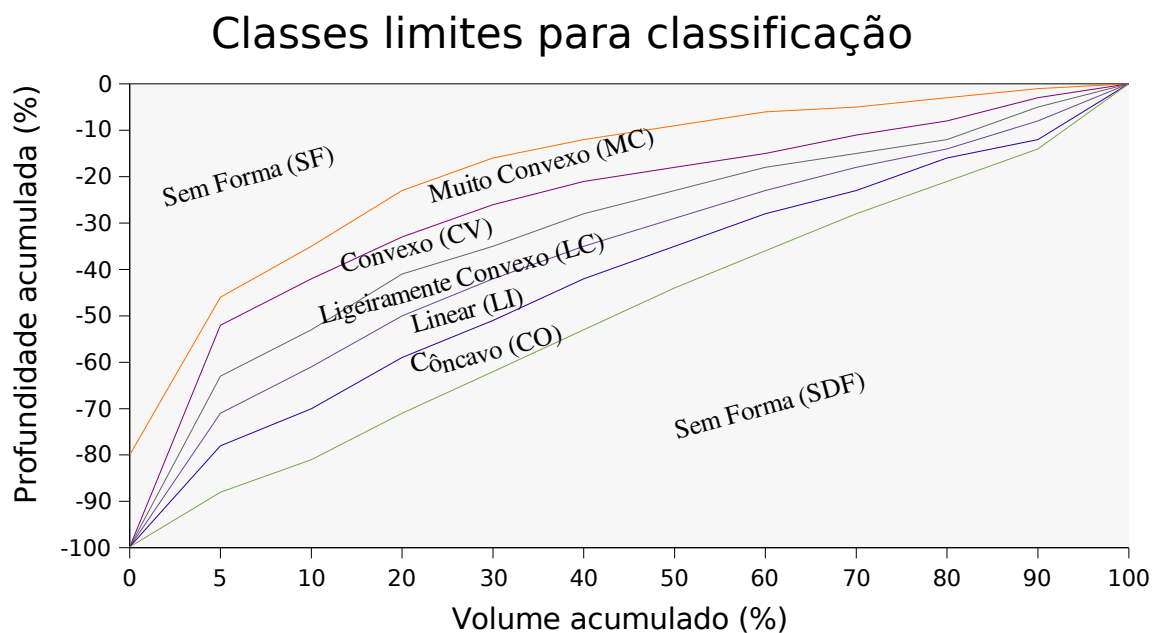


Figura 3 - Classes limites para classificação

Conforme Tsou e Whittemore (2001), a integração de modelos aos SIG's é classificada em dois tipos: integração por meio de uma transferência de dados entre o modelo e o SIG ou a integração das equações do modelo ao SIG. No primeiro tipo cria-se uma interface para conversão e transferência dos dados armazenados no SIG para os arquivos de entrada dos modelos. Processa-se o modelo e utiliza-se a interface para a transferência dos arquivos processados ao SIG, onde os resultados das simulações são apresentados (Figura 4). No segundo tipo os modelos são integrados ao SIG por meio de modificações no código fonte por meio de linguagem de macro. Isso nem sempre é possível devido ao fato dos SIG mais utilizados serem desenvolvidos no modelo de código fechado, permitindo uma mínima interferência. Neste trabalho optamos pela utilização de transferência de dados entre o modelo e o SIG.

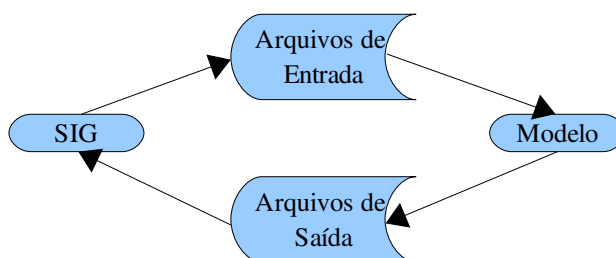


Figura 4 - Integração entre SIG e modelos

A classificação dos reservatórios foi realizada de acordo com as etapas: coleta e organização de dados, pré e pós-processamento, descritas a seguir:

- Coleta e organização de dados:

1. Obtenção dos dados dos reservatórios estudados e suas relações cota (m) vs. área (m²) vs. volume (m³);
2. Georeferenciamento dos reservatórios na parede da barragem, mostrados na Figura 5 e Figura 6.

- Pré-processamento:

1. Gravação de arquivo digital com os campos de CAV. Os dados de cota, área e volume são armazenados usando como separador de campo o caractere “;”, facilitando bastante operações paralelas com planilhas eletrônicas;
2. Escolha dos parâmetros para processamento: número de casas decimais, eliminação de inconsistências, geração de arquivo tipo texto;
3. Processamento dos reservatórios no *software* desenvolvido por Goes (2008) para obtenção da classificação. Os dados são avaliados para eliminação de inconsistências e obtenção dos limites mínimos e máximos das cotas, áreas e volumes. Em seguida cada reservatório é comparado com os reservatórios fictícios no plano de classificação escolhido, realizando consulta seletiva nos intervalos das classes apresentados na Tabela 2 ou Tabela 3;
4. Cálculo das frequências de classes dos reservatórios e escolha das mais significativas;
5. Análise dos resultados (Figura 11) e definição da forma do reservatório;

- Pós-processamento:

1. Obtenção dos resultados do pré-processamento;
2. Utilização de ferramentas SIG para definir a classificação dos reservatórios.

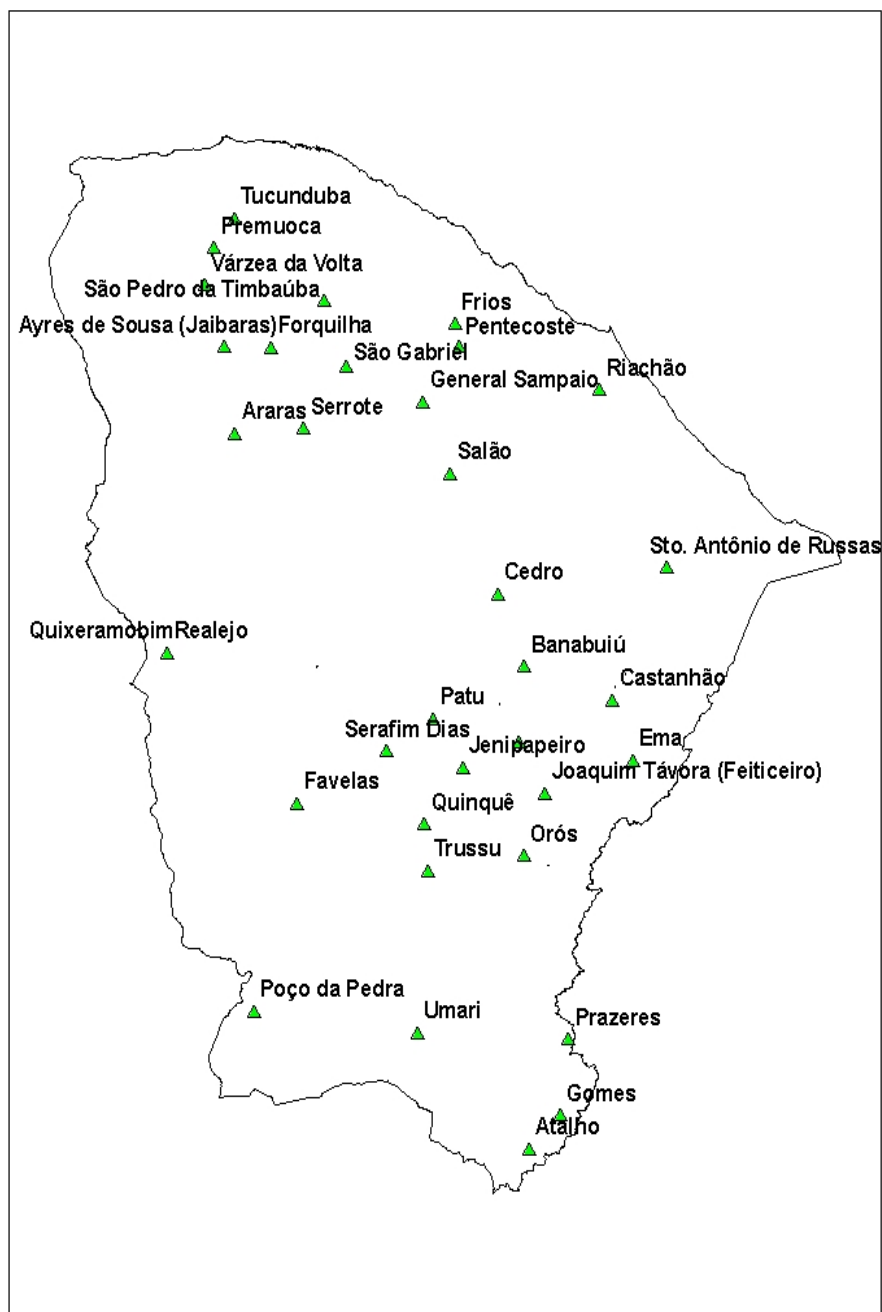


Figura 5 - Reservatórios selecionados no Estado do Ceará

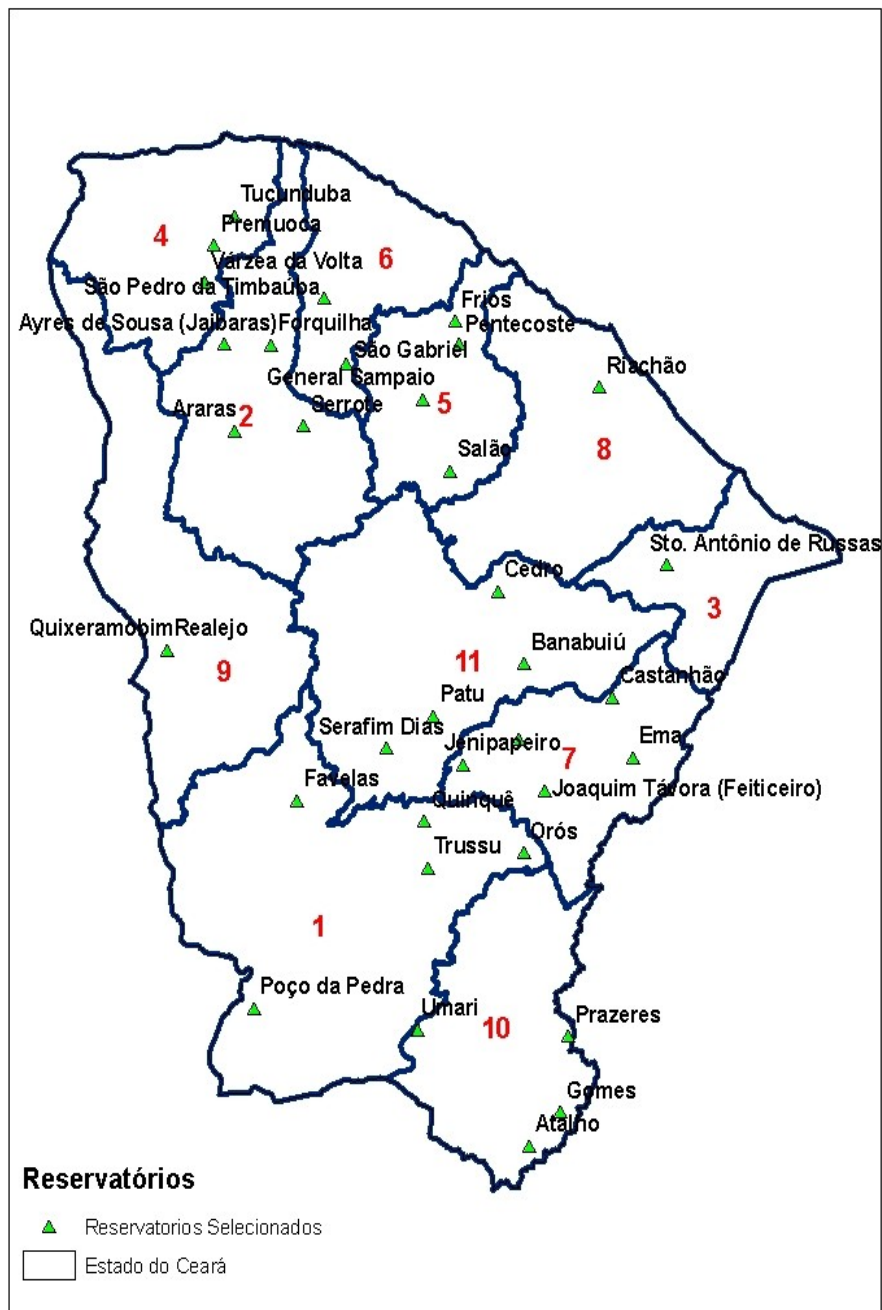


Figura 6 - Reservatórios selecionados nas bacias hidrográficas

RESULTADOS

Após o processamento dos dados a classificação apresentou os resultados descritos na e resumidos na Tabela 5.

Tabela 4 - Resultados das formas dos reservatórios

ID	Reservatório	Plano área	Plano volume	Registros CAV
1	Orós	Muito Convexo	Muito Convexo	43
3	Pentecoste	Muito Convexo	Muito Convexo	21
5	Cedro	Muito Convexo	Muito Convexo	17
6	Favelas	Sem Definição	Muito Convexo	9
7	Frios	Muito Convexo	Sem Definição	21
8	General Sampaio	Sem Definição	Linear	9
11	Patu	Muito Convexo	Linear	21
13	Serrote	Sem Definição	L. Convexo	7
15	Banabuiú	Sem Definição	L. Convexo	26
17	Araras	Muito Convexo	Muito Convexo	36
35	Castanhão	Muito Convexo	Muito Convexo	100
121	Jenipapeiro	Sem Definição	L. Convexo	5
150	Atalho	Muito Convexo	L. Convexo	8
311	Forquilha	Muito Convexo	Sem Definição	16
313	Gomes	Convexo	Convexo	7
314	Ayres de Sousa (Jaibaras)	Muito Convexo	Sem Definição	13
318	Poço da Pedra	Sem Definição	Linear	7
321	Prazeres	Muito Convexo	Convexo	11
322	Premuoca	Côncavo	Linear	13
323	Quinquê	Linear	L. Convexo	14
325	Quixeramobim	Muito Convexo	Muito Convexo	20
327	Realejo	Muito Convexo	L. Convexo	19
328	Riachão	Côncavo	L. Convexo	9
330	Riacho do Sangue	Muito Convexo	Linear	11
331	Salão	Muito Convexo	L. Convexo	14
334	Sto. Antônio de Russas	Muito Convexo	Linear	12
336	São Gabriel	Muito Convexo	Convexo	8
339	São Pedro da Timbaúba	Muito Convexo	Convexo	9
342	Serafim Dias	Muito Convexo	Convexo	10
346	Trussu	Convexo	L. Convexo	8
347	Tucunduba	Muito Convexo	Convexo	13
348	Umari	L. Convexo	Muito Convexo	8
349	Várzea da Volta	Muito Convexo	L. Convexo	12
367	Ema	Sem Definição	Sem Definição	16
368	Joaquim Távora (Feiticeiro)	Convexo	L. Convexo	9

Tabela 5 - Resultado final

Classe	Sigla	Plano área	Plano volume
Muito Convexo	MC	21	8
Convexo	CV	3	6
Ligeiramente convexo	LC	1	11
Linear	LI	1	6
Côncavo	CO	2	0
Sem denominação	SD	7	4
Total		35	35

Finalmente os reservatórios foram classificados tendo como referência as bacias hidrográficas respectivas, como mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 - Classificação por bacia hidrográfica

Bacia		Plano Área	Plano Volume	Reservatórios
1	Alto Jaguaribe	Sem Definição	Muito Convexo	5
2	Acaraú	Muito Convexo	Sem Definição	4
3	Baixo Jaguaribe	Muito Convexo	Linear	1
4	Coreaú	Muito Convexo	Convexo	3
5	Curú	Muito Convexo	L. Convexo	4
6	Litoral	Muito Convexo	Convexo	2
7	Médio Jaguaribe	Sem Definição	L. Convexo	5
8	Metropolitana	Côncavo	L. Convexo	1
9	Parnaíba	Muito Convexo	Convexo	2
10	Salgado	Muito Convexo	Convexo	4
11	Banabuiú	Muito Convexo	Convexo	4

CONCLUSÕES

Neste trabalho classificamos uma amostra de 35 reservatórios construídos pelo DNOCS no Estado do Ceará, de acordo com os critérios propostos por Håkanson (1981) e Campos (2006). Através do *software* SATIS (Anexo 1) proposto por Goes (2008), desenvolvido para este estudo, facilmente conseguimos modificar os planos de classificação e arquivos CAV dos reservatórios,

bem como outros parâmetros de análise, flexibilizando o ambiente para novas simulações. Os dados obtidos dos arquivos do DNOCS não sofreram alterações, exceto quanto a pequenos ajustes para a retirada de inconsistências numéricas e correções de falhas.

Observamos nos resultados apresentados na Tabela 5 que no plano área houve uma predominância da classe Muito Convexo (MC), enquanto no plano volume houve predominância da classe Ligeiramente Convexo (LV). Esperávamos resultados equivalentes para as classificações baseadas nos percentuais de áreas e volumes, mas isso provavelmente não ocorreu devido às poucas faixas existentes nos planos de classificação e registros CAV dos reservatórios. Mesmo assim, com os dados obtidos e analisados dos reservatórios escolhidos aleatoriamente em municípios distribuídos em todo o Estado, concluímos que o formato Muito Convexo (MC) prevalece na relação cota-área e Ligeiramente Convexo (LC) na relação cota-volume.

Ajustes podem ser realizados nos procedimentos para calibrar os planos de classificação e promover uma qualidade adicional dos dados analisados. Uma maior divisão das estruturas matriciais dos planos área e volume, bem como uma maior quantidade de registros de relações CAV dos reservatórios levariam também a cálculos mais precisos, e certamente obteríamos maior visibilidade das classificações. Um estudo mais aprofundado que considere todos os reservatórios do DNOCS no Estado do Ceará levariam a resultados mais realísticos sobre o cenário considerado.

Mesmo com pequena amostra de classificação, observamos a importância de ferramentas computacionais integradas para melhor avaliação dos estudos dessa natureza.

BIBLIOGRAFIA

CAMPOS, J. N. B. (2006). Hidrologia de Reservatórios: A Construção de uma Teoria. ASTEF/Expressão Gráfica e Editora Ltda, Fortaleza-CE, 286 p.

DNOCS (2008). “Sistema APOENA”. DNOCS, Fortaleza-CE.

GOES, A. (2008). “Sistema SATIS”. VIRTVS Engenharia e Informática Ltda. Fortaleza-CE.

HÅKANSON, L. (1981). A Manual of Lake Morphometry. Springer Verlag, New York, 78p.

TSOU, M. S.; WHITEMORE, D. O. (2001). “User interface for ground water modeling: ArcView Extension”. Journal of Hydrologic Engineering, v. 6, n. 3, pp. 251-257.

ANEXOS

1 . Sistema SATIS

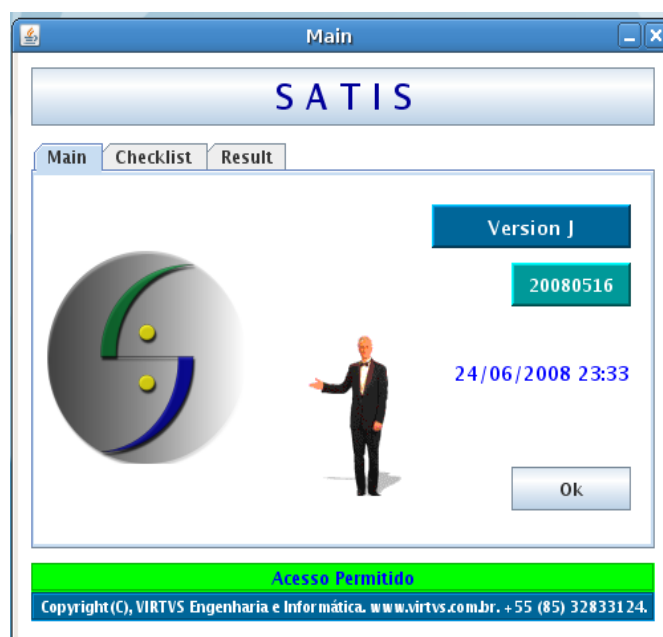


Figura 7 - SATIS - apresentação

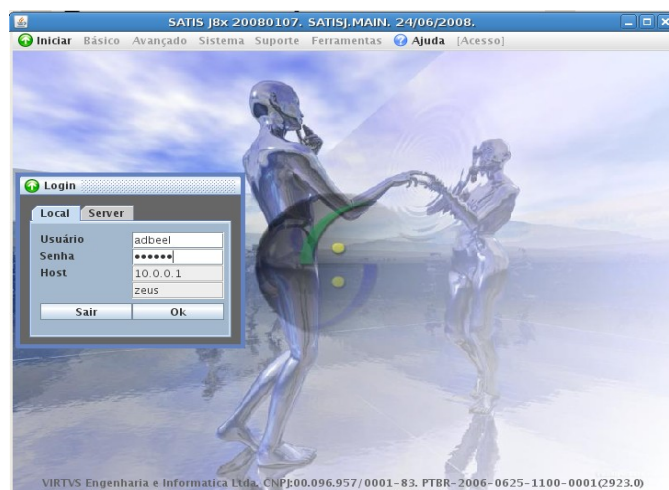


Figura 8 - SATIS - acesso

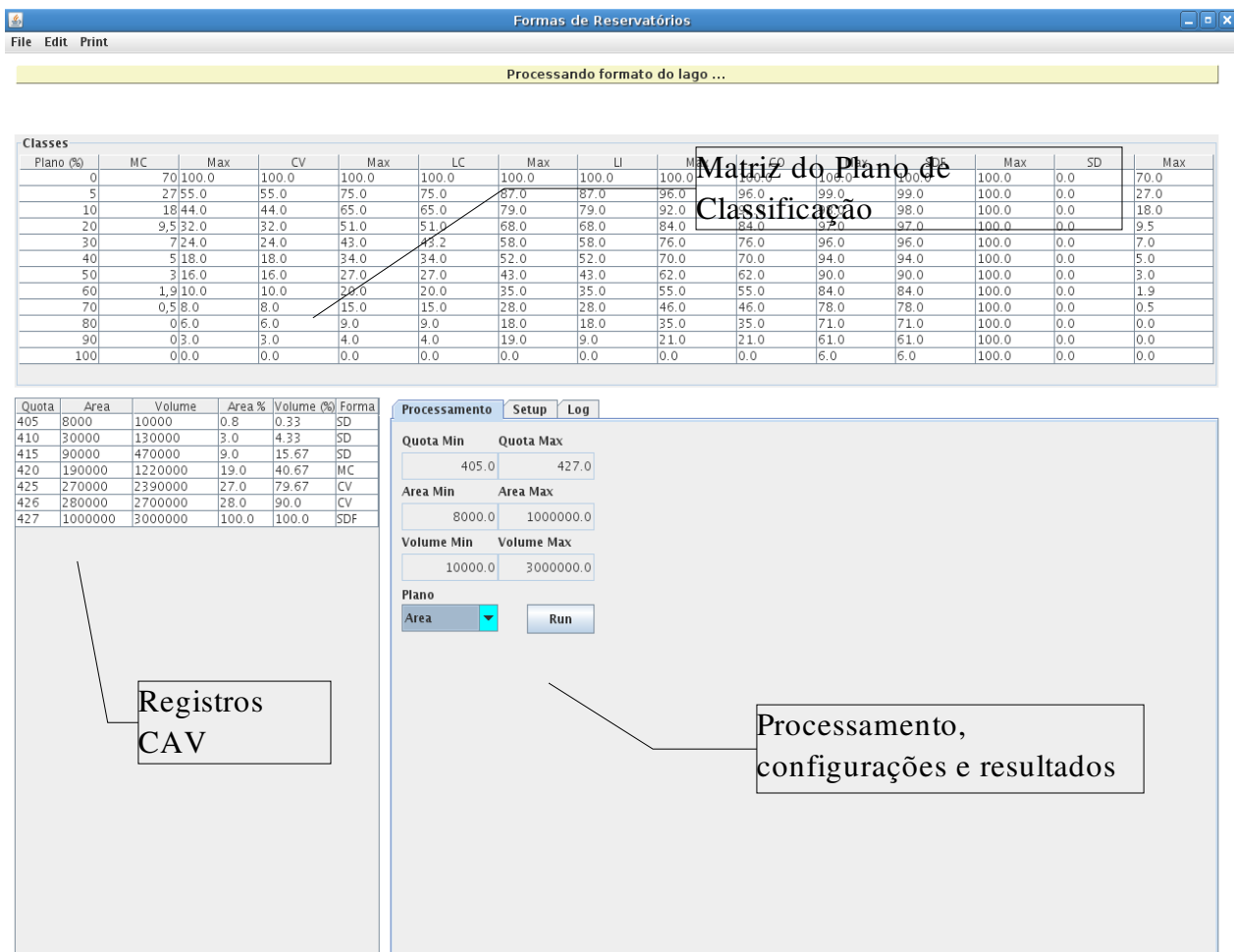


Figura 9 - SATIS – plano de classificação

Processamento		Setup	Log
Quota Min	Quota Max		
405.0	427.0		
Area Min	Area Max		
8000.0	1000000.0		
Volume Min	Volume Max		
10000.0	3000000.0		
Plano			
Area	▼	Run	

Figura 10 - SATIS - processamento

Processamento	Setup	Log
Arquivo = /home/satis/public_html/data/cav/313_gomes.csv		
Plano = Area		
Processando formato do lago ...		
1: Area = 0.8. Faixa (%) de interesse = 5.0 Classe: [0.0:27.0] => SD		
2: Area = 3.0. Faixa (%) de interesse = 5.0 Classe: [0.0:27.0] => SD		
3: Area = 9.0. Faixa (%) de interesse = 10.0 Classe: [0.0:18.0] => SD		
4: Area = 19.0. Faixa (%) de interesse = 20.0 Classe: [9.5:32.0] => MC		
5: Area = 27.0. Faixa (%) de interesse = 30.0 Classe: [24.0:43.0] => CV		
6: Area = 28.0. Faixa (%) de interesse = 30.0 Classe: [24.0:43.0] => CV		
7: Area = 100.0. Faixa (%) de interesse = 100.0		
*** Totais das Classes no Plano Area ***		
Muito Convexo (MC) = 1		
Convexo (CV) = 2		
Ligeiramente ConvexoC (LC) = 0		
Linear (LI) = 0		
Concavo (CO) = 0		
Sem Forma Inferior (SDF) = 1		
Sem Forma Superior (SD) = 3		

Figura 11 - SATIS - resultados