

COMPUTAÇÃO COMO FERRAMENTA AUXILIAR NO ESTUDO DA HIDRÁULICA DE CANAIS

Manoel Dênis Costa Ferreira – md.m@bol.com.br

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia Campus Universitário
– Lagoa Nova – CEP: 59072-970 – Natal – RN.

Ada C. Scudelari – ada@ct.ufrn.br

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Deptº de Engenharia Civil, Centro de
Tecnologia Campus Universitário – Lagoa Nova – CEP: 59072-970 – Natal – RN.

Resumo: *O estudo da Hidráulica de Canais faz parte dos currículos de engenharia, podendo ser vista como base para as disciplinas mais avançadas de projetos na área de estudo de fluidos. Daí a importância da sedimentação dos conceitos nele apresentados para os alunos de graduação. Muitas vezes este é assistido por ensaios de laboratório que permitem a visualização e assim melhor compreensão dos fenômenos estudados na mesma. Porém, verifica-se hoje em dia, o alto custo de implementação e/ou manutenção destes laboratórios. Com o desenvolvimento matemático/computacional hoje existente; muitos fenômenos antes somente visualizados em laboratório, já podem ser facilmente interpretados por estes modelos. Também cabe ressaltar que alguns fenômenos de difícil visualização em laboratórios são hoje facilmente estudados com o auxílio do computador. Exemplo disto é a visualização das variações nas propriedades geométricas e hidráulicas dos canais com seção qualquer. Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento e aplicação de um programa que determina os elementos geométricos em canais de seção quaisquer englobando estudo da variação destes elementos com a variação da altura da lâmina de líquido. Também sugere casos exemplos que permitam a sedimentação dos conceitos envolvidos.*

Palavras-chave: *Desenvolvimento de software, Hidráulica de canais, Propriedades geométricas.*

1. INTRODUÇÃO

O estudo da Hidráulica de Canais é parte integrante dos currículos nos cursos de engenharia, podendo ser vista como base para as disciplinas mais avançadas de projetos na área de estudo de fluidos. Daí a importância da sedimentação dos conceitos nele apresentados para os alunos de graduação. Muitas vezes este estudo é assistido por ensaios de laboratório que permitem a visualização e assim melhor compreensão dos fenômenos estudados na mesma. Porém, verifica-se hoje em dia, o alto custo de implementação e/ou manutenção destes laboratórios. Com o desenvolvimento matemático/computacional hoje existente; vários fenômenos antes somente visualizados em laboratório, já podem ser facilmente interpretados por estes modelos. Também cabe ressaltar que alguns fenômenos de difícil visualização em laboratórios são hoje facilmente estudados com o auxílio do computador. Exemplo disto é a visualização das variações nas propriedades geométricas e hidráulicas dos canais com seção qualquer.

Normalmente, este tópico quando abordado em sala de aula, não permite que o aluno desenvolva uma visão crítica dos efeitos ocasionados em função de variações na altura da lâmina de líquido e variações na geometria da seção do canal. Isto se deve a complexidade exigida para a determinação dos parâmetros geométricos (principalmente quando se está trabalhando com seções de canais irregulares) ou pela ausência de estruturas laboratoriais simplificadas que permitam a visualização do fenômeno.

Uma forma de dar ao aluno esta visão crítica é pela execução exaustiva de problemas que envolvam as variações anteriormente citadas, porém tal tarefa é altamente desestimulante.

Assim sendo, o presente trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento e aplicação de um programa para a determinação dos elementos geométricos em canais de seção quaisquer englobando estudo da variação destes elementos com a variação da altura da lâmina de líquido. Sugerindo também casos exemplos que permitam a sedimentação dos conceitos envolvidos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A determinação dos elementos geométricos em canais tais como: perímetro molhado, área molhada, raio hidráulico, profundidade hidráulica, fator de seção escoamento uniforme e fator de seção escoamento crítico; é empregada em inúmeros problemas de engenharia, dos quais podemos citar: projetos de canais de irrigação, canais de navegação, galerias pluviais, aquedutos, canais de esgotos, etc.

A obtenção destes elementos tem como base os princípios da hidráulica de condutos livres e da geometria plana.

Sendo a fundamentação teórica necessária ao seu entendimento dada como se segue, com base em AZEVEDO NETO et al (1998) e VEN TE CHOW (1973).

A) Conceitos preliminares

- Condutos livres (Canais) → São aqueles que apresentam a superfície livre do líquido em contato com a atmosfera ou ainda são aqueles que estão sujeitos a pressão atmosférica em pelo menos um ponto da sua seção de escoamento, são comumente chamados de canais.
- Canais prismáticos e não-prismáticos → O canal se diz prismático, quando possui constantes a declividade e a seção transversal ao longo de todo seu percurso. Quando isto não ocorre o canal é dito não-prismático.

B) Elementos geométricos

Seja um canal com forma de seção transversal qualquer, como mostrado na Figura 01.

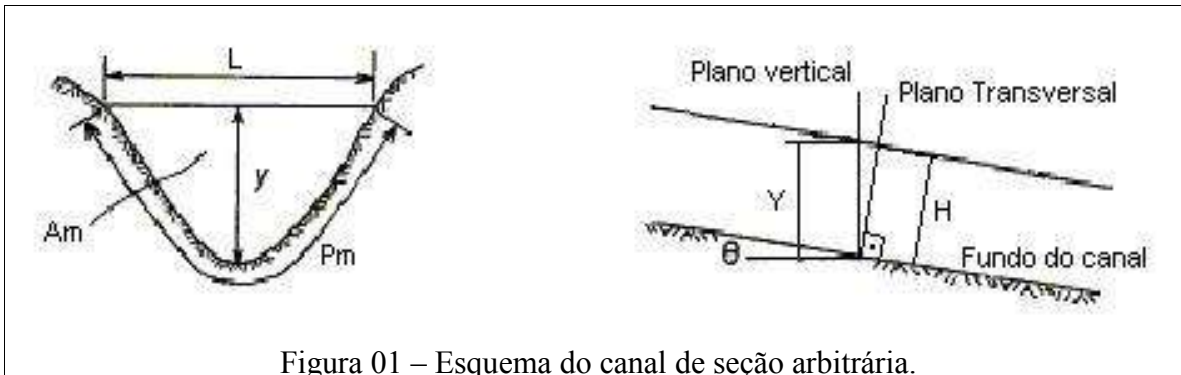


Figura 01 – Esquema do canal de seção arbitrária.

Conforme a Figura 01, os principais parâmetros geométricos são:

- Seção transversal → É o resultado da interseção de um plano perpendicular ao escoamento.
- Seção vertical → É o resultado da interseção de um plano vertical cujo ponto de contato com deslocamento é determinado pelo fundo do canal.
- Profundidade (Y) → É a distância tomada na seção vertical, que vai do fundo até a superfície livre do canal.
- Tirante (H) → É a distância tomada na seção transversal, que vai do fundo até a superfície livre do canal.
- Largura do canal (L) → Comprimento superior da seção transversal do canal.
- Perímetro molhado (Pm) → É o perímetro da seção transversal do canal em contato com as paredes do canal. A superfície livre não faz parte do perímetro molhado.
- Área molhada (Am) → Área da seção transversal do canal tomada até a superfície livre.

- Raio hidráulico (Rh) → É a relação entre a área molhada e o perímetro molhado,

$$Rh = \frac{Am}{Pm} .$$

- Profundidade hidráulica (D) → É a relação entre a área molhada e a largura do canal,

$$Ph = \frac{Am}{L} .$$

- Fator de seção escoamento crítico (Zc) → Produto da área molhada pela raiz quadrada da profundidade hidráulica,

$$Zc = Am \cdot \sqrt{D} = Am \sqrt{\frac{Am}{L}} .$$

- Fator de seção escoamento uniforme (Zu) → Produto da área molhada pela raiz cúbica do quadrado do raio hidráulico,

$$Zc = Am \cdot \sqrt[3]{Rh^2} = Am \cdot Rh^{\frac{2}{3}} .$$

Note que determinar os elementos geométricos dos canais depende basicamente das propriedades geométricas (área e perímetro) da seção transversal. No caso da seção transversal resultar em uma superfície planas regulares, estas propriedades se encontram tabeladas na bibliografia clássica, porém no caso de superfícies planas irregulares estas propriedades devem ser obtidas a partir de definições formais que envolvem operações de integração. Assim sendo, para as formas irregulares utilizou-se um método aproximado para obtenção destas propriedades, chamado método analítico, conhecido também como método da quadratura adaptativa (DOMINGUES, 1979).

3. DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA

Com o objetivo de automatizar os cálculos dos parâmetros anteriormente mencionados, foi desenvolvido um programa em linguagem Object Pascal através da ferramenta Delphi (CANTÚ, 1998). O que permitiu construir um software estruturado nos conceito de programação orientada a objetos, com interface bastante intuitiva e amigável (Figura 02).

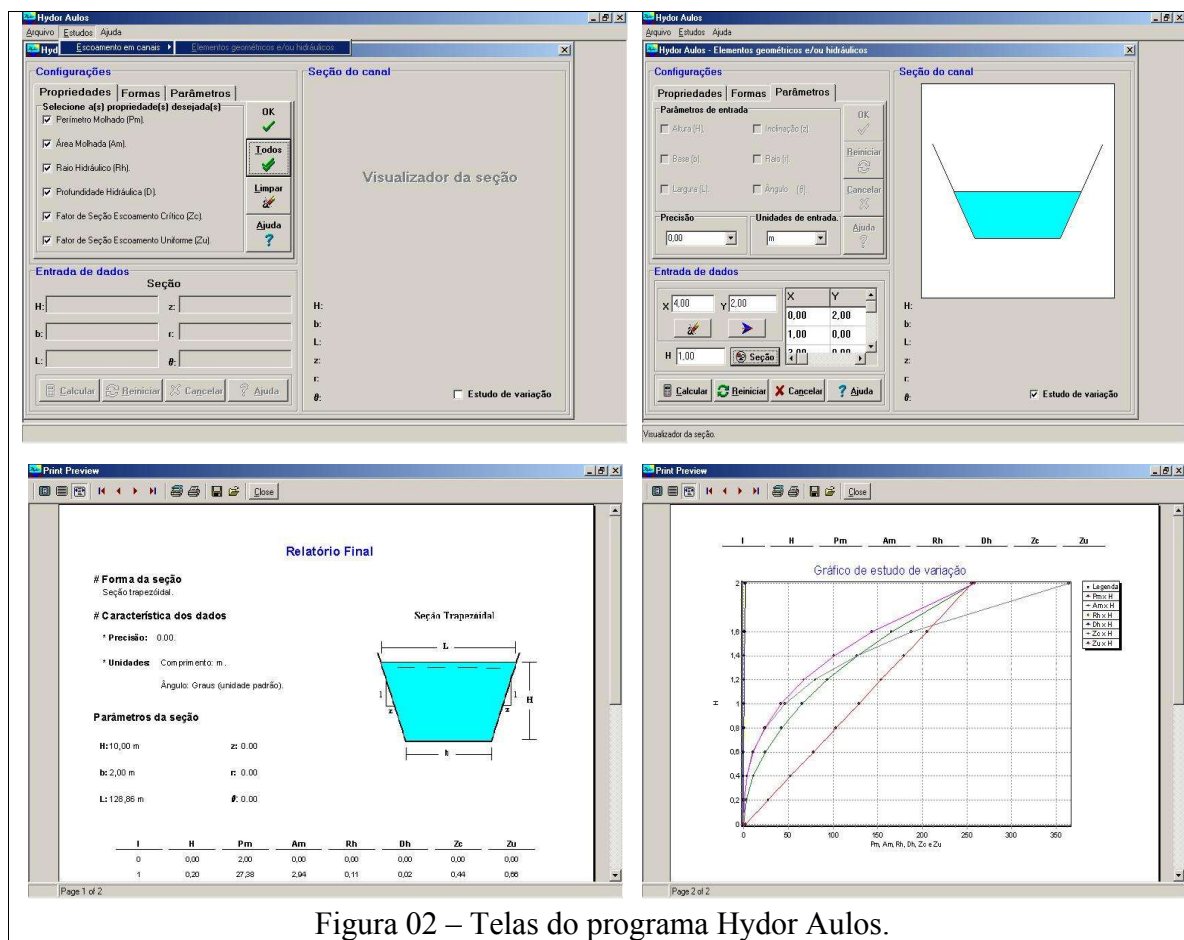


Figura 02 – Telas do programa Hydor Aulos.

Toda a entrada de dados no programa é realizada por janelas de diálogos e menus de fácil utilização e em alguns casos por leitura de arquivo de texto criado pelo usuário com formatação especificada no manual de utilização.

O programa permite a escolha por parte do usuário do sistema de unidades a ser utilizado na entrada e saída dos dados e a precisão dos cálculos.

No intuito de facilitar a delimitação da seção transversal do canal para a qual se deseja calcular a os elementos geométricos, o programa foi dividido em dois blocos: Seções regulares - Onde a descrição da seção do canal é feita com a entrada dos parâmetros geométricos da mesma (lado, base, altura, raio, diâmetro, diagonal, etc); Seções irregulares - A superfície é delimitada pela entrada das coordenadas de seus vértices.

Para o caso de seções regulares de canais o usuário pode optar por uma das seguintes formas de superfície: Retangular, Trapezoidal, Triangular, Circular, Parabólica, Retangular com bordos arredondados, Triangular com fundo arredondado. Assim a determinação de todos os elementos geométricos, (Perímetro molhado, Área molhada, Raio hidráulico, Profundidade hidráulica, Fator de seção escoamento crítico, Fator de seção escoamento uniforme), é realizada utilizando-se das equações formais de cálculo destes parâmetros.

Já no caso de superfícies irregulares, optou-se por fazer sua delimitação por meio de segmentos de reta. Com isto os elementos geométricos anteriormente citados foram calculados utilizando-se os seguintes conceitos: Perímetro molhado – Somatório das distâncias dos seguimentos de reta que compõe o perímetro molhado; Área molhada - Método da quadratura adaptativa, no qual a área é calculada através das coordenadas do vértice da seção; os demais elementos geométricos dos canais são calculados pelas relações destes dois elementos citados acima, como mostrado no item (2 – Fundamentação teórica) sub item (B – Elementos geométricos).

O software permite que o usuário faça variações na altura da lâmina de líquido, proporcionando com isto a possibilidade de se verificar o comportamento destes elementos geométricos com a variação da lâmina de líquido.

Feitos os cálculos o programa apresenta seus resultados na tela do computador sob de relatório; onde são mostrados os dados de entrada, representação gráfica da seção do canal, resultados e o gráfico de comportamento (no caso de estudo de variação da lâmina de líquido). Estes relatórios podem ser salvos, visualizados e analisados posteriormente em um visualizador no próprio programa.

4. CASOS EXEMPLOS

Com o objetivo de direcionar os estudos de modo que os alunos possam desenvolver uma visão crítica sobre o assunto, foram criados alguns casos exemplos, nos quais se faz variações na geometria da seção dos canais e na altura da lâmina de líquido.

Caso 01: Cálculo dos elementos geométricos de um canal com forma da seção trapezoidal, base 2 m, altura da lâmina de líquido 1 m e inclinação dos taludes 1/z: 1/1.

Dados de Entrada:

Propriedades: Todas;
Forma da seção: Trapezoidal;
Base: 2 m;
Altura da lâmina de líquido: 1m;
Inclinação do talude (z): 1;
Precisão: 0,00;
Unidade: m.

Resultados:

Perímetro molhado (Pm): 4,83 m;
Área molhada (Am): 3,00 m²;
Raio hidráulico (Rh): 0,62 m;
Profundidade hidráulica (Dh): 0,75 m;
Fator de seção escoamento crítico (Zc): 2,70;
Fator de seção escoamento uniforme (Zu): 2,18;

Caso 02: Estudo do comportamento dos elementos geométricos do canal da questão anterior com a variação da altura da lâmina de líquido. (canal com forma da seção trapezoidal, base 2 m, altura da lâmina de líquido 1 m e inclinação dos taludes 1/z: 1/1).

Obs.: Para este exemplo utilizar número de interações igual a 10.

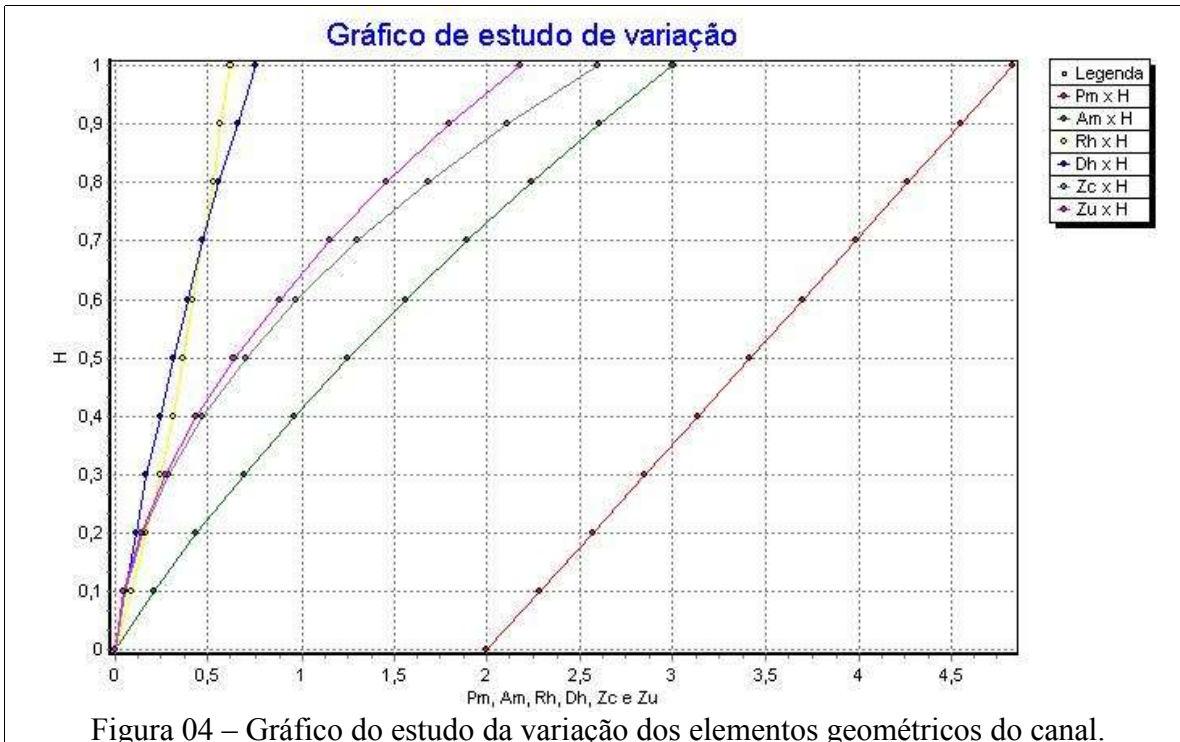
Dados de Entrada:

Propriedades: Todas;
Forma da seção: Trapezoidal;
Base: 2 m;
Altura da lâmina de líquido: 1m;
Inclinação do talude (z): 1;
Precisão: 0,00;
Unidade: m;
Nº de interações: 10.

Resultados:

I	H	Pm	Am	Rh	Dh	Zc	Zu
0	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,10	2,28	0,21	0,09	0,05	0,05	0,04
2	0,20	2,57	0,44	0,17	0,11	0,15	0,14
3	0,30	2,85	0,69	0,24	0,17	0,29	0,27
4	0,40	3,13	0,96	0,31	0,24	0,47	0,44
5	0,50	3,41	1,25	0,37	0,31	0,70	0,64
6	0,60	3,70	1,56	0,42	0,39	0,97	0,88
7	0,70	3,98	1,89	0,47	0,47	1,30	1,15
8	0,80	4,26	2,24	0,53	0,56	1,68	1,46
9	0,90	4,55	2,61	0,57	0,65	2,11	1,80
10	1,00	4,83	3,00	0,62	0,75	2,60	2,18

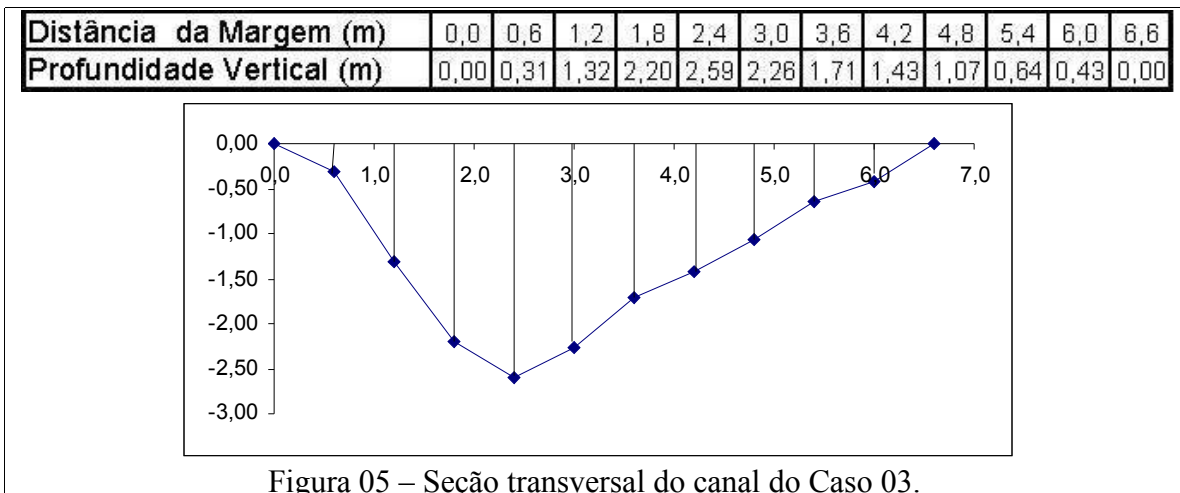
Figura 03 - Tabela de resultados Caso 02.



Nota: Tanto a tabela quanto o gráfico de variação foram geradas pelo próprio programa.

Caso 03: Estudo do comportamento dos elementos geométricos de um canal com seção transversal irregular descrito pelos pontos da tabela da Figura 05.

Obs.: Para este exemplo utilizar número de interações igual a 10.



Dados de entrada:

Propriedades: Todas;

Forma da seção: Irregular, (neste caso entra-se com os pontos para delimitar a seção);

Altura Max da lâmina de líquido: 2m;

Precisão: 0,00;

Unidade: m;
 N° de interações: 10.

Resultados:

I	H	Pm	Am	Rh	Dh	Zc	Zu
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,20	0,78	0,07	0,09	0,10	0,02	0,01
2	0,40	1,52	0,27	0,18	0,21	0,12	0,08
3	0,60	2,05	0,56	0,27	0,34	0,33	0,23
4	0,80	2,59	0,92	0,36	0,46	0,63	0,46
5	1,00	3,24	1,36	0,42	0,55	1,01	0,77
6	1,20	3,93	1,91	0,49	0,63	1,52	1,18
7	1,40	4,56	2,56	0,56	0,74	2,20	1,75
8	1,60	5,16	3,30	0,64	0,85	3,04	2,45
9	1,80	5,74	4,13	0,72	0,96	4,04	3,31
10	2,00	6,38	5,03	0,79	1,05	5,16	4,29

Figura 06 - Tabela de resultados Caso 03.

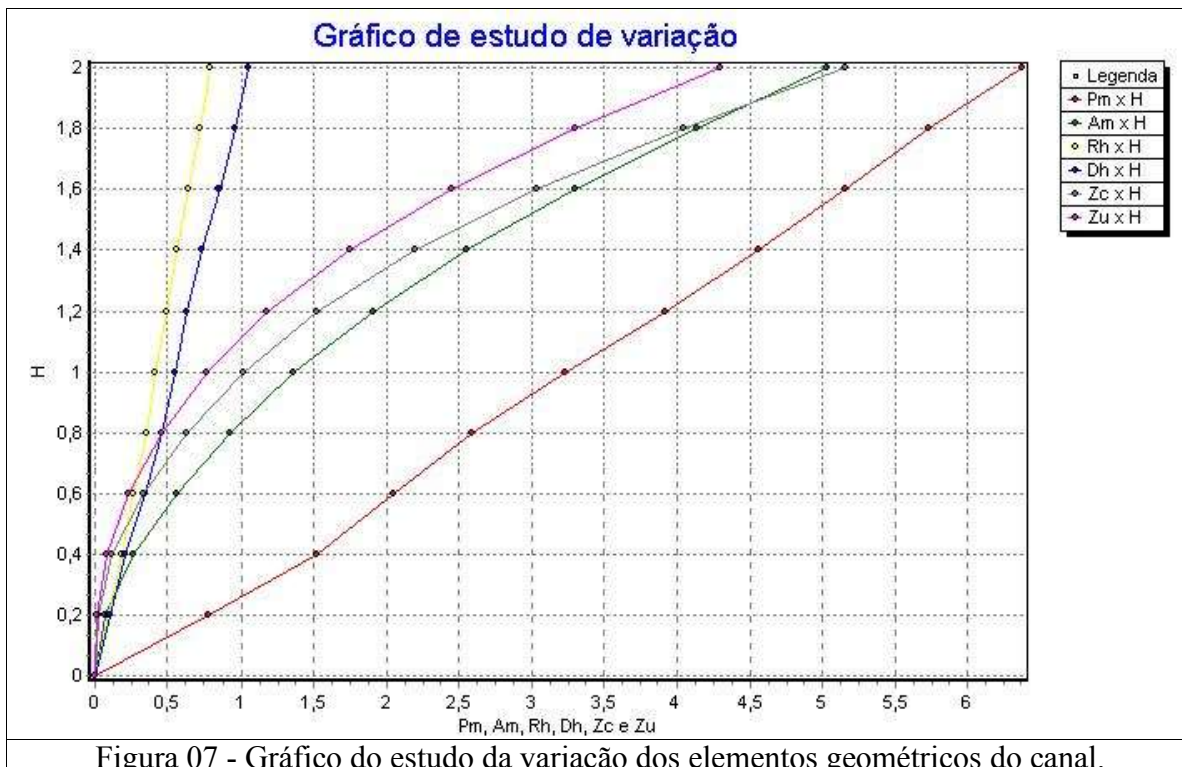


Figura 07 - Gráfico do estudo da variação dos elementos geométricos do canal.

5. CONCLUSÃO

O programa aqui desenvolvido apresenta-se como uma ferramenta computacional bastante eficiente no auxílio do estudo da Hidráulica de canais.

A interface amigável oferecida pelo programa, bem como a rapidez na execução dos cálculos, permitem ao aluno-usuário analisar de forma crítica o comportamento dos elementos geométricos de canais com seção qualquer mediante variações na altura da lâmina de líquido e forma.

Do ponto de vista didático-pedagógico o programa vem apresentando bons resultados quando de sua utilização pelos alunos da graduação em Engenharia Civil.

Além de se observar um ganho significativo de interesse dos alunos sobre o tema, também se nota reflexos nas avaliações, onde ocorreu um considerável aumento no índice de acertos nas questões relativas ao assunto.

Outro fato positivo a ser observado é o do programa ter sido desenvolvido por alunos de graduação do curso de Engenharia Civil da UFRN. Isto tem estimulado outros alunos a procurarem este tipo de atividade junto aos professores do curso.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CANTÚ, M. **Dominando Delphi 4**. São Paulo: Makron Books, 1998.

DOMINGUES, F.A.A. **Topografia e Astronomia de Posição: para Engenheiros e Arquitetos**. São Paulo: Mc Graw-Hill do Brasil, 1979.

PISSARENKO, G.S. et al. **Prontuário de Resistência dos Materiais**. Editora Mir Moscovo, 1985.

CHOW, V.T. **Open-Channel Hydraulics**. Editora Mc Graw-Hill Book Company, 1973.

NETO, A. et al. **Manual de Hidráulica**. Editora Edgard Blucher LTDA, 1998.

Abstract: *The study of the Channel Hydraulics it is part of the engineering resumes, being able to be seen as base for you discipline them more advanced of projects in the area of fluid study. From there the importance of the sedimentation of the concepts in it presented for the graduation pupils. Many times this is attended by laboratory assays that allow to the visualization and thus better understanding of the phenomena studied in the same one. However, it is verified nowadays, the high cost of implementation and/or maintenance of these laboratórios. Com today existing the matemático/computacional development; many phenomena before only visualized in laboratory, already can easily be interpreted by these models. Also it fits to stand out that some phenomena of difficult visualization in laboratories today are easily studied with the aid of the computer. Example of this is the visualization of the variations in the geometric and hydraulical properties of the canals with section any. Being thus, the present work has as objective to present the development and application of a program that determines the geometric elements in section canals any englobando study of the variation of these elements with the variation of the height of the liquid blade. Also it suggests cases examples that allow the sedimentation of the involved concepts.*

key Words: *Development of software, Channel hydraulics, Geometric properties.*