MODELO COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE DE TRANSIENTE HIDRÁULICO EM CANAIS

Stênio de Sousa Venâncio

Dissertação apresentada à Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade
de São Paulo, como parte dos requisitos
para obtenção do título de Mestre em
Hidráulica e Saneamento

ORIENTADOR: Prof. Dr. Swami Marcondes Villela

São Carlos
2003

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

V448m Venâncio, Stênio de Sousa
Modelo computacional para análise de transiente
hidráulico em canais / Stênio de Sousa Venâncio. --
São Carlos, 2003.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de
São Carlos-Universidade de São Paulo, 2003.

Área: Hidráulica e Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Swami Marcondes Villela.

1. Escoamento transiente. 2. Modelo computacional.
3. Condutos livres. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **STÊNIO DE SOUSA VENÂNCIO**

Dissertação defendida e julgada em 03-07-2003 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Tit. **SWAMI MARCONDES VILLELA (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

aprovado

Prof. Tit. **HARRY EDMAR SCHULZ**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

aprovado

Prof. Tit. **ABEL MAIA GENOVEZ**
(Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP)

aprovado

Profa. Associada **MARIA DO CARMO CALIJURI**
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia (Hidráulica e Saneamento) e
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

À minha esposa, Soraia,
pelo seu amor repleto de companheirismo, dedicação e paciência.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, mantenedora da bolsa de estudos.

Ao professor Swami Marcondes Villela, por sua orientação, imbuída de dedicação plena, motivação e confiança. Tenho certeza de que aprendi ciência tão quanto a ser humano.

A COGERH, Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará, pela disponibilidade em viabilizar os dados referentes ao Canal do Trabalhador.

A CPFL, Companhia Paulista de Força e Luz, pelo subsídio dado através das visitas, discussões, informações e disponibilização dos dados referentes ao canal de alimentação da Usina Hidrelétrica Monjolinho.

Ao professor Harry Edmar Schulz, pela participação e relevante contribuição nas duas etapas do exame de qualificação.

Ao professor Marcius Giorgetti, pela disponibilidade e incentivo.

Ao colega Peter Cheung, pelo auxílio na idealização do algoritmo.

Ao amigo Leonardo, por sua colaboração nas várias etapas deste trabalho.

À Coordenação, aos professores, funcionários e colegas do Programa de Pós Graduação em Hidráulica e Saneamento da EESC, pelos ensinamentos, pelo incentivo e, principalmente pela amizade.

Aos meus pais, Iêzo e Anísia, pelo exemplo de caráter, e por tudo aquilo que me proporcionaram nos diversos momentos da vida.

À Deus, pelo dom da vida. Sem a Sua graça, nada seria possível.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	ii
LISTA DE SÍMBOLOS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DA LITERATURA	3
2.1 Um Breve Panorama da Situação da Água	3
2.2 Escoamento Não Permanente	6
2.2.1 Conceituação do Fenômeno	6
2.2.2 As Equações do Movimento	9
2.2.2.1 Equação da Continuidade	9
2.2.2.2 Equação Dinâmica	12
2.2.2.3 Simplificação das Equações de Saint-Venant	16
2.2.2.4 Modelo Onda Cinemática	18
2.2.2.5 Modelo Onda de Difusão	22
2.2.2.6 Modelos de Armazenamento	22
2.2.3 Métodos Numéricos para a Resolução das Equações de Saint-Venant	23
2.2.3.1 Esquemas Diretos	25
2.2.3.1.1 Esquemas Diretos Explícitos	29
2.2.3.1.2 Esquemas Diretos Implícitos	31
3 MATERIAIS E MÉTODOS	34
4 RESULTADOS	91
5 CONCLUSÕES	100
ANEXO	102
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	158
APÊNDICE	i

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 – Bacias Hidrográficas no Brasil	04
FIGURA 02 – Alterações no Escoamento de Pequena Magnitude	07
FIGURA 03 – Tipos de Ondas de Translação em Perturbações de Pequena Magnitude	08
FIGURA 04 – Volume de Controle Elementar	10
FIGURA 05 – Esboço de Referência para as Equações do Movimento	13
FIGURA 06 – Representação de uma Curva de Descarga em Laço	19
FIGURA 07 – Propagação da Onda Cinemática	20
FIGURA 08 – Etapas da Modelação	24
FIGURA 09 – Pontos Utilizados para o Cálculo da Primeira Derivada de f	26
FIGURA 10 – Grade Computacional	28
FIGURA 11 – Grade Computacional para Esquema Explícito	29
FIGURA 12 – Esquema de Diferenças Finitas	32
FIGURA 13 – Esquema do Caso Estudado para Teste do Modelo	40
FIGURA 14 – Sistema da Solução Computacional	43
FIGURA 15 – Diagrama de Blocos	44
FIGURA 16 – Esquema do Canal de Alimentação da UHE-Monjolinho	59
FIGURA 17 – Esquema do Sistema de Abastecimento de Água de Fortaleza	73
FIGURA 18 – Esquema do Canal do Trabalhador	75
FIGURA 19 – Gráfico dos Perfis D'água (Teste do Modelo)	91
FIGURA 20 – Gráfico das Velocidades (Teste do Modelo)	92
FIGURA 21 – Gráfico das Alturas D'água – abertura da turbina	93
FIGURA 22 – Gráfico das Mínimas Alturas Ocorridas	93
FIGURA 23 – Gráfico das Velocidades – abertura da turbina	94
FIGURA 24 – Gráfico das Alturas D'água – fechamento da turbina	95
FIGURA 25 – Gráfico das Alturas Máximas Ocorridas	95
FIGURA 26 – Gráfico das Velocidades – fechamento da turbina	96
FIGURA 27 – Enchimento do Canal do Trabalhador ao longo do tempo	98
FIGURA 28 – Esvaziamento do Canal do Trabalhador ao longo do tempo	99

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 – Distribuição dos Recursos Hídricos, da Superfície e da População	
Brasileira	05
TABELA 02 – Evolução do Uso da Água no Mundo	05
TABELA 03 – Resumo das Características dos Modelos de Escoamento	23

LISTA DE SÍMBOLOS

A	-	área de seção transversal, m^2
a	-	aceleração, m/s^2
B	-	largura da superfície livre, m
b	-	largura, m
Ch	-	coeficiente de rugosidade de Chezy
c	-	celeridade relativa da onda, m/s
Fr	-	número de Froude
g	-	aceleração da gravidade, m/s^2
H	-	energia total do escoamento, m
h	-	altura ou tirante d'água em relação ao plano de referência, m
l	-	comprimento, m
m	-	massa, Kg
n	-	coeficiente de rugosidade de Manning
P	-	perímetro molhado, m
Q	-	vazão, m^3/s
q_{LAT}	-	vazão suplementar por unidade de comprimento das margens, $m^3/s.m$
Rey	-	número de Reynolds
Rh	-	raio hidráulico da seção, m
Sa	-	declividade da linha d'água, m/m
Sf	-	declividade da linha de energia, m/m
So	-	declividade de fundo do canal, m/m
T	-	período da onda, s
t	-	instante de tempo, s
V	-	velocidade média do escoamento na seção, m/s
V_ω	-	velocidade absoluta ou celeridade absoluta, m/s
x	-	abscissa medida ao longo do canal, m
y	-	altura ou tirante d'água medida em relação ao fundo, m
ρ	-	massa específica da água, Kg/m^3
γ	-	peso específico da água, N/m^3

RESUMO

Este trabalho representa a continuidade de estudos envolvendo a problemática dos escoamentos com superfície livre, contemplando a análise do fenômeno transiente em canais, a partir do modelo matemático unidimensional de Saint-Venant. Para tanto, é desenvolvido um modelo computacional em linguagem FORTRAN, capaz de avaliar o comportamento do escoamento não permanente. As equações hidrodinâmicas completas são discretizadas por um esquema completamente implícito de diferenças finitas e aplicadas no modelo computacional para a avaliação de dois casos. O modelo é previamente testado para um caso simples, cujos resultados são analisados viabilizando o modelo. No primeiro caso, o modelo é aplicado ao canal de alimentação da Usina Hidrelétrica Monjolinho em São Carlos-SP, para avaliar a necessidade de vertedouro quando se dá o fechamento brusco da turbina, e a ocorrência da entrada de ar na mesma quando da sua abertura repentina. No segundo caso, procurou-se avaliar o desenvolvimento do escoamento no Canal do Trabalhador, responsável pelo abastecimento da cidade de Fortaleza-CE. Com manobras de enchimento e esvaziamento do sistema, é possível determinar o tempo de antecedência de liga-desliga do sistema de recalque a partir das alturas d'água e velocidades de ocorrência, permitindo também a automação para as operações de controle. Em ambos os casos o modelo reproduziu resultados que ilustram com coerência os conceitos pré-estabelecidos, constituindo numa ferramenta útil para análise do fenômeno transiente nos escoamentos em condutos livres.

Palavras-chave: escoamento transiente; modelo computacional; condutos livres

ABSTRACT

This work presents a computational model developed in FORTRAN language for the study of unsteady open-channel flows with the use of Saint-Venant one-dimensional equation. The discretization of hydrodynamic equations are presented in a completely implicit method of finite differences and applied in the model for the investigation of two cases, besides the one used previously to test the model. In the first case, the model is applied for a channel that supplies the Monjolinho hydroelectric plant in Sao Carlos – SP, aiming to evaluate the need of a spillway when the turbine is closed and the flow abruptly stopped, as well as the occurrence of air entering the turbine when it is opened instantaneously. In the second case, the model simulates the development of the flow in the Trabalhador channel, responsible for the water supply in the city of Fortaleza – CE, in order to make possible the automation of operational control, based on data of flow velocity and water level. In both cases the model is presented as a useful tool for the analysis of unsteady open-channel flows, showing results and coherency with theory.

Keywords: unsteady flow; computational model; open-channel

1. INTRODUÇÃO

A análise de escoamentos de fluidos de um modo geral, requer a observação de determinadas condições gerais, princípios e leis da Dinâmica, teoria da turbulência, além dos muitos parâmetros externos que envolvem a questão. Entretanto, visto a necessidade de apresentar soluções práticas para os vários problemas reais que envolvem obras de engenharia, é praxe aplicar os conceitos pré-estabelecidos à particularidade de cada estudo, o que simplifica bastante o tratamento matemático, facilitando a implementação de modelos computacionais.

Um modelo computacional unidimensional para simulação do movimento transiente em canais é constituído basicamente pelas equações gerais do movimento e da continuidade (1D / Saint-Venant), discretizadas e aproximadas convenientemente, e utilizadas com condições de controle de vazões e/ou velocidades fixadas em função do tempo à montante, e níveis fixados em função do tempo à jusante, ou vice versa.

Atendendo ao objetivo proposto, o modelo computacional ora desenvolvido utiliza linguagem Fortran, e **deve atuar como ferramenta útil na determinação dos níveis e velocidades ($y(x,t)$ e $v(x,t)$) nos escoamentos em condutos livres, dados necessários e indispensáveis no planejamento da operação de canais longos, principalmente quando se deseja automatizar o funcionamento dos seus sistemas de controle.**

A escolha da linguagem de programação, FORTRAN 6.1 na versão visual, deve-se ao fato de ser uma linguagem compilada, a exemplo das linguagens C, C⁺⁺, dentre outras, e por isso mais veloz, além de possuir várias rotinas desenvolvidas, pela aplicação em vários estudos ao longo dos anos. A versão visual do FORTRAN suprime uma deficiência que caracterizava a linguagem, face a impossibilidade de se realizar gráficos. Além disso, ela permite realizar interface com outras linguagens, permitindo a aplicação de sub-rotinas prontas desenvolvidas nas mesmas.

Como a resolução das equações de Saint-Venant analiticamente é restrita a casos especiais, devido a dificuldade de integração, são utilizados métodos que garantem sua aplicação à casos práticos. Dentre estes estão aqueles que contemplam simplificações das equações, reduzindo-as aos termos predominantes do problema particular, como é o caso do Modelo Onda Cinemática e Modelo Onda de Difusão. Outro método bastante utilizado é o

das características, que utiliza transformações no equacionamento original onde o comportamento físico passa a ser descrito por equações características. Um dos mais utilizados, inclusive por este estudo, é a aplicação de esquemas diretos implícitos, devido a vantagem de serem linearmente estáveis e as equações de Saint-Venant serem utilizadas diretamente sem simplificações ou transformações.

Os casos abordados nesta pesquisa são caracterizados por canais com funções específicas. Estes casos são inseridos com o propósito de demonstrar a viabilidade de aplicação do modelo computacional implementado.

Como atualmente a escassez de água demanda captações cada vez mais distantes, a implementação de sistemas longos de transporte torna-se necessário e sua operação cada vez mais difícil, fato este que constitui a base de motivação para este estudo. Para tanto vale salientar que a automação dos sistemas de controle, não se restringe meramente a abastecimento urbano, visto que, obras contra inundações, canais de irrigação, de alimentação de usinas hidrelétricas, dentre outros, são passíveis a sistemas de controle automatizados.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Com o propósito de caracterizar o modelo de análise do escoamento transiente em canais como suporte para a automação de sistemas de controle, a revisão bibliográfica, apresentada nesta etapa, é calcada nos fundamentos científicos que contemplam os conceitos da hidráulica dos canais. A partir destes, descreve dentro do objetivo supracitado, os métodos matemáticos e numéricos disponíveis, necessários e indispensáveis para a modelagem e tratamento do escoamento não permanente.

Antepondo ao objetivo específico de abordagem do problema, é esboçado também um breve panorama das questões que envolvem a situação da água sobre as diversas necessidades. Retrata, para tanto, a situação geral do recurso, onde se possa justificar a implementação de pesquisas e estudos como o aqui proposto, que venham atuar como alternativas para a manipulação eficiente e eficaz do uso múltiplo da água.

2.1 Um Breve Panorama da Situação da Água

Há tempos é sabido e inquestionável a importância que a água exerce no meio ambiente, dado ao fator condicionante e crucial que ela representa para a sustentabilidade da vida e do seu desenvolvimento.

Boa parte do aproveitamento da água se dá por meio de escoamento superficial (aproximadamente 90%) (CHAUDHRY, 2001*). De acordo com a mesma referência, águas subterrâneas são ocasionalmente utilizadas para abastecimento urbano e industrial e, portanto, é de interesse estudar o escoamento de superfície não só do ponto de vista de abastecimento, uma vez que o uso múltiplo deste recurso tem marcado presença relevante no cenário mundial. Podem-se citar como mais expressivos usos de recursos hídricos:

- **Irrigação:** promovendo, através do crescimento agrícola, o abastecimento e o desenvolvimento econômico;

*CHAUDHRY, Fazal Hussain (2001). Recursos Hídricos – Aspectos Quantitativos. / Curso ministrado na EESC/USP – São Carlos, no período de março-julho/2001

- **Navegação:** atuando como meio de transporte de baixo custo;
- **Abastecimento Público:** garantindo, além da necessidade vital, a saúde pública;
- **Geração de Energia:** como condicionante direta pelo desenvolvimento do país, além da promoção de conforto;

Em se tratando de recursos hídricos brasileiros, o volume de água doce superficial representa um total de 11,6% da totalidade do planeta (UNIAGUA, 2002*). Entretanto, com todo o privilégio caracterizado a princípio, 70% da água disponível para o uso estão localizadas na Região Amazônica, onde o contingente populacional é baixo, restando 30% para um atendimento desigual ao longo do país, atendendo 93% de sua população (UNIAGUA, 2002*). Desta forma, conflitos pelo uso da água são inevitáveis. A **FIGURA 01**, apresentada a seguir, demonstra o gráfico com a distribuição das Bacias Hidrográficas no Brasil.

FIGURA 01 - Bacias Hidrográficas no Brasil (em %)
fonte:UNIÁGUA

*UNIÁGUA (2002). Site: www.uniagua.com.br - Universidade da Água, Água no Planeta – 19/08/2002 às 10:15hs

A conjuntura espacial tem um papel importante no confronto da disponibilidade e demandas. Quando se analisa a variabilidade ao longo do país, observa-se que nas regiões onde existe maior demanda, a água não está disponível (**TABELA 01**), seja na quantidade ou qualidade requerida. Enquanto só o rio Amazonas é responsável por cerca de 20% da vazão total de todos os rios do mundo, extensas regiões continentais e brasileiras apresentam deficiências consideráveis em termos de recursos hídricos superficiais e subterrâneos (UNIÁGUA, 2002*). A demanda cresce paulatinamente, em função do contingente populacional, ao longo dos anos (**TABELA 02**), e a necessidade de se captar e transportar água a distâncias cada vez mais consideráveis é inevitável.

REGIÃO	RECURSOS HÍDRICOS	SUPERFÍCIE	POPULAÇÃO
Norte	68,50	45,30	6,98
Centro-Oeste	15,70	18,80	6,41
Sul	6,50	6,80	15,05
Sudeste	6,00	10,80	42,65
Nordeste	3,30	18,30	28,91
Soma	100,00	100,00	100,00

TABELA 01 - Distribuição dos Recursos Hídricos, da Superfície e da População brasileira (em % total do país)
fonte:UNIÁGUA

A n o	H a b i t a n t e s	U s o d a Á g u a $m^3/h a b/a n o$
1940	$2,3 \times 10^9$	400
1990	$5,3 \times 10^9$	800

TABELA 02 - Evolução do Uso da Água no Mundo
fonte:UNIÁGUA

Do ponto de vista de abastecimento, a cidade de São Paulo, por exemplo, transporta água atualmente a distâncias em torno de 90Km e, de acordo com estudos realizados, a demanda crescente exigirá o alongamento do transporte como alternativa (POVINELLI, 2001*).

*UNIÁGUA (2002). Site: www.uniagua.com.br - Universidade da Água, Água no Planeta – 19/08/2002 às 10:15hs

*POVINELLI, Jurandyr (2001). Conceitos Básicos em Recursos Hídricos. / Curso ministrado na EESC/USP – São Carlos, no período de março-julho/2001

A cidade de Fortaleza, no Ceará, pode fazer hoje o seu transporte de água em uma extensão de aproximadamente 100km a partir do Rio Jaguaribe através do Canal do Trabalhador (VILLELA, 2002*). Considerando o uso múltiplo, surge o importantíssimo projeto de transposição das águas do Rio São Francisco para o desenvolvimento do semi-árido nordestino, com integração entre abastecimento, irrigação e geração de energia (VILLELA, 2002*) .

Os exemplos citados evidenciam, de fato, a situação de balanço negativo entre oferta e demanda. A questão dos usos múltiplos geram situações de conflito que devem ser administradas com seriedade por um poder de decisão competente.

Apesar das caracterizações espaciais desfavoráveis entre a ocupação e os recursos hídricos, sem considerar nesta avaliação a questão da poluição do recurso, pesquisas e estudos têm atuado efetivamente como instrumentos de respaldo no processo de tomada de decisões na alçada política. O desenvolvimento de técnicas que respondam às necessidades impostas, são elementos fundamentais para o manejo responsável da água como garantia da utilização eficiente e eficaz.

2.2 Escoamento não Permanente

2.2.1 Conceituação do Fenômeno

Transcreve-se a seguir, por muito oportuno, um texto de PORTO, 1999, p3: “De um modo geral, os escoamentos de fluidos estão sujeitos a determinadas condições gerais, princípios e leis da dinâmica e à teoria da turbulência. No caso de líquidos, em particular a água, a metodologia de abordagem consiste em agrupar os escoamentos em determinados tipos, cada um dos quais com suas características comuns, e estudá-los por métodos próprios”.

Muitos fenômenos de escoamentos em canais, de grande importância para a engenharia hidráulica, ocorrem em regime transiente (HENDERSON, 1966), ou seja, o tipo de escoamento onde as condições hidráulicas passam a variar ao longo do tempo.

*VILLELA, Swami Marcondes (2002). Tópicos de Obras Hidráulicas. / Curso ministrado na EESC/USP – São Carlos, no período de agosto-novembro/2002

Seja a **Figura 02-A**, na qual uma pequena perturbação de amplitude $\delta y \ll y$ se propaga com velocidade absoluta $V\omega$ no sentido do escoamento para jusante. Como resultado da propagação, a velocidade média do escoamento muda de V para $V + \delta V$, portanto o escoamento é não permanente. Entretanto, como a alteração sofrida é de pequena magnitude e ocorre em intervalos curtos de tempo, sobrepõe-se ao campo de velocidade real um campo de velocidade dado por $-V\omega$, isto é, no sentido de montante, onde o volume de controle definido, permite a análise do fenômeno em regime permanente (**FIGURA 02-B**). Neste caso a alteração sofrida pelo escoamento, é determinada pela perturbação na velocidade e é medida pela propagação em relação ao meio, isto é, medida em relação à corrente e não às margens. (PORTO, 1999)

FIGURA 02 - Alterações no Escoamento de Pequena Magnitude

Pela combinação das equações básicas da continuidade e do teorema da quantidade de movimento, para o regime permanente, entre as seções 1 e 2, por unidade de largura da seção, pode-se escrever:

$$V\omega = V \pm \sqrt{gy} = V \pm c \quad (2.0)$$

onde:

$V\omega$ = velocidade absoluta ou celeridade absoluta (medida em relação às margens)

V = velocidade da água

$c = (gy)^{1/2}$ = celeridade relativa da onda (medida em relação ao meio água)

O escoamento não permanente está associado ao movimento de ondas. Uma onda, por sua vez, pode ser definida como a variação temporal do nível da superfície da água e que se propaga através do fluido (RAJU, 1981).

As ondas, propriamente ditas, podem ser classificadas de várias maneiras. No contexto de escoamento instável, que é o problema comumente encontrado nos canais, o processo se

dá através de ondas de translação (**FIGURA 03**), que é uma onda de gravidade (predomínio da atração gravitacional sobre a tensão superficial), resultando em um deslocamento apreciável das partículas de água em uma direção paralela ao escoamento (CHOW, 1973).

FIGURA 03 - Tipos de Ondas de Translação em Perturbações de Pequena Magnitude

Uma onda em um canal se constitui em variações bruscas ou graduais do escoamento. Essas variações serão bruscas em situações como operações rápidas em comportas, por exemplo, ou graduais, em casos como operações lentas de manobra, precipitações, dentre outras.(RAJU, 1981)

No caso de variação gradual, a curvatura do perfil de onda é moderada, e as mudanças das características do movimento são graduais. A componente vertical da aceleração das partículas de água é desprezível em comparação com a aceleração total, considerando que o efeito de cisalhamento do canal é normalmente apreciável e deveria ser levado em conta em uma análise precisa. Na variação rápida, a curvatura do perfil de onda é muito grande. Neste caso, a componente de aceleração vertical tem um papel importante no fenômeno, considerando que o efeito de cisalhamento do canal é praticamente desprezível em comparação ao efeito dinâmico do escoamento (CHOW, 1973).

Dentro das considerações apresentadas, é válido ressaltar que muitas situações físicas não suportam a hipótese de análise do escoamento transiente pela utilização do conceito de celeridade relativa de onda (c). Como exemplo, pode-se citar as ondas de cheia em canais, rios ou sistemas de drenagem, alterações de nível e vazões produzidas pelas partidas ou paradas de bombas ou turbinas hidráulicas, ondas originadas por manobras de comportas em canais de irrigação, dentre outras (PORTO, 1999).

Neste contexto, o tratamento matemático das ondas de translação é feito por equações deduzidas a partir da continuidade e quantidade de movimento, com características complexas.

Em suma, o escoamento em um canal é dito não permanente ou variável, se a profundidade da água, assim como os outros parâmetros hidráulicos, variam com o tempo. O escoamento não permanente é em geral não uniforme ou variado, sendo que a não uniformidade se caracteriza pelo não paralelismo das linhas de corrente ao longo do escoamento (PORTO, 1999).

2.2.2 As Equações do Movimento

Os escoamentos em rios e canais são descritos por equações diferenciais parciais não lineares. As leis básicas da Mecânica, as quais servem de base para os estudos relativos aos transientes hidráulicos em escoamentos livres, são a equação da continuidade (conservação de massa) e a equação dinâmica (quantidade de movimento) (HENDERSON, 1966).

“As relações obtidas, são decorrentes da consideração de um conjunto de hipóteses simplificadoras como: escoamento unidimensional, distribuição de pressão hidrostática, canal de baixa declividade, canal prismático (seção reta e declividade de fundo constantes em toda a extensão), fluido incompressível com vazão dada por $Q = V(x,t).A(x,t)$, e perda de carga no regime variável computada por uma equação de resistência do regime permanente e uniforme”.(PORTO, 1999, p.469)

2.2.2.1 Equação da Continuidade

De acordo com PORTO (1999, p. 469-471), a equação da continuidade pode ser obtida através da seguinte análise:

A partir do volume de controle elementar de comprimento dx , no qual o escoamento se processa da seção 1 para a seção 2, como mostra a **FIGURA 04**, sendo x uma abscissa medida ao longo do canal, A , a área da seção reta, y , altura ou tirante d'água, B , largura do canal na superfície livre, ρ , a massa específica da água e V , a velocidade média na seção 1, a equação da continuidade pode ser escrita, de uma maneira geral, na forma:

$$\int_{S.C} \vec{\rho} \cdot \vec{V} \cdot d\vec{A} = - \frac{\partial}{\partial t} \int_{V.C} \rho \cdot dVol \quad (2.1)$$

isto é, a vazão em massa através da superfície de controle (S.C) é igual à variação, por unidade de tempo, da massa ($\rho \cdot dVol$) no interior do volume de controle (V.C).

FIGURA 04 - Volume de Controle Elementar

Na hipótese do fluido incompressível, $\rho = \text{cte.}$, a equação da conservação da massa fica reduzida à conservação do volume, na forma:

$$\int_{S.C} \vec{V} \cdot d\vec{A} = - \frac{\partial}{\partial t} \int_{V.C} dVol \quad (2.2)$$

Aplicando a equação (2.2) ao volume de controle da **FIGURA 4**, observando que o produto escalar, na parte da superfície de controle correspondente a seção 1 é negativo, e que não há aporte lateral de vazão, resulta:

$$-V_x A + \left[V_x A + \frac{\partial}{\partial x} (V_x A) dx \right] = - \frac{\partial}{\partial t} [Vol]_{V.C.} \quad (2.3)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (V_x A) dx = - \frac{\partial}{\partial t} [Vol]_{V.C} \quad (2.4)$$

A variação de volume por unidade de tempo é o resultado de uma modificação na superfície livre $\partial y / \partial t$, entre as duas seções distanciadas de dx durante o intervalo de tempo dt , e que corresponde a $(B dx) \partial y / \partial t$, onde B é a largura na superfície livre e $\partial y / \partial t = V_y$

representa a velocidade com que está se movimentando verticalmente a superfície livre da água. Portanto, a variação do volume por unidade de tempo fica sendo:

$$\frac{\partial y}{\partial t} B dx = \frac{\partial A}{\partial t} dx = \frac{\partial Vol}{\partial t} \quad (2.5)$$

Substituindo este resultado na equação (2.4), a equação da continuidade torna-se:

$$\frac{\partial}{\partial x} (V_x A) + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \therefore A \frac{\partial V_x}{\partial x} + V_x \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (2.6)$$

Como para canais de fraca declividade a componente V_x pode ser considerada igual a velocidade média na seção $V=Q/A$, devido a baixa influência da ação gravitacional, resulta:

$$A \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (2.7)$$

Na equação anterior, A e V são variáveis dependentes e x e t , variáveis independentes. A equação (2.7) também pode ser escrita:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (2.8)$$

e como, $\partial A = B \partial y$ a equação da continuidade assume também a forma:

$$A \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial A}{\partial x} + B \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \quad (2.9)$$

Se uma vazão lateral suplementar sai ou entra no canal, entre as duas seções 1 e 2, a equação anterior é modificada como:

$$A \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial A}{\partial x} + B \frac{\partial y}{\partial t} \pm q_{LAT} = 0 \quad (2.10)$$

ou da forma:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} \pm q_{LAT} = 0 \quad (2.11)$$

onde:

Q = vazão (m^3/s);

A = área da seção transversal (m^2);

x = distância longitudinal (m);

t = tempo (s);

q_{LAT} = vazão suplementar por unidade de comprimento das margens do canal ($m^3/s.m$), tendo o sinal negativo se for influxo (entrada) e positivo se for efluxo (saída).

2.2.2.2 Equação Dinâmica

Segundo HENDERSON (1966, p. 90-91, 285-287), a equação dinâmica (quantidade de movimento) pode ser obtida como descrito na seqüência.

Para a definição do equacionamento, as condições usadas são expressas pela **FIGURA 05**.

Quando o escoamento é permanente, o gradiente da linha de energia total (dH/dx), é igual em magnitude e oposto em sinal a declividade da linha de energia (S_f).

A estimativa de S_f pode ser feita das seguintes formas:

a) por equilíbrio de forças:

$$S_f = \frac{\tau_0}{\gamma R_H} \quad (2.12)$$

b) utilizando a Fórmula de Chezy:

$$S_f = \frac{V^2}{Ch^2 R_H} \quad (2.13)$$

onde:

τ_0 = tensão média de cisalhamento sobre o perímetro molhado (N/m^2)

γ = peso específico da água (N/m^3)

R_H = raio hidráulico da seção (m)

V = velocidade média do escoamento na seção (m/s)

Ch = coeficiente de rugosidade de Chezy

mas

$$\frac{\partial H}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(h + \frac{V^2}{2g} \right) \quad (2.14)$$

onde:

H = energia total do escoamento (m)

x = distância na direção longitudinal (m)

h = altura d'água medida em relação ao plano de referência (m)

V = velocidade média do escoamento na seção (m/s)

g = aceleração da gravidade (m/s^2)

FIGURA 05 - Esboço de Referência para as Equações do Movimento

No movimento não permanente a aceleração é expressa por:

$$a_x = \frac{dV}{dt} = V \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial t} \quad (2.15)$$

onde:

$V \frac{\partial V}{\partial x}$ = a parcela da aceleração convectiva (escoamento permanente)

$\frac{\partial V}{\partial t}$ = a parcela da aceleração local (escoamento não permanente)

Sabendo-se que a resultante das forças externas, atuantes num volume de controle limitado por Δx de um dado escoamento, é dada por $\sum \vec{F} = m \vec{a}$, onde “m” é a massa e “a” a aceleração, a equação do movimento se torna

$$-\gamma A \Delta h - \tau_0 P \Delta x = \rho A \Delta x \left(V \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial t} \right) \quad (2.16)$$

onde:

$-\gamma A \Delta h$ = a parcela correspondente à força de pressão no sentido contrário a x

$-\tau_0 P \Delta x$ = a parcela correspondente à força de atrito no sentido contrário a x, sendo P o perímetro molhado da seção

$\rho A \Delta x$ = a massa de água em movimento

$\left(V \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial t} \right)$ = a aceleração desenvolvida no escoamento

Desenvolvendo a equação (2.16) fica

$$\tau_0 = -\mathcal{R}_H \left(\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} \right) = -\mathcal{R}_H \left(\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} \right) \quad (2.17)$$

Substituindo a equação (2.17) em τ_0 das igualdades das equações (2.12) e (2.13) tem-se

$$\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V^2}{Ch^2 R_H} = 0 \quad (2.18)$$

onde a equação (2.18) pode ser reformulada usando a equação (2.14), recordando que a declividade de fundo So é igual a $-\partial z / \partial x$. Visto que $h = z + y$, tem-se:

$$\frac{\partial H}{\partial x} = \frac{\partial z}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} \quad (2.19)$$

$$\frac{\partial H}{\partial x} = -S_0 + \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} = -\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} - S_f \quad (2.20)$$

Consequentemente, a equação (2.18) pode ser escrita como segue:

$$S_f = S_0 - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} = \frac{V^2}{Ch^2 R_H} \quad (2.21)$$

The diagram illustrates the applicability of the terms in equation (2.21) for different flow conditions:

- Permanente Uniforme:** Indicated by a horizontal arrow pointing right, with a vertical line segment to its right. This indicates that all terms in the equation are zero.
- Permanente Não Uniforme:** Indicated by a horizontal arrow pointing right, with a vertical line segment to its right. This indicates that only the acceleration term $\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t}$ is non-zero.
- Não Permanente Não Uniforme:** Indicated by a horizontal arrow pointing right, with a vertical line segment to its right. This indicates that all terms in the equation are non-zero.

Este arranjo pode mostrar como a não uniformidade e a variabilidade do escoamento introduzem termos extras na equação dinâmica.

Semelhante às equações de escoamento permanente, das quais elas são uma extensão, as equações (2.18) e (2.21) só são verdadeiras quando a distribuição de pressão for hidrostática e quando os componentes verticais de aceleração são desprezíveis. (HENDERSON, 1966).

RIGHETTO (1998), utilizando a equação da continuidade, modificou a equação da quantidade de movimento, já considerando a contribuição lateral e multiplicando toda a equação por g , chegando a:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} = g(S_0 - S_f) - q_{LAT} \frac{(V - V_{L,x})}{y} \quad (2.22)$$

onde $V_{L,x}$ é a componente de velocidade da contribuição lateral na seção x e, segundo o mesmo autor, pode ser desprezado se o ângulo de entrada da contribuição lateral em relação ao escoamento for próximo de 90° .

As equações (2.9) e (2.21), estabelecidas pela primeira vez por Saint-Venant* em 1870, constituem um sistema de duas equações a derivadas parciais, em x e t , que descrevem, sob as hipóteses fixadas, os escoamentos não permanentes em canais, constituindo o modelo de propagação de cheia denominado modelo hidrodinâmico (PORTO, 1999). A integração exata das equações de Saint-Venant é muito complicada e sua solução analítica só é possível em casos muito especiais, como por exemplo, no estudo publicado por MORAMARCO et al (1999)*.

Segundo CHAUDHRY (2001)* as alternativas para se resolver tais equações para variação de vazão e altura d'água ao longo do escoamento e do tempo, são:

- Simplificação das Equações
- Fazer Transformações (Ex.: Método das Características)
- Utilizar Métodos Numéricos

Segundo LIGGETT & CUNGE (1975), para propósitos de engenharia, a maioria das soluções das equações desenvolvidas para o escoamento não permanente, ocorrem com a utilização de métodos numéricos usando computadores digitais.

Esses métodos (WROBEL, 1989), reduzem um problema físico, contínuo, a um problema discreto que pode ser resolvido por computador.

2.2.2.3 Simplificação das Equações de Saint-Venant

Segundo PORTO (1999), as equações completas do escoamento não permanente, equações (2.9) e (2.21), requerem, para sua resolução, elaboradas técnicas numéricas bem como uma grande quantidade de dados hidráulicos do canal, principalmente se forem aplicadas aos cursos d'água naturais.

Para a dedução das equações algumas hipóteses simplificadoras são adotadas:

*SAINT-VENANT, (1870) conde, Adémas Jean-Claude Barré./ engenheiro francês , 1797-1886/

*MORAMARCO.T et al (1999).Analytical Solution for Channel Routing With Uniform Lateral Inflow./ Journal of Hydraulic Engineering, july./1999

*CHAUDHRY, Fazal Hussain (2001). Recursos Hídricos – Aspectos Quantitativos. / Curso ministrado na EESC/USP – São Carlos, no período de março-julho/2001

fluido incompressível; escoamento unidimensional, no qual a velocidade média é representativa da variação espacial na seção e o sentido predominante do escoamento é longitudinal; distribuição hidrostática de pressão na vertical, desprezando-se eventuais efeitos de componentes de aceleração vertical; variação gradual das seções transversais e ausência de singularidades como contrações, pilares de ponte, soleiras de fundo etc; e, finalmente, assumindo que a declividade da linha de energia possa ser calculada por uma equação estabelecida para o regime permanente e uniforme, como a fórmula de Manning ou Chezy.

Observando-se cada um dos termos da equação (2.21), estes podem ser considerados como a representação de um gradiente ou declividade. O primeiro termo é a declividade energética que leva em conta o atrito. O segundo e terceiro termos representam a declividade da linha d'água, e são termos de gravidade e pressão. O quarto e quinto termos representam a declividade devido à variação da velocidade no espaço e no tempo e são termos de inércia.

A situação hidráulica do curso d'água, como declividade, largura da seção, existência de várzeas etc., impõe uma importância relativa a cada um dos termos da equação dinâmica geral, equação (2.21).

Segundo HENDERSON (1966), para rios com declividade de fundo $S_0 > 0,002$ m/m, os dois termos de inércia na equação são, em geral muito pequenos, podendo ser desprezados com o objetivo de diminuir a dificuldade matemática da resolução do problema.

CUNGE et al (1980), baseados na observação de uma onda de cheia no rio Reno, mostram que a ordem de grandeza dos termos de inércia é 10^{-5} , enquanto que a dos termos de atrito e gravidade é 10^{-3} . Assim desprezando-se os termos devido às acelerações local e convectiva, termos de inércia, a equação (2.21) é simplificada como:

$$\frac{\partial y}{\partial x} = S_0 - S_f \quad (2.22)$$

Esta equação, associada à equação da continuidade, equação (2.8), forma a base do modelo hidráulico de propagação de ondas de cheias denominado *modelo de difusão* ou *não inercial*. Tais modelos são aplicados nos casos em que não há grande variação espacial e

temporal da velocidade no processo de propagação. Se além dos termos de inércia for também desprezado o termo de pressão, $\partial y/\partial x = 0$, a equação assume a sua forma mais simplificada possível como:

$$S_0 = S_f \quad (2.23)$$

com a declividade da linha de energia S_f sendo calculada pela fórmula de Manning. Esta equação, associada à equação da continuidade, equação (2.8), forma a base do modelo hidráulico de propagação de ondas de cheias denominado *modelo onda cinemática*.

Segundo PORTO (1999), a utilização da equação (2.8), juntamente com a equação (2.21) em sua forma completa, sem desprezar nenhum termo, constitui o modelo de propagação de cheia denominado *modelo hidrodinâmico*. Tal metodologia propicia uma maior precisão na descrição do escoamento, à custa de uma maior dificuldade numérica de resolução das equações diferenciais e mais necessidade de dados que os modelos de difusão e onda cinemática.

2.2.2.4 Modelo Onda Cinemática

PONCE (1978) comenta que, embora sendo simplificado, o modelo Onda Cinemática tem sido satisfatório para descrever fenômenos físicos em uma variedade de casos, como escoamento superficial ou deslocamento de ondas de cheias variando lentamente. Entretanto, acrescenta que, devido às simplificações assumidas, o modelo não permite a atenuação física da onda.

O conceito de onda cinemática foi introduzido por LIGHTHILL & WHITHAM (1955) como sendo uma onda na qual a vazão Q é somente função da profundidade y , o que implica que os outros termos da equação (2.21) sejam desprezíveis. Para tanto, é utilizado o seguinte equacionamento:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q_{LAT} \quad (2.24)$$

e

$$S_f = S_0 \quad (2.25)$$

Partindo-se da expressão de Chezy, a equação dinâmica, equação (2.21), pode ser escrita como:

$$V = Ch\sqrt{R_H S_f} = Ch\sqrt{R_H \left(S_0 - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} \right)} \quad (2.26)$$

Para o escoamento permanente e uniforme a equação (2.26) simplifica-se na forma:

$$V = Ch\sqrt{R_H S_0} \quad (2.27)$$

e portanto, a relação entre a velocidade média V , ou a vazão Q , e a profundidade y , ou o raio hidráulico R_H é dada pela **FIGURA 06**.

FIGURA 06 - Representação de uma Curva de Descarga em Laço

onde a largura do laço indica a importância relativa dos termos de inércia e de pressão na equação (2.24). A relação apresentada pela figura acima, $Q = f(y)$, é chamada usualmente de *curva chave*.

Considerando uma onda com estas características e utilizando a equação da continuidade, equação (2.8), vem:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \therefore \frac{\partial Q}{\partial x} + B \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \quad (2.28)$$

Sendo B a largura na superfície, a equação anterior pode ser reescrita como:

$$\frac{\partial Q}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial x} + B \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \quad (2.29)$$

Com o uso da diferenciação parcial, e imaginando um observador que se desloca no sentido da onda com uma velocidade igual à celeridade da onda, do seu ponto de vista, tanto a vazão Q quanto a profundidade y permanecem constantes. Assim a equação anterior fica:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{\partial y}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \quad (2.30)$$

Da comparação entre as equações (2.29) e (2.30) conclui-se que:

$$\frac{dx}{dt} = C_K = \frac{1}{B} \frac{dQ}{dy} = \frac{dQ}{dA} \quad (2.31)$$

onde o termo C_K é denominado *celeridade da onda cinemática* (**FIGURA 07**), que de acordo com a equação (2.29) só admite valores positivos, diferentemente da celeridade das ondas de gravidade, $V_\omega = V \pm c$, que pode assumir valores positivos (no sentido da corrente) e negativos (sentido contrário a corrente).

FIGURA 07 - Propagação da Onda Cinemática

A condição de aplicabilidade do modelo da onda cinemática, como uma aproximação válida para a equação dinâmica completa, é dada por WOOLHISER e LIGGETT (1967), na forma:

$$K_f = \frac{gLS_0}{V^2} > 20 \quad (2.32)$$

na qual V (m/s) é a velocidade média no regime uniforme, S_0 (m/m) é a declividade de fundo do canal e L (m), o comprimento do trecho do canal em estudo.

PONCE et al. (1978) baseados em análises das equações de Saint Venant linearizadas, concluíram que, com 95% (noventa e cinco por cento) de precisão, o modelo da onda cinemática é aplicável quando se verificar a seguinte desigualdade:

$$\frac{TS_0 V_0}{y_0} \geq 171 \quad (2.33)$$

onde :

T = período da onda (s)

S_0 = declividade do fundo do canal (m/m)

V_0 = velocidade média do escoamento uniforme (m/s)

y_0 = profundidade do estado uniforme

TUCCI (1987) afirma que, para que o modelo onda cinemática possa ser aplicado, é necessário comparar as celeridades de ondas cinemática e dinâmica. Para tanto, embora não seja suficiente, a seguinte condição deve ser satisfeita:

$$\frac{5}{3} V < V + \sqrt{gh} \quad \text{ou} \quad F_R < \frac{3}{2} \quad (2.34)$$

onde:

V = velocidade média do escoamento (m/s)

F_R = número de Froude

Quando existem efeitos de jusante, o modelo não pode ser aplicado, pois, os termos da equação dinâmica (atrito e gravidade) não consideram estes efeitos. Esses casos ocorrem em rios e canais próximos a lagos, oceanos, estuários e nos afluentes de rios de grande porte.

2.2.2.5 Modelo Onda de Difusão

O modelo da *onda de difusão* (PONCE, 1978) assume que os termos de inércia, na equação da quantidade de movimento, são desprezíveis quando comparados com os termos de pressão, atrito e gravidade. É utilizado o seguinte equacionamento:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q_{LAT} \quad (2.35)$$

e

$$\frac{\partial y}{\partial x} = S_0 - S_f \quad (2.36)$$

Este modelo é mais abrangente do que o modelo da onda cinemática, pois considera o termo de pressão, o que permite levar em conta os efeitos de jusante e atenuação física da onda. Entretanto, a sua vantagem em diminuir o volume de cálculo com relação ao modelo dinâmico (que utiliza as equações completas de Saint Venant), perdeu importância com a disponibilidade do uso de computadores na realização dos cálculos. A aplicabilidade deste modelo foi estudada por PONCE et al.(1978), que vincula o seu uso a satisfação da seguinte condição de desigualdade:

$$T.S_0 \left(\frac{g}{y_0} \right)^{1/2} \geq 30 \quad (2.37)$$

e, portanto, limitando a ordem de grandeza do período de onda T, aos valores de S_0 e y_0 . Se o período de onda a ser utilizado é menor que o limite imposto pela inequação, cabe ao modelo dinâmico a descrição e quantificação da atenuação da onda.

2.2.2.6 Modelos de Armazenamento

“Estes tipos de modelo tem sido utilizado em hidrologia devido principalmente à simplicidade de formulação e ao pequeno volume de dados usados. Relaciona o armazenamento com a vazões de entrada e saída: $S = f(I, Q, I', Q')$ onde

S = armazenamento (m^3)

I = hidrograma de entrada (m^3/h)

Q = hidrograma de saída (m^3/h)

I' e Q' = derivadas de I e Q com relação ao tempo.

Alguns destes modelos são:

$S = K Q$ Reservatório linear simples

$S = K[x I + (1-x) Q]$ Muskingum

$S = \alpha/Q^\beta$ SSARR (Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation)

Para utilizar este modelo são necessários, na fase de ajuste, somente os hidrogramas de montante e jusante. Esta é a vantagem principal, já que na prática é necessário obter resposta rápida além da carência de dados. Este tipo de modelo pode ser usado quando o efeito preponderante é o amortecimento devido ao armazenamento e não existem efeitos de jusante sobre o escoamento, como os devido à maré na foz de certos rios". TUCCI (1980, p.94-95)

Segundo o mesmo autor, os modelos de escoamento se resumem com as características apresentadas pela **TABELA 03**.

Modelos	Distribuído	Efeito de jusante	Termos de pressão	Termo de inércia	Dados físicos
Armazenamento	Não	Não	Não	Não	Não
Onda cinemática	Sim	Não	Não	Não	Opcional
Difusão	Sim	Sim	Sim	Não	Opcional
Hidrodinâmico	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

TABELA 03 – Resumo das Características dos Modelos de Escoamento

fonte: Modelos Hidrológicos (TUCCI, 1998)

2.2.3 Métodos Numéricos para a Resolução das Equações de Saint Venant

MASSAU (1889), foi o primeiro a propor uma solução gráfica para as equações do escoamento não permanente. THOMAS (1937), propôs uma solução numérica. Entretanto, nenhuma dessas aproximações teve aceitação, na época, devido ao tempo e esforço requeridos para os seus usos. (RAGAN, 1966)

No mesmo artigo, RAGAN comenta também que o advento do computador digital, com grande velocidade de cálculo e grande capacidade de armazenamento de dados, fez renascer o interesse pelo uso das equações completas de Saint Venant.

Segundo FREAD (1973), a técnica de simulação de escoamento não permanente, com base nas equações completas de Saint Venant, teve como pioneiros ISACSON et al (1956), em estudos de cheias do rio Ohio. Desde então a técnica tem sido modificada e aplicada por muitos pesquisadores. De acordo com o mesmo autor e literatura atual disponível, alguns fizeram uso de técnicas diretas explícitas para a resolução das equações, tais como ISACSON et al (1958), LIGGETT & WOOLHISER (1967), GARRISON et al (1969); outros, usaram técnicas diretas implícitas, como é o caso de ABBOTT & IONESCU (1966), BALTZER & LAI (1968), AMEIN & FANG (1970), FREAD (1973); ou ainda utilizando o esquema das características, caso de AMEIN (1966), FLETCHERET & HAMILTON (1967), LIGGETT (1968), HARRIS (1970), LAI (1988).

WENDLAND & RÜBER (1998), com a complementação de JORGENSEN (1986), propõem (**FIGURA 08**) as etapas com os respectivos elementos importantes na modelação.

FIGURA 08 - Etapas da Modelação

Como já mencionado, as equações diferenciais representativas do comportamento físico, dificilmente têm soluções analíticas na prática. Para resolvê-las utilizam-se métodos numéricos, tais como, método das diferenças finitas, método dos elementos finitos, método dos volumes finitos, dentre outros.

Segundo LIGGET & CUNGE (1975), não há uma única resposta que define o melhor método para a solução do problema em questão. Esta resposta depende da aplicação particular, onde cabe ao usuário ter um mínimo de conhecimento de técnicas numéricas para uma melhor abordagem e solução da problemática envolvida.

De acordo com QUEIROZ (1991), por exemplo, quando o escoamento em um canal puder ser considerado unidimensional, o método das diferenças finitas pode ser utilizado com vantagem. Por ser relativamente simples de ser equacionado e tratado numericamente, ele se torna mais acessível aos usuários e produz, em geral, bons resultados. Já no caso de problemas de caráter tridimensional, por exemplo, o método dos volumes finitos produz um tratamento mais elaborado.

No caso do método de diferenças finitas, existem vários esquemas para sua aplicação à escoamento em canais (QUEIROZ, 1991) que podem ser agrupados nas seguintes categorias:

- Esquema das Características: em que as equações características são utilizadas para descrever o comportamento físico do escoamento;
- Esquemas Diretos Explícitos, que podem apresentar problemas de estabilidade; e Esquemas Diretos Implícitos, que são linearmente estáveis. São chamados de esquemas diretos devido às equações de Saint Venant serem utilizadas diretamente.

2.2.3.1 Esquemas Diretos

Como dito anteriormente, a solução das equações do escoamento não permanente pode ser obtida também através dos esquemas diretos de diferenças finitas.

Estes esquemas, segundo (GRIJSEN, 1986), se diferenciam entre si pela técnica utilizada na discretização dos termos contínuos das equações, podendo ser, por exemplo, centrados, progressivos ou regressivos no espaço.

Segundo FORTUNA (2000), as técnicas de aproximação podem ser expressas pelas equações seguintes, obtidas a partir de aproximações por série de Taylor truncada:

Esquema centrado:

$$\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)_i \cong \frac{f_{i+1} - f_{i-1}}{2\Delta x} + O(\Delta x)^2 \quad (2.38)$$

Note-se que a aproximação dada pela equação (2.38) utiliza os pontos x_{i-1} e x_{i+1} para o cálculo da primeira derivada de f no ponto central, intermediário, x_i . Por essa razão, ela é denominada aproximação por diferenças centrais. A inclinação de f em x_i é aproximada pela inclinação da reta N . (**FIGURA 09**)

FIGURA 09 - Pontos utilizados para o cálculo da primeira derivada de f

Esquema progressivo:

$$\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)_i \cong \frac{f_{i+1} - f_i}{\Delta x} + O(\Delta x) \quad (2.39)$$

A equação (2.39) representa uma aproximação de primeira ordem para a primeira derivada de f , utilizando diferenças progressivas, ou seja:

- É de primeira ordem porque, no termo dominante do erro local de truncamento (ELT), Δx aparece elevado à primeira potência.

- É de diferenças progressivas porque, no cálculo da derivada no ponto x_i , foi utilizado um ponto adiante de x_i , no caso, x_{i+1} . A inclinação (primeira derivada) de f em x_i é aproximada pela inclinação da reta L , conforme mostra a **FIGURA 09**.

Esquema regressivo

$$\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)_i \cong \frac{f_i - f_{i-1}}{\Delta x} + O(\Delta x) \quad (2.40)$$

que é outra aproximação de primeira ordem para a primeira derivada de f . Diferente da equação (2.39), na qual utiliza-se um ponto adiante de x_i , a equação (2.40) utiliza o ponto x_{i-1} , ponto este que fica atrás de x_i . Por essa razão, a equação (2.40) é considerada uma aproximação por diferenças finitas atrasadas. A **FIGURA 09** mostra os pontos utilizados nesta aproximação. A inclinação da função f em x_i é aproximada pela reta M .

De acordo com QUEIROZ (1991), para as derivadas com relação ao tempo, responsáveis pela distinção dos esquemas em explícitos e implícitos, existem possibilidades similares.

Na aplicação da técnica de diferenças finitas a um problema físico qualquer, o domínio do problema (região dos valores assumidos pela variável independente geométrica) é discretizado por uma grade de pontos ou grade computacional. Por exemplo, na modelação unidimensional do transitório em um canal, por meio de diferenças finitas, o comprimento do canal é dividido em tramos, normalmente de comprimento uniforme Δx , e as extremidades de cada tramo representam nós da grade ou nós computacionais. Se o trecho do canal é dividido em $N-1$ tramos, o primeiro nó (extremidade de montante) tem índice 1 e o último nó (extremidade de jusante) tem índice N . O primeiro e o último nó são chamados de nós de fronteira e os restantes de nós interiores. O processo computacional é feito em intervalos discretos de tempo e a diferença entre dois valores de tempo consecutivos é chamado de intervalo de tempo computacional. A **FIGURA 10** mostra o exemplo de uma grade de pontos cujo objetivo consiste em determinar os valores de $y(x_i, t_k)$ e $V(x_i, t_k)$ nos pontos do domínio unidimensional $0 \leq x \leq L$, caracterizados por $x_i = 1, 2, \dots, N$ e nos tempos $t_k = 1, 2, \dots, M$. Neste caso, o domínio foi discretizado em intervalos de comprimento Δx e o tempo, t , em intervalos Δt , de modo que $x_i = (i-1) \Delta x$ e $t_k = (k-1) \Delta t$. (PORTO, 1999)

FIGURA 10 - Grade Computacional

Se em um tempo t qualquer são conhecidos a velocidade V e a altura d'água y , em todos os pontos da grade (horizontal), pode-se determinar seus valores no tempo $t + \Delta t$. Quando $t = 0$, corresponde às condições iniciais do problema que devem ser conhecidas.

Também segundo PORTO (1999), com a finalidade de simplificar a notação das equações discretizadas, o seguinte critério é adotado na representação das variáveis dependentes:

- subscrito denota os pontos da grade na direção de x e o sobrescrito denota os pontos da grade na direção de t , assim V_i^k refere-se à velocidade média do escoamento na i .ésima seção do canal no k .ésimo nível de tempo.
- O sobrescrito k corresponde ao nível de tempo no qual as condições do escoamento são conhecidas e o sobrescrito $k + 1$, ao nível de tempo no qual as condições do escoamento são desconhecidas.

Se a aproximação por diferença finita da derivada espacial, em relação a x , for expressa em termos de valores das variáveis no nível de tempo conhecido, as equações resultantes podem ser resolvidas diretamente, para cada nó computacional, caracterizando o esquema explícito. Se por outro lado, a derivada parcial for obtida no nível de tempo desconhecido, as equações algébricas do sistema inteiro são resolvidas simultaneamente e o esquema é dito implícito. Neste último, o sistema é resolvido por métodos como de eliminação de Gauss, de Gauss-Seidel, Newton-Raphson, etc.. (PORTO, 1999)

Para a computação do perfil d'água inicial, ou seja, no regime permanente, como dado de entrada para utilização dos esquemas diretos, utiliza-se a equação de energia descrita por HENDERSON (1966). Para tanto, lança-se mão de métodos de integração numérica para resolução da equação como por exemplo o “step method”, descrito pelo referido autor para

canais uniformes e irregulares, e apresentado neste estudo na análise específica de um dos casos abordados.

2.2.3.1.1 Esquemas Diretos Explícitos

Os esquemas diretos explícitos utilizam a informação da variável no tempo atual (k) em diferentes seções, para o cálculo da variável na seção (i), no tempo seguinte ($k+1$), conforme ilustrado na **FIGURA 11**. Portanto a solução é dada por uma equação explícita da variável desconhecida, em função dos valores conhecidos. Estes esquemas avaliam a derivada com relação ao espaço, no tempo (k). (QUEIROZ,1991)

FIGURA 11 - Grade Computacional para Esquema Explícito

Vários esquemas explícitos têm sido desenvolvidos, apropriados às condições do escoamento a ser modelado, diferenciando-se basicamente, pela técnica de discretização adotada. (GUANARATNAM, 1970).

Entre os vários métodos que seguem esquemas explícitos (PORTO, 1999), utilizados na solução de problemas transitórios em escoamentos livres, está o esquema difusivo, em que as aproximações são descritas na forma:

$$\frac{\partial V}{\partial x} \approx \frac{V_{i+1}^k - V_{i-1}^k}{2\Delta x} \quad (2.41)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} \approx \frac{V_i^{k+1} - [\alpha V_i^k + (1-\alpha)(V_{i+1}^k + V_{i-1}^k)/2]}{\Delta t} \quad (2.42)$$

em que $0 \leq \alpha \leq 1$ é um parâmetro de ponderação chamado fator de relaxação. Substituindo estas aproximações na equação da continuidade, equação(2.9) , e na equação da quantidade de movimento, equação(2.21), tem-se:

$$y_i^{k+1} = \alpha y_i^k + \frac{(1-\alpha)(y_{i+1}^k + y_{i-1}^k)}{2} - \frac{\Delta t}{2\Delta x} \left[V_i^k (y_{i+1}^k - y_{i-1}^k) + \left(\frac{A}{B} \right)_i^k (V_{i+1}^k - V_{i-1}^k) \right] \quad (2.43)$$

$$V_i^{k+1} = \alpha V_i^k + \frac{(1-\alpha)(V_{i+1}^k + V_{i-1}^k)}{2} - \frac{\Delta t}{2\Delta x} \left[V_i^k (V_{i+1}^k - V_{i-1}^k) + g(y_{i+1}^k - y_{i-1}^k) \right] + g(S_0 - S_{f_i}^k) \Delta t \quad (2.44)$$

Estas duas equações, são aplicadas para produzir os valores das variáveis dependentes somente nos nós interiores, sendo que os nós de fronteira são dependentes das condições de contorno de extremidades do canal.

Para que haja estabilidade numérica de um esquema explícito, o intervalo de tempo Δt deve ser limitado pelo critério de Courant [DOOGE (1986); GRIJSEN (1986); GUANARATNAM (1970); e outros]. Portanto a seguinte desigualdade deve ser verificada:

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{(V \pm c)_{\max}} \quad (2.45)$$

onde:

$V = V(x,t)$ é a velocidade média do escoamento

$c = c(x,t)$ é a celeridade da onda de pequena amplitude, definida como $\sqrt{gh}$, sendo $h = h(x,t)$ a profundidade média

$(V \pm c)_{\max}$ é o maior valor absoluto previsto para a velocidade absoluta da onda

GUANARATNAM (1970), demonstrou que o critério de Courant não é uma condição suficiente para garantir a estabilidade de um esquema explícito. Apresentou como uma condição suficiente, em adição ao critério citado, a seguinte desigualdade

$$\Delta t \leq \frac{\sqrt{\left(1 + 2 \left| \frac{V}{c} \right| \right)} - 1}{\left| \frac{V}{c} \right| \frac{gS_0}{V}} \quad (2.46)$$

Em relação à convergência dos esquemas explícitos, um fator limitante é o número de seções por comprimento de onda simulada $L / \Delta x$ (TUCCI, 1980). O referido autor afirma que esta relação deve ser pelo menos igual a 10, para que se obtenha uma precisão razoável.

A vantagem dos esquemas explícitos é a facilidade de formulação e programação computacional. Entretanto uma grande desvantagem do método é a limitação do intervalo de tempo Δt , em decorrência da condição de estabilidade ou condição de Courant.

2.2.3.1.2 Esquemas Diretos Implícitos

Dada a limitação em Δt imposta aos esquemas explícitos, e considerando o avanço da tecnologia computacional, surge como solução os esquemas implícitos de diferenças finitas.

Os esquemas implícitos (QUEIROZ, 1991), utilizam informações no tempo atual (k) e no tempo seguinte ($k+1$), em diferentes seções, para o cálculo da variável na seção (i) no tempo seguinte, o que também pode ser visualizado através da **FIGURA 11**. Estes esquemas avaliam a derivada com relação ao espaço, no tempo ($k+1$). Diferenciam-se entre si, pela formulação das equações algébricas resultantes (linear ou não linear), assim como pelo número de pontos de uma malha retangular.

AMEIN & CHU (1975) comentam que o desenvolvimento dos esquemas implícitos tem sido estimulado pela necessidade prática de uso de grandes intervalos de tempo.

Existem diversos esquemas implícitos de comprovada eficácia. Um destes esquemas mais utilizados, segundo (PORTO, 1999), para a análise do escoamento não permanente com superfície livre é o esquema de Preissmann, apresentado por LIGGET & CUNGE (1975).

Este esquema parte de uma função $f(x,t)$ contínua e derivável, como a velocidade média V ou a altura d'água y . Esta função e suas derivadas são aproximadas, incorrendo-se

em um erro de truncamento, segundo o esquema mostrado pela **FIGURA 12**, por diferenças finitas, na forma:

$$f(x, t) \approx \theta [\phi f_{i+1}^{k+1} + (1-\phi) f_i^{k+1}] + (1-\theta) [\phi f_{i+1}^k + (1-\phi) f_i^k]$$

$$\frac{\partial f}{\partial x} \approx \frac{1}{\Delta x} [\theta (f_{i+1}^{k+1} - f_i^{k+1}) + (1-\theta) (f_{i+1}^k - f_i^k)]$$

$$\frac{\partial f}{\partial t} \approx \frac{1}{\Delta t} [\phi (f_{i+1}^{k+1} - f_{i+1}^k) + (1-\phi) (f_i^{k+1} - f_i^k)] \quad (2.47)$$

em que θ e ϕ são fatores de ponderação no tempo e no espaço, respectivamente, assumindo valores entre 0 e 1.

FIGURA 12 - Esquema de Diferenças Finitas

para $\phi = 0,5$, as equações (2.47) constituem o esquema clássico de Preissmann, o que resulta em:

- se $\theta = 0$, o esquema é completamente explícito;
- se $\theta = 1$, o esquema é completamente implícito;
- se $\theta = 0,5$, o esquema é implícito centrado a quatro pontos.

Para assegurar que o esquema seja numericamente preciso e estável, recomenda-se usar um valor do coeficiente de ponderação $0,55 \leq \theta \leq 1$.

A substituição das aproximações dadas pelas equações (2.47) nas equações completas de Saint-Venant, é contemplada no objeto desta pesquisa e, para tanto, deverá ser demonstrada posteriormente e oportunamente na abordagem específica dos casos estudados.

HROMADKA II et al (1985) propôs um esquema implícito de quatro pontos, progressivo, aplicado ao modelo dinâmico, onde as equações completas de Saint-Venant são discretizadas, resultando em equações algébricas lineares que são resolvidas pelo método de dupla varredura.

Em suma, os esquemas implícitos, aplicados convenientemente a casos específicos, permitem avaliar com precisão e rapidez os dados obtidos, como solução de inúmeros problemas práticos e, por hora, complexos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a aplicação do modelo computacional nos casos abordados por esta pesquisa, lançou-se mão de um caso simples para testar o modelo. Trata-se de uma simplificação realizada a partir de um caso real (estuário do Rio Cocó, situado em Fortaleza-CE) estudado em paralelo. Consiste de um canal com geometria retangular, simplificando a geometria característica do estuário, onde o escoamento é influenciado pelas condições de maré à jusante e o seu hidrograma de cheia à montante, que são as condições de contorno do problema.

Na seqüência portanto, é apresentado primeiramente os procedimentos realizados para teste do modelo computacional e, posteriormente, a aplicação deste, com as devidas adequações, aos dois casos previstos: *Canal da Usina Monjolinho* e *Canal do Trabalhador*.

- **Teste do Modelo Computacional**

Para a implementação do modelo computacional foi utilizado linguagem FORTRAN 6.1 na versão VISUAL, com dados de entrada e saída em arquivos texto. A escolha da linguagem deve-se ao amplo conhecimento da mesma no meio acadêmico, possuindo várias sub-rotinas prontas para aplicação, somando-se ainda o aspecto da velocidade de processamento, por se tratar de uma linguagem compilada. Além disso, permite trabalhar em interface com outras linguagens, como C++ por exemplo. A versão VISUAL proporciona ainda a opção de elaborar gráficos a partir dos comandos de programação, o que representava uma desvantagem do FORTRAN em relação à outras linguagens

Analisando a eficiência do modelo para a resolução do sistema de equações lineares, através da coerência dos dados de saída produzidos na simulação de teste, passou-se à sua aplicação aos dois casos reais previstos por esta pesquisa, com adequações convenientes nas rotinas implementadas. Cabe ressaltar que neste caso não há validação do modelo, uma vez que não houve comparação com dados reais ou experimentais.

A seguir são apresentados o desenvolvimento do modelo matemático, o esquema de aproximação numérica utilizado, a discretização geral das equações e as simplificações cabíveis para caso particular, além da descrição do modelo computacional para este teste.

Desenvolvimento do Modelo Matemático

- **equações governantes**

(1) Continuidade:

$$A \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial A}{\partial x} + B \frac{\partial y}{\partial t} \pm q_{LAT} = 0 \quad (3.0)$$

ou

$$A \frac{\partial V}{\partial x} + VB \frac{\partial y}{\partial x} + B \frac{\partial y}{\partial t} \pm q_{LAT} = 0 \quad (3.1)$$

onde

A = área da seção transversal – (m²)

B = largura da superfície livre na seção – (m)

$\frac{\partial V}{\partial x}$ = variação da velocidade média do escoamento na direção x - (m/s)

$\frac{\partial y}{\partial x}$ = variação da altura d'água do escoamento ao longo do canal – (m)

$\frac{\partial y}{\partial t}$ = evolução da altura d'água no tempo – (m)

q_{LAT} = contribuição de vazão lateral (m³/s.m)

que dividida por B fica

$$\frac{A}{B} \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} \pm \frac{q_{LAT}}{B} = 0 \quad (3.2)$$

reescrivendo

$$\frac{\partial y}{\partial t} + V \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{A}{B} \frac{\partial V}{\partial x} \pm \frac{q_{LAT}}{B} = 0 \quad (3.3)$$

como

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{\partial z}{\partial x} \quad \text{e} \quad \frac{\partial y}{\partial t} = \frac{\partial h}{\partial t} - \frac{\partial z}{\partial t} \quad (\text{ver FIGURA 5}) \quad (3.4)$$

sendo

$$\pm \frac{\partial z}{\partial x} = S_0 \quad \text{e} \quad \frac{\partial z}{\partial t} = 0 \quad (3.5)$$

a equação geral fica

$$\frac{\partial h}{\partial t} + V \frac{\partial h}{\partial x} \pm VS_0 + \frac{A}{B} \frac{\partial V}{\partial x} \pm \frac{q_{LAT}}{B} = 0 \quad (3.6)$$

onde S_0 (m/m) é a declividade de fundo do canal.

(2) Quantidade de Movimento:

$$S_f - S_0 + \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} = 0 \quad (3.7)$$

onde

S_f = declividade da linha de energia - (m/m)

$\frac{\partial V}{\partial x}$ = variação da velocidade média do escoamento na direção x - (m/s)

$\frac{\partial V}{\partial t}$ = variação da velocidade média do escoamento ao longo do tempo t - (m/s)

g = aceleração da gravidade - (m/s²)

mas

$$S_0 = \pm \frac{\partial z}{\partial x}, \quad S_f = \frac{V^2}{Ch^2 R_H} \quad \text{e} \quad \pm \frac{\partial z}{\partial x} = \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{\partial y}{\partial x} \quad (\text{ver FIGURA 5}) \quad (3.8)$$

onde, introduzindo essas definições na equação principal, resulta

$$\frac{V^2}{Ch^2 R_H} + \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} = 0 \quad (3.9)$$

multiplicando toda a equação por g

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{g}{Ch^2 R_H} V|V| + g \frac{\partial h}{\partial x} = 0 \quad (3.10)$$

onde

R_H = raio hidráulico médio entre seções ($R_H = \frac{A_m}{P_m}$)

Ch = coeficiente de Chezy, que depende do raio hidráulico e do coeficiente de Manning n

($Ch = \frac{R_H^{1/6}}{n}$), sendo que C e R_H são determinados para cada intervalo de tempo discreto.

- **aproximação das equações**

Um dos esquemas mais utilizados para a análise do escoamento variável em canais é o esquema implícito de diferenças finitas de Preissmann (LIGGET e CUNGE 1975), dado por

$$\begin{aligned}\frac{\partial f}{\partial t} &= \frac{1}{\Delta t} [\phi(f_{i+1}^{k+1} - f_{i+1}^k) + (1-\phi)(f_i^{k+1} - f_i^k)] \\ \frac{\partial f}{\partial x} &= \frac{1}{\Delta x} [\theta(f_{i+1}^{k+1} - f_i^{k+1}) + (1-\theta)(f_{i+1}^k - f_i^k)]\end{aligned}\quad (3.11)$$

sendo ϕ e θ fatores de ponderação onde, para $\phi = 0,5$ e $\theta = 1$ tem-se o esquema completamente implícito de Preissmann apresentado como segue

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{1}{2} \left[\frac{(f_{i+1}^{k+1} - f_{i+1}^k)}{\Delta t} + \frac{(f_i^{k+1} - f_i^k)}{\Delta t} \right] \quad \text{e} \quad \frac{\partial f}{\partial x} = \frac{f_{i+1}^{k+1} - f_i^{k+1}}{\Delta x} \quad (3.12)$$

onde o valor médio da variável f é calculado por

$$\bar{f} = \frac{f_{i+1}^k + f_i^k}{2} \quad (3.13)$$

sendo i a representação das seções, k o tempo de cálculo e f o valor representativo de qualquer variável do problema que, para o caso em questão, é dado por V (m/s) e h (m).

- **discretização das equações**

(1) Continuidade:

Substituindo o esquema de aproximação na equação (3.6) tem-se

$$\frac{1}{2} \left[\frac{h_{i+1}^{k+1} - h_{i+1}^k}{\Delta t} + \frac{h_i^{k+1} - h_i^k}{\Delta t} \right] + \bar{V} \left[\frac{h_{i+1}^{k+1} - h_i^{k+1}}{\Delta x} \right] \pm \bar{V} S_0 + \frac{\bar{A}}{\bar{B}} \left[\frac{V_{i+1}^{k+1} - V_i^{k+1}}{\Delta x} \right] \pm \frac{q_{LAT}}{B} = 0 \quad (3.14)$$

sendo as variáveis que caracterizam a média linearizadas no tempo k , em que as condições do escoamento são supostamente conhecidas. Multiplicando toda equação por $2\Delta t$

$$h_{i+1}^{k+1} - h_{i+1}^k + h_i^{k+1} - h_i^k + \frac{2\Delta t}{\Delta x} \bar{V} (h_{i+1}^{k+1} - h_i^{k+1}) \pm 2\Delta t \bar{V} S_0 + \frac{2\Delta t}{\Delta x} \frac{\bar{A}}{\bar{B}} (V_{i+1}^{k+1} - V_i^{k+1}) \pm \frac{2\Delta t q_{LAT}}{B} = 0 \quad (3.15)$$

$$\text{fazendo } \frac{2\Delta t}{\Delta x} = \alpha \quad (3.16)$$

$$h_{i+1}^{k+1} - h_{i+1}^k + h_i^{k+1} - h_i^k + \alpha \bar{V} (h_{i+1}^{k+1} - h_i^{k+1}) \pm 2\Delta t \bar{V} S_0 + \alpha \frac{\bar{A}}{\bar{B}} (V_{i+1}^{k+1} - V_i^{k+1}) \pm \frac{2\Delta t q_{LAT}}{B} = 0 \quad (3.17)$$

rearranjando em função de k e $k+1$

$$h_{i+1}^{k+1} + h_i^{k+1} + \alpha \bar{V} h_{i+1}^{k+1} - \alpha \bar{V} h_i^{k+1} + \alpha \frac{\bar{A}}{\bar{B}} V_{i+1}^{k+1} - \alpha \frac{\bar{A}}{\bar{B}} V_i^{k+1} = h_i^k + h_{i+1}^k \pm 2\Delta t \bar{V} S_0 \pm \frac{2\Delta t q_{LAT}}{B} \quad (3.18)$$

como

$$\bar{h} = \frac{h_{i+1}^k + h_i^k}{2}, \text{ então } h_{i+1}^k + h_i^k = 2\bar{h} \quad (3.19)$$

substituindo e rearranjando

$$-\alpha \frac{\bar{A}}{\bar{B}} V_i^{k+1} + \left(1 - \alpha \bar{V}\right) h_i^{k+1} + \alpha \frac{\bar{A}}{\bar{B}} V_{i+1}^{k+1} + \left(1 + \alpha \bar{V}\right) h_{i+1}^{k+1} = 2\bar{h} \pm 2\Delta t \bar{V} S_0 \pm \frac{2\Delta t q_{LAT}}{B} \quad (3.20)$$

denominando

$$A_J = -\alpha \frac{\bar{A}}{\bar{B}}; \quad B_J = \left(1 - \alpha \bar{V}\right); \quad C_J = \alpha \frac{\bar{A}}{\bar{B}}; \quad D_J = \left(1 + \alpha \bar{V}\right) \text{ e}$$

$$E_J = 2\bar{h} \pm 2\Delta t \bar{V} S_0 + \frac{2\Delta t q_{LAT}}{B} \text{ (para entrada de vazão lateral)}$$

$$E_J = 2\bar{h} \pm 2\Delta t \bar{V} S_0 - \frac{2\Delta t q_{LAT}}{B} \text{ (para saída de vazão lateral)} \quad (3.21)$$

se não ocorre entrada e saída de vazão lateral, o termo E_J fica

$$E_J = 2\bar{h} \pm 2\Delta t \bar{V} S_0 \quad (3.22)$$

ou

$$E_J = E_{J1} \pm E_{J2} \quad (3.23)$$

sendo

E_{J2} = positivo (canal em auge)

E_{J2} = negativo (canal em declive)

Considerando neste caso a hipótese de canal horizontal e ainda retangular, tem-se

$$E_J = 2\bar{h} \quad \text{com} \quad \begin{aligned} A_J &= -\alpha \bar{h} \\ C_J &= +\alpha \bar{h} \end{aligned} \quad (3.24)$$

A equação discretizada da continuidade é da forma

$$A_J V_i^{k+1} + B_J h_i^{k+1} + C_J V_{i+1}^{k+1} + D_J h_{i+1}^{k+1} = E_J \quad (3.25)$$

(2) Quantidade de Movimento:

Substituindo o esquema de aproximação na equação (3.10) fica

$$\frac{1}{2} \left[\frac{V_{i+1}^{k+1} - V_{i+1}^k}{\Delta t} + \frac{V_i^{k+1} - V_i^k}{\Delta t} \right] + \bar{V} \left[\frac{V_{i+1}^{k+1} - V_i^{k+1}}{\Delta x} \right] + \frac{g}{Ch^2} \left[\frac{V_{i+1}^{k+1} + V_i^{k+1}}{2} \right] \frac{|\bar{V}|}{R_H} + g \left[\frac{h_{i+1}^{k+1} - h_i^{k+1}}{\Delta x} \right] = 0 \quad (3.26)$$

sendo as variáveis que caracterizam a média linearizadas no tempo k, em que as condições do escoamento são supostamente conhecidas. Multiplicando toda equação por $2\Delta t$

$$V_{i+1}^{k+1} - V_{i+1}^k + V_i^{k+1} - V_i^k + \frac{2\Delta t}{\Delta x} \bar{V} (V_{i+1}^{k+1} - V_i^{k+1}) + \frac{g\Delta t |\bar{V}|}{Ch^2 R_H} V_i^{k+1} + \frac{g\Delta t |\bar{V}|}{Ch^2 R_H} V_{i+1}^{k+1} + \frac{2\Delta t}{\Delta x} g (h_{i+1}^{k+1} - h_i^{k+1}) = 0 \quad (3.27)$$

da equação (3.16), $\frac{2\Delta t}{\Delta x} = \alpha$

$$V_{i+1}^{k+1} - V_{i+1}^k + V_i^{k+1} - V_i^k + \alpha \bar{V} (V_{i+1}^{k+1} - V_i^{k+1}) + \frac{g\Delta t |\bar{V}|}{Ch^2 R_H} V_i^{k+1} + \frac{g\Delta t |\bar{V}|}{Ch^2 R_H} V_{i+1}^{k+1} + \alpha g (h_{i+1}^{k+1} - h_i^{k+1}) = 0 \quad (3.28)$$

rearranjando em função de k e k+1

$$V_{i+1}^{k+1} + V_i^{k+1} + \alpha \bar{V} (V_{i+1}^{k+1} - V_i^{k+1}) + \frac{g\Delta t |\bar{V}|}{Ch^2 R_H} V_i^{k+1} + \frac{g\Delta t |\bar{V}|}{Ch^2 R_H} V_{i+1}^{k+1} + \alpha g (h_{i+1}^{k+1} - h_i^{k+1}) = V_i^k + V_{i+1}^k \quad (3.29)$$

como

$$\bar{V} = \frac{V_{i+1}^k + V_i^k}{2}, \text{ então } V_{i+1}^k + V_i^k = 2\bar{V}, \text{ e portanto} \quad (3.30)$$

$$V_{i+1}^{k+1} + V_i^{k+1} + \alpha \bar{V} V_{i+1}^{k+1} - \alpha \bar{V} V_i^{k+1} + \frac{g\Delta t |\bar{V}|}{Ch^2 R_H} V_i^{k+1} + \frac{g\Delta t |\bar{V}|}{Ch^2 R_H} V_{i+1}^{k+1} + \alpha g h_{i+1}^{k+1} - \alpha g h_i^{k+1} = 2\bar{V} \quad (3.31)$$

assim a equação discretizada fica

$$\left(1 - \alpha \bar{V} + \frac{g\Delta t |\bar{V}|}{Ch^2 R_H} \right) V_i^{k+1} - \alpha g h_i^{k+1} + \left(1 + \alpha \bar{V} + \frac{g\Delta t |\bar{V}|}{Ch^2 R_H} \right) V_{i+1}^{k+1} + \alpha g h_{i+1}^{k+1} = 2\bar{V} \quad (3.32)$$

chamando

$$A_{JL} = \left(1 - \alpha \bar{V} + \frac{g\Delta t |\bar{V}|}{Ch^2 R_H} \right); \quad B_{JL} = -\alpha g; \quad C_{JL} = \left(1 + \alpha \bar{V} + \frac{g\Delta t |\bar{V}|}{Ch^2 R_H} \right); \quad D_{JL} = \alpha g$$

$$\text{e } E_{JL} = 2\bar{V} \quad (3.33)$$

A equação discretizada é da forma

$$A_{JL}V_i^{k+1} + B_{JL}h_i^{k+1} + C_{JL}V_{i+1}^{k+1} + D_{JL}h_{i+1}^{k+1} = E_{JL} \quad (3.34)$$

Aplicação do Método de Solução para o Caso-Teste

Para um melhor entendimento do método de solução, preferiu-se apresentá-lo dentro da abordagem do exemplo em teste, facilitando sua generalização na ampliação do presente estudo, o que deve ser feito basicamente pela adaptação das características geométricas, das particularidades das seções discretas bem como das condições de contorno do problema em pauta.

Portanto, o caso aqui estudado, como citado anteriormente, consiste de um canal retangular que desemboca no mar, com um número discreto de seções $N_Z = 5$ seções, enumeradas de jusante para montante, tendo as mesmas uma largura $B_i = 20\text{m}$, sendo a extensão do canal $l = 2000\text{m}$. As condições de contorno do problema são o hidrograma de entrada a montante, e a equação da maré a jusante. Na **FIGURA 13** é apresentado o esquema do caso em estudo

FIGURA 13 – Esquema do Caso Estudado para Teste do Modelo

Pelas equações matemáticas discretizadas anteriormente, tem-se o seguinte sistema:

$$\begin{aligned}
A_{J1}V_1^2 + B_{J1}h_1^2 + C_{J1}V_2^2 + D_{J1}h_2^2 &= E_{J1} \\
A_{JL1}V_1^2 + B_{JL1}h_1^2 + C_{JL1}V_2^2 + D_{JL1}h_2^2 &= E_{JL1} \\
A_{J2}V_2^3 + B_{J2}h_2^3 + C_{J2}V_3^3 + D_{J2}h_3^3 &= E_{J2} \\
A_{JL2}V_2^3 + B_{JL2}h_2^3 + C_{JL2}V_3^3 + D_{JL2}h_3^3 &= E_{JL2} \\
A_{J3}V_3^4 + B_{J3}h_3^4 + C_{J3}V_4^4 + D_{J3}h_4^4 &= E_{J3} \\
A_{JL3}V_3^4 + B_{JL3}h_3^4 + C_{JL3}V_4^4 + D_{JL3}h_4^4 &= E_{JL3} \\
A_{J4}V_4^5 + B_{J4}h_4^5 + C_{J4}V_5^5 + D_{J4}h_5^5 &= E_{J4} \\
A_{JL4}V_4^5 + B_{JL4}h_4^5 + C_{JL4}V_5^5 + D_{JL4}h_5^5 &= E_{JL4}
\end{aligned} \tag{3.35}$$

onde os índices sobrescritos de V e h representam o tempo do cálculo, e os índices subscritos as seções consideradas no mesmo. Os valores de A,B,C,D e E são determinados pelas expressões desenvolvidas anteriormente em caráter explícito. Desta forma pode-se concluir que, para $N_Z = n$ seções, o sistema é constituído por $2.(n-1)$ equações e $2.n$ incógnitas, o que representa neste caso um número de 8 equações e 10 incógnitas. Desta maneira, são necessárias mais duas equações para possibilitar a resolução do sistema, que são exatamente os contornos do problema. Introduzindo os contornos ao sistema, este fica

$$\begin{aligned}
h_1 &= F_1 \\
A_{J1}V_1^2 + B_{J1}h_1^2 + C_{J1}V_2^2 + D_{J1}h_2^2 &= E_{J1} \\
A_{JL1}V_1^2 + B_{JL1}h_1^2 + C_{JL1}V_2^2 + D_{JL1}h_2^2 &= E_{JL1} \\
A_{J2}V_2^3 + B_{J2}h_2^3 + C_{J2}V_3^3 + D_{J2}h_3^3 &= E_{J2} \\
A_{JL2}V_2^3 + B_{JL2}h_2^3 + C_{JL2}V_3^3 + D_{JL2}h_3^3 &= E_{JL2} \\
A_{J3}V_3^4 + B_{J3}h_3^4 + C_{J3}V_4^4 + D_{J3}h_4^4 &= E_{J3} \\
A_{JL3}V_3^4 + B_{JL3}h_3^4 + C_{JL3}V_4^4 + D_{JL3}h_4^4 &= E_{JL3} \\
A_{J4}V_4^5 + B_{J4}h_4^5 + C_{J4}V_5^5 + D_{J4}h_5^5 &= E_{J4} \\
A_{JL4}V_4^5 + B_{JL4}h_4^5 + C_{JL4}V_5^5 + D_{JL4}h_5^5 &= E_{JL4} \\
V_5 &= F_5
\end{aligned} \tag{3.36}$$

Portanto, um sistema com 10 equações e 10 incógnitas. $F_1 = h_1$ é obtido pela equação da maré a jusante dada por

$$F_1 = h_1 = h_{MARÉ} = h_{inic} + A \operatorname{sen} \left[\left(\frac{2\Pi}{T} \right) t \right] \tag{3.37}$$

sendo:

$h_{inic} = 0,36\text{m}$ = altura inicial da maré (quando $t=0\text{h}$);

$A = 1,60\text{m}$ = amplitude da maré;

$T = 12\text{h}$ = período da maré;

t = tempo do cálculo em horas

$F_5 = V_5$, condição de contorno de montante, é determinado pela combinação de duas expressões. Primeiro, com a vazão lida do hidrograma de entrada para o tempo de cálculo considerado, determina-se a profundidade d'água iterativamente pela expressão de Manning dada por

$$\frac{n \cdot Q}{\sqrt{S_0}} = A \cdot (R_H)^{2/3} \quad (3.38)$$

como o canal é retangular, a expressão fica

$$\frac{n \cdot Q}{\sqrt{S_0}} = (b \cdot h_s) \left(\frac{b \cdot h_s}{b + 2 \cdot h_s} \right)^{2/3} \quad (3.39)$$

onde

$n = 0,035$ = coeficiente de Manning;

$S_0 = 0,0001\text{m/m}$ = declividade de fundo do canal (quase nulo no primeiro trecho de montante);

Q = vazão(m^3/s) lida do hidrograma de entrada;

$b = B_i = 20\text{m}$ = largura do canal

A determinação de h_5 se dá com a aplicação do método iterativo de Newton Raphson. Em segundo momento, de posse de h_5 , determina-se $v_5 = F_5$ pela expressão da continuidade como sendo

$$F_5 = V_5 = -\frac{Q}{b \cdot h_5} \quad (3.40)$$

Para a resolução do sistema, são dados ainda

$Q_i = -1,00 \text{ m}^3/\text{s}$ = vazão inicial no canal (considerada negativa de montante para jusante);

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$ = aceleração da gravidade;

$z = 500 \text{ m}$ = espaçamento entre seções;

$\Delta t = 3600 \text{ s}$ = intervalo de tempo de cálculo;

$N_t = 6$ = número de intervalos de tempo para cálculo

Como a equação discreta do movimento é diretamente dependente do coeficiente de Chezy (Ch), o mesmo é determinado por Manning de acordo com a expressão

$$Ch = \frac{1}{n} R_H^{1/6} \quad (3.41)$$

onde n (coeficiente de Manning) e bi (largura do canal) são dados do problema, e R_H (raio hidráulico) calculado explicitamente através da profundidade média (hm) entre seções em função do tempo.

O sistema de equações supra descrito é resolvido manualmente por substituição para cada intervalo de tempo discreto, cujos resultados de $h(x,t)$ e $v(x,t)$ são comparados posteriormente com os obtidos pelo programa.

Com o propósito de implementar o modelo computacional para resolução e avaliação dos dados de saída do problema apresentado, na **FIGURA 14** o sistema definido anteriormente é disposto em forma matricial.

Matriz A										Vetor U	Vetor B
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	h_1	F_1
B_{J1}	A_{J1}	D_{J1}	C_{J1}	0	0	0	0	0	0	V_1	E_{J1}
B_{JL1}	A_{JL1}	D_{JL1}	C_{JL1}	0	0	0	0	0	0	h_2	E_{JL1}
0	0	B_{J2}	A_{J2}	D_{J2}	C_{J2}	0	0	0	0	V_2	E_{J2}
0	0	B_{JL2}	A_{JL2}	D_{JL2}	C_{JL2}	0	0	0	0	h_3	E_{JL2}
0	0	0	0	B_{J3}	A_{J3}	D_{J3}	C_{J3}	0	0	V_3	E_{J3}
0	0	0	0	B_{JL3}	A_{JL3}	D_{JL3}	C_{JL3}	0	0	h_4	E_{JL3}
0	0	0	0	0	0	B_{J4}	A_{J4}	D_{J4}	C_{J4}	V_4	E_{J4}
0	0	0	0	0	0	B_{JL4}	A_{JL4}	D_{JL4}	C_{JL4}	h_5	E_{JL4}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	V_5	F_5

* =

FIGURA 14 – Sistema da Solução Computacional

A matriz A e o vetor B são determinados explicitamente no tempo K, e o vetor U, que é a incógnita do problema, determinado pela resolução do sistema em caráter implícito no tempo K+1. A resolução do sistema matricial é feita para cada intervalo de tempo estabelecido pela discretização temporal imposta para o problema.

Como o modelo computacional está embasado na resolução do sistema apresentado na FIGURA 14, que tem dimensão variável, é apresentado na FIGURA 15 o diagrama de blocos característico do modelo.

FIGURA 15 – Diagrama de Blocos

Modelo Computacional

O modelo desenvolvido em FORTRAM VISUAL é apresentado e comentado na seqüência.

PROGRAM ESCOAMENTO TRANSIENTE EM CANAIS

```

INTEGER cont,cont1,cont2
REAL*8 Hi,SAI,HID
REAL*8,ALLOCATABLE :: A(:),V(:),h(:),hm(:),Vm(:),Aj(:),Bj(:),
c Cj(:),Dj(:),Ej(:),Ajl(:),Bjl(:),Cjl(:),Djl(:),Ejl(:),Q(:),
c MATA(:,,:),B(:),U(:),BADDC(:,,:),hj(:),Vj(:)

```

Em primeiro momento são declaradas as variáveis e os vetores que serão utilizados no programa. Após esta etapa, são ativados os arquivos de entrada e saída de dados, sendo que o arquivo de saída será criado pelo programa.

C Ativando os Arquivos de Entrada e Saída

```

OPEN(1,FILE='HID.txt',STATUS='OLD')
OPEN(2,FILE='SAI.txt',STATUS='UNKNOWN')
OPEN(3,FILE='PARAM.txt',STATUS='OLD')

```

os arquivos 'HID.txt' e 'PARAM.txt' são os dados do hidrograma de entrada a montante e parâmetros do problema respectivamente.

Hid – Bloco de notas				Param – Bloco de notas			
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda
6	Dimensão do Arquivo Hidrograma			9.81,	(m/s ²)	aceleração da gravidade	
5.,	valor de Q(m ³ /s) para t=1h;			0.035,		coeficiente de Manning	
7.6,	valor de Q(m ³ /s) para t=2h;			0.0001,	(m/m)	declividade de fundo	
8.2,	valor de Q(m ³ /s) para t=3h;			20,	(m)	largura do canal	
6.,	valor de Q(m ³ /s) para t=4h;			2000,	(m)	comprimento do canal	
2.5,	valor de Q(m ³ /s) para t=5h;			1.60,	(m)	amplitude da maré	
1.	valor de Q(m ³ /s) para t=6h;			12,	(h)	período da maré	
				0.36,	(m)	altura inicial da maré	
				500,	(m)	espaçamento entre seções	
				3600,	(s)	intervalo de tempo de cálculo	
				1,	(m ³ /s)	vazão inicial no canal	
				5,		número de seções no canal	
				6,		número de intervalos de tempo	
				3.141592654		valor de Pi	

C Lendo a Dimensão do Arquivo Hidrograma

```

4 READ(1,4)N
  FORMAT(3I4)

```

C Lendo o Arquivo dos Parâmetros de Cálculo

```

READ(3,*)g      !(m/s2) aceleração da gravidade
READ(3,*)w      !coeficiente de Manning
READ(3,*)So     !(m/m)declividade de fundo do canal
READ(3,*)bi     !(m)largura do canal
READ(3,*)l      !(m)comprimento do canal
READ(3,*)ama    !(m)amplitude da maré
READ(3,*)T      !(h)período da maré
READ(3,*)Hi     !(m)altura inicial da maré
READ(3,*)Z      !(m)espaçamento entre seções
READ(3,*)Dt     !(s)intervalo de tempo de cálculo
READ(3,*)Qi     !(m3/s)vazão inicial no canal
READ(3,*)Nz     !número de seções no canal
READ(3,*)Nt     !número de intervalos de tempo para cálculo
READ(3,*)Pi

```

Como demonstrado, foi realizada a leitura da dimensão do arquivo 'HID.txt' e dos elementos do arquivo 'PARAM.txt'. Após este procedimento, é feita a atribuição da dimensão do sistema de matrizes e número de equações do sistema, de acordo com o número de seções discretizadas no arquivo de entrada e, então, os vetores utilizados no programa são alocados dinamicamente como demonstrado a seguir

C Atribuição da Dimensão do Sistema de Matrizes e

C Número de Equações

```

N=Nz*2
Ne=(2*Nz)-2

```

C Alocando os vetores

```

c ALLOCATE(A(Nz),V(Nz),h(Nz),hm(Nz-1),Vm(Nz-1),Aj(Nz-1),Bj(Nz-1),
c   Cj(Nz-1),Dj(Nz-1),Ej(Nz-1),Ajl(Nz-1),Bjl(Nz-1),
c   Cjl(Nz-1),Djl(Nz-1),Ejl(Nz-1),Q(Nt),BADc(4,Ne),
c   MATA(N,N+1),B(N),U(N),hj(Nz),Vj(Nz))

```

Na seqüência são calculadas as condições iniciais do escoamento, ou seja, $h(m)$ e $V(m/s)$ iniciais. A rotina de Newton Raphson é utilizada para a determinação de $h(m)$, e a velocidade $V(m/s)$ é obtida pela continuidade. Desta forma tem-se:

```

DO I=1,Nz
  IF(I.LE.1) THEN
    h(I)=Hi !equação da maré para t=0h
    A(I)=bi*h(I)
    V(I)=-Qi/A(I)
  ELSE
    h(I)=bi/10
    x=h(I)
10  Fh=(x*((bi*x)/((2*x)+bi))**.67))-((w*Qi)/(((So)**(.5))*bi))
    Fdh=((bi*x)/((2*x)+bi))**.67))+(((.67)*x)/((bi*x)/((
c  (2*x)+bi)**(.33))))*((bi)/((2*x)+bi))-((2*bi*x)/(((2*x)+bi)
c  **(.2))))))
    hk=x-((Fh)/(Fdh)) !rotina de Newton Raphson para cálculo de h(m)
    E=hk-x
    IF((E.LT.0.00001).AND.(E.GT.0)) THEN
      h(I)=hk
      A(I)=bi*h(I)
      V(I)=-Qi/A(I)
      Vm(I-1)=((V(I))+(V(I-1)))/2
      hm(I-1)=((h(I))+(h(I-1)))/2
    ELSE
      x=hk
      GOTO 10
    ENDIF
  ENDIF
ENDDO

```

Observando que a vazão é caracterizada na expressão por um sinal negativo. Isto se dá simplesmente em função da convenção adotada inicialmente (vazão negativa de montante para jusante), ou seja, uma mudança de convenção, representaria uma resposta igual em módulo. Após o cálculo, os dados são escritos no arquivo de saída 'SAI.txt' de acordo com a rotina

C Gravando as Condições Iniciais em Arquivo

```

WRITE(2,*)'MODELO UNIDIMENSIONAL P/ CÁLCULO DE
TRANSIENTE          HIDRÁULICO EM CANAIS RETANGULARES'
WRITE(2,*)" !pula uma linha
WRITE(2,*)'CONDIÇÕES INICIAIS DO ESCOAMENTO'
WRITE(2,*)" !pula uma linha
WRITE(2,*)'ALTURA D'ÁGUA INICIAL - h(m)'
WRITE(2,*)" !pula uma linha
DO I=1,Nz
  WRITE(2,15)I,h(I)
15  FORMAT('h',I1,',',F6.2)
ENDDO

```

```

16 WRITE(2,*)" !pula uma linha
    WRITE(2,*)'VELOCIDADE INICIAL - V(m/s)'
    WRITE(2,*)" !pula uma linha
    DO I=1,Nz
        WRITE(2,16)I,V(I)
        FORMAT('V',I1,',',F6.2)
    ENDDO
    WRITE(2,*)" !pula uma linha

```

Sequencialmente é realizada a leitura do hidrograma, a partir do arquivo de entrada 'HID.txt'.

C Lendo o Vetor Vazão Q(K)

```

DO K=1,Nt
    READ(1,*)Q(K)
ENDDO

```

Lidos os dados de vazão, inicializa-se o cálculo dos vetores A_j , B_j , C_j , D_j , E_j , A_{jL} , B_{jL} , C_{jL} , D_{jL} e E_{jL} , para cada intervalo de tempo, de acordo com a discretização temporal imposta na entrada e considerando os termos simplificados para hipótese de canal retangular, fundo plano e sem entrada lateral. Os procedimentos de cálculo desta parte do programa até o seu final, fazem parte de um mesmo laço **DO**, responsável pela variação temporal.

C Cálculo dos Vetores BADCE

```

DO K=1,Nt !início do laço DO responsável pela variação temporal
    DO I=1,Nz-1
        Ch=(1/w)*(((bi*hm(I))/(bi+(2*hm(I))))**(0.1666666667))!coef.deChezzy
        Aj(I)=-((2*Dt/Z)*hm(I))
        Bj(I)=(1-((2*Dt/Z)*Vm(I)))
        Cj(I)=((2*Dt/Z)*hm(I))
        Dj(I)=(1+((2*Dt/Z)*Vm(I)))
        Ej(I)=(2*hm(I))
        Ajl(I)=(1-((2*Dt/Z)*Vm(I)))+(g*Dt*ABS(Vm(I))*(bi+(2*hm(I))))/(
c      (Ch**2)*bi*hm(I))
        BjL(I)=-((2*Dt/Z)*g)
        CjL(I)=(1+((2*Dt/Z)*Vm(I)))+(g*Dt*ABS(Vm(I))*(bi+(2*hm(I))))/(
c      (Ch**2)*bi*hm(I))
        DjL(I)=((2*Dt/Z)*g)
        EjL(I)=(2*Vm(I))
    ENDDO

```

Os contornos F_1 e F_n também são calculados dentro do mesmo intervalo de tempo, como segue

C Cálculo dos Contornos F1 e Fn

```

20 F1=Hi+(ama*(SIN((2*Pi/T)*K))) !contorno jusante(EQ.Maré)
   x=Q(K)
   hn=bi/10
   Fhn=(hn*(((bi*hn)/((2*hn)+bi))**(.67)))-((w*x)/(((So)**(.5))
   *bi))
   Fdhn=((((bi*hn)/((2*hn)+bi))**(.67))+(((((.67)*hn)/((bi*hn)/((
   (2*hn)+bi)**(.33))))*((bi)/((2*hn)+bi))-((2*bi*hn)/((
   (2*hn)+bi)**(2))))))
   hkn=hn-((Fhn)/(Fdhn)) !rotina de Newton Raphson para cálculo de h(m)
   E=hkn-hn
   IF((E.LT.0.00001).AND.(E.GT.0))THEN
     hn=hkn
     An=bi*hn
     Vn=-(x/An)
     Fn=Vn ! contorno montante(Hidrograma)
   ELSE
     hn=hkn
   GOTO 20
   ENDIF

```

Para facilitar a alocação dos elementos da matriz A, utilizou-se uma matriz composta pelos vetores B_J, B_{JL}, A_J, A_{JL}, D_J, D_{JL}, C_J e C_{JL}. Para tanto, a alocação destes elementos na matriz chamada de BADC, ocorreu-se da seguinte forma

C Alocação dos Elementos de BADC

```

DO I=1,4
  cont=0
  DO J=1,Ne/2
    IF(I.EQ.1)THEN
      BADC(I,J+cont)=Bj(I+cont)
      BADC(I,J+cont+1)=Bjl(I+cont)
      cont=cont+1
    ELSEIF(I.EQ.2)THEN
      BADC(I,J+cont)=Aj(I-1+cont)
      BADC(I,J+cont+1)=Ajl(I-1+cont)
      cont=cont+1
    ELSEIF(I.EQ.3)THEN
      BADC(I,J+cont)=Dj(I-2+cont)
      BADC(I,J+cont+1)=Djl(I-2+cont)
      cont=cont+1
    ELSE
      BADC(I,J+cont)=Cj(I-3+cont)
      BADC(I,J+cont+1)=Cjl(I-3+cont)
      cont=cont+1
    ENDIF
  END DO
END DO

```

```

ENDIF
ENDDO
ENDDO

```

após este procedimento, a composição da matriz BADC fica

$$\begin{bmatrix} B_{J1} & B_{JL1} & B_{J2} & B_{JL2} & B_{J3} & B_{JL3} & B_{J4} & B_{JL4} \\ A_{J1} & A_{JL1} & A_{J2} & A_{JL2} & A_{J3} & A_{JL3} & A_{J4} & A_{JL4} \\ D_{J1} & D_{JL1} & D_{J2} & D_{JL2} & D_{J3} & D_{JL3} & D_{J4} & D_{JL4} \\ C_{J1} & C_{JL1} & C_{J2} & C_{JL2} & C_{J3} & C_{JL3} & C_{J4} & C_{JL4} \end{bmatrix}$$

o próximo passo é a alocação da matriz A(MATA) a partir da matriz BADC, de acordo com a rotina seguinte

C Alocação dos Elementos de MATA

```

MATA(1,1)=1
MATA(N,N)=1
cont=0
cont1=1
cont2=0
DO I=2,N-1
  cont1=cont1+1
  DO J=1,4
    MATA(I,J/J+cont)=BADC(J,J/J+cont2)
    cont=cont+1
  ENDDO
  IF((cont1/2*2-cont1).NE.0)THEN
    cont=I-1
  ELSEIF(cont1.EQ.2)THEN
    cont=0
  ELSE
    cont=I-2
  ENDIF
  cont2=cont2+1
ENDDO

```

a alocação dos elementos do vetor B é feita pela leitura dos vetores E_J e E_{JL} , e ainda dos contornos do problema dados por F_1 e F_n

C Alocação dos Elementos do Vetor B

```
cont=1
cont1=2
DO I=1,N
  IF(I.EQ.1)THEN
    B(I)=F1
  ELSEIF(I.EQ.N)THEN
    B(I)=Fn
  ELSEIF((I/2*2-I).EQ.0)THEN
    B(I)=Ej(I-cont)
    cont=cont+1
  ELSE
    B(I)=Ejl(I-cont1)
    cont1=cont1+1
  ENDIF
ENDDO
```

Para a resolução do sistema, utilizou-se o método de Gauss, que é um método geral. Lembre-se que o emprego de qualquer outro método adequado resultaria em um maior ou menor esforço computacional, o que não é objetivado pelo escopo desta pesquisa. A sub rotina de cálculo é apresentada no Anexo p.140, extraída da apostila FORTRAN POWER STATION do Departamento de Engenharia de Estruturas da EESC-USP.

C Para Resolução do Sistema, o Vetor B entrará como sendo a última coluna de MATA, isto é, (N+1).

```
DO I=1,N
  MATA(I,N+1)=B(I)
ENDDO
```

Portanto a solução do vetor U é dada após a chamada da sub-rotina para resolução do sistema, cujos resultados serão armazenados posteriormente no arquivo de saída 'SAI.txt', de acordo com os seguintes passos

C Chamando Sub-rotina para resolução do sistema

```
CALL SOLVER(MATA,U,N)
```

C Fim da resolução do sistema - Gravando o Resultado

```

WRITE(2,*)'RESOLUÇÃO DO SISTEMA'
WRITE(2,*)'TEMPO EM HORAS'
WRITE(2,31)K
31  FORMAT('t','=',I1)
    WRITE(2,*)'ALTURA D"AGUA - h(m)'
    cont=0
    DO J=1,N,2
        hj(J-cont)=U(J)
        WRITE(2,32)J-cont,hj(J-cont)
32      FORMAT('h',I1,',',F7.2)
        cont=cont+1
    ENDDO
    WRITE(2,*)" ! pula uma linha
    WRITE(2,*)'VELOCIDADE - V(m/s)'
    cont1=1
    DO J=2,N,2
        Vj(J-cont1)=U(J)
        WRITE(2,33)J-cont1,Vj(J-cont1)
33      FORMAT('V',I1,',',F8.3)
        cont1=cont1+1
    ENDDO
    WRITE(2,*)" !pula uma linha

```

Posteriormente a impressão do vetor U no arquivo de saída 'SAI.txt', as velocidades e profundidades médias $V_m(m/s)$ e $h_m(m)$ são recalculadas em função das velocidades e profundidades obtidas na resolução do sistema para cada seção no mesmo intervalo, e o laço DO que determina o cálculo de acordo com a discretização de tempo preestabelecida como dado de entrada, é fechado. Os arquivos de entrada e saída são fechados em seguida com a finalização do programa. Os passos descritos são ilustrados a seguir

C Recalculando h_m e V_m em função das novas Velocidades - $V(m/s)$ C e Altura D'água - $h(m)$, e fechando o laço DO temporal

```

DO I=2,Nz
    hm(I-1)=((hj(I))+(hj(I-1)))/2
ENDDO
DO I=2,Nz
    Vm(I-1)=((Vj(I))+(Vj(I-1)))/2
ENDDO
ENDDO ! fechando o laço DO, responsável pela variação de tempo
        imposta

```

C Fechando os Arquivos

```
CLOSE(1)
CLOSE(2)
CLOSE(3)
WRITE(*,60)
60  FORMAT(//////)
WRITE(*,*)'OPERAÇÃO COM SUCESSO'
WRITE(*,*)'pressione qualquer tecla para continuar'
WRITE(*,60)
```

C Fim do Programa

```
STOP
END
```

Após a aplicação do modelo computacional desenvolvido, foi possível determinar as profundidades e velocidades características das seções discretizadas em função da variação de tempo atribuída para o cálculo, cujos resultados são gravados no arquivo de saída 'SAI.txt'.

- 1º Caso : Canal de Alimentação da Usina Hidrelétrica Monjolinho

Breve Histórico

A Usina Monjolinho entrou em operação em 1893 e foi a primeira hidrelétrica a ser construída na América Latina (ESPÍNDOLA et al. 2000). De propriedade da “Companhia de Luz Elétrica de São Carlos”, a usina operava na época com duas máquinas monofásicas de 50 kw, a demanda necessária para a população local. A queda de água era de 33 metros, com

canal de adução de 250 metros. A Companhia Elétrica de São Carlos operou até 1907, quando foi substituída pela Companhia Paulista de Eletricidade – CPE.

O rápido crescimento da demanda de energia elétrica fez com que fosse construída em 1908 uma nova usina, utilizando todo o potencial da queda de água - 80 metros. A usina passou a operar com capacidade de 600 kW, com duas máquinas trifásicas de 300 kW cada uma.

Apenas em 1973, no dia 5 de setembro, a Companhia Paulista de Eletricidade passou o controle acionário para a Companhia Paulista de Força e Luz - CPFL. Em 1986, a usina foi incluída no processo de semi-automação implantado pela CPFL, que tinha como objetivo aumentar a produção de energia elétrica.

Desativada desde 1995, a CPFL retoma a geração de energia da primeira usina hidrelétrica do Estado de São Paulo, a Monjolinho. Com a reforma e a revisão de todo o maquinário, a Monjolinho está pronta para voltar a gerar energia para a região de São Carlos.

A principal obra realizada na usina foi a reconstrução e a automação da barragem, o que aumentou a confiabilidade do sistema. Após a reinauguração, em 18 de setembro de 2002, a Monjolinho passará a operar com uma capacidade de 600 kW de potência, a mesma de 1995, quando foi desativada.

Como parte das obras de repotenciação da usina, a simulação de escoamento transiente em seu canal de adução, objeto de estudo desta pesquisa, permitirá a avaliação do sistema de adução, prever as obras de correção necessárias bem como dar subsídios para a automação do sistema.

Localização e Dados Técnicos

Fonte: (www.cpfl.com.br)

Localização: Município de São Carlos - Estado de São Paulo, próximo ao bairro do Botafogo, localizada no acesso de terra que liga São Carlos e Ibaté, distante a 2,5 Km do Perímetro de São Carlos. Distância entre a sede e usina: 158,5 Km, sendo: 156,0 Km de Asfalto (SP-330/SP-310) e 2,5 Km de terra.

Condições à Montante	quant	un
Volume total do reservatório	263	m ³
Barragem concreto, tipo gravidade, extensão	30	m
Altura barragem	4,0	m
Cota coroamento	104	m
Nível d'água crítico	103,5	m
Nível d'água máximo	103,5	m
Nível d'água mínimo	101	m
Nível d'água máximo ocorrido	103	m
Vazão diária máxima observada	20	m ³ /s

Unidades Geradoras: Ano de instalação - 1909	quant	un
Número de unidades instaladas.....	2	un
Capacidade geradora nominal total.....	600	kW
Capacidade geradora efetiva total.....	480	kW

Turbina: FRANCIS, eixo horizontal, rotor gêmeo regulador de velocidade	quant	un
Potência unitária.....	380	cv
Queda líquida nominal.....	80	m
Engolimento nominal unitário.....	0,5	m ³ /s
Velocidade	900	rpm
Fabricação : Voith		

Gerador:	quant	un
Capacidade unitária.....	375	kWA
Fator de potência.....	0,8	-
Tensão.....	2.300	V
Corrente	95	A
Fabricação : AEG		
Órgãos de Descarga:	quant	un
Nº de comportas.....	7	un
Dimensão do vão.....	1,7x2	m
Capacidade de descarga no nível d'água máximo.....	10	m ³ /s
Nº de vertedores	1	un
Dimensão total do vertedouro	12	m
Capacidade total do vertedouro	20	m ³ /s
Canal de Adução:	quant	un
A céu aberto.....	1350	m
Conduto Forçado:	quant	un
De Aço:.....	219	m
Diâmetro externo.....	0,80	m
Espessura de chapa.....	6,35	mm
Altura de queda	80	m
Condição de Jusante:	quant	un
Nível de água crítico no canal de fuga	31	m
Nível máximo no canal de fuga.....	29	m
Nível de água mínimo no canal de fuga.....	27,8	m
Nível de água máximo no canal de fuga já registrado até 1979.....	28,8	m

Procedimentos

Além dos dados fornecidos pela CPFL, foi necessária a realização de levantamento topográfico para determinação dos dados de geometria do canal de adução. Através dos dados de topografia, foram determinadas as seções características para uma discretização espacial variável, de acordo com a necessidade de detalhamento. Em virtude do não detalhamento de todas as seções pela topografia, algumas delas foram levantadas por interpolação de cotas a partir da planta topográfica. Constatou-se pelo levantamento a pouca variação das dimensões do canal trapezoidal.

Caracterizada a geometria de todas as seções envolvidas, num total de trinta, cada uma foi dividida em elementos de área, onde foi possível determinar as equações reais de área, perímetro molhado e largura de superfície livre, todas funções da altura d'água. Para a utilização destes elementos geométricos ao modelo computacional, foi aplicada linha de tendência para cada uma das curvas obtidas e escolhida a função matemática mais adequada, através da utilização do método dos mínimos quadrados. As seções levantadas, suas funções, bem como os gráficos que retratam sua evolução, além da planta cadastral, são apresentados no APÊNDICE - Canal do Monjolinho.

A vazão utilizada para a geração de energia é de $0,517 \text{ m}^3/\text{s}$, sendo para tanto considerada como a vazão característica do regime permanente no canal de alimentação.

Para a aplicação do modelo computacional foram consideradas duas operações de controle:

- A primeira simulação permite avaliar se, para uma condição de repouso no canal, uma abertura instantânea na turbina à jusante provoca ou não a entrada de ar no conduto forçado.
- A simulação seguinte permite demonstrar, a partir dos dados de regime permanente obtidos na simulação anterior, se uma interrupção repentina no escoamento, dada pela paralisação da turbina, ocorre ou não transbordamento no canal.

Para a primeira simulação (abertura da turbina), foi necessário para “chute” inicial da velocidade de jusante, uma das condições de contorno do problema, a utilização do Step-Method, cujo cálculo partiu de um ponto de controle de funcionamento do sistema na

câmara de carga com $y = 1,95\text{m}$. Através deste cálculo, foi possível determinar a velocidade de chegada na referida câmara $v = 0,251\text{m/s}$, e a altura d'água constante na entrada do canal $y = 0,59\text{m}$. Com estas condições de contorno, é simulado a situação de abertura da turbina até se atingir o regime permanente, que naturalmente coincide com o determinado pelo Step-Method. Os dados de $h(\text{m})$ e $v(\text{m/s})$, para regime permanente, “tirados” desta simulação, atuam como dados de entrada para a segunda análise (fechamento da turbina).

O modelo computacional aplicado neste caso, além de tornar possível a avaliação do sistema de adução como um todo, atua como subsídio na automação dos sistemas de controle para as diversas operações desejadas. Na **FIGURA 16** é esboçado o esquema do caso em pauta. O canal apresenta geometria trapezoidal. Nas seções de 3 a 5 é composto por tubulação de aço em diâmetro de 1 m e, nas seções de 7 a 9 com dois tubos de aço em diâmetro de 0,80 m, com 10 m e 14 m de comprimento respectivamente. A discretização de espaço foi definida em 30 seções com espaçamentos (Δx) variáveis. O intervalo de tempo para cálculo (Δt) foi discretizado a cada 10 s (dez segundos) num total de 2 h (duas horas).

Esquema:

FIGURA 16 – Esquema do Canal de Alimentação da UHE-Monjolinho

Modelo Computacional

O modelo computacional apresentado e comentado na sequência, contempla as adequações e ajustes realizados a partir da configuração ilustrada em testando o modelo. Para tanto, várias rotinas comentadas anteriormente são mantidas. Assim, limitar-se-á a descrição dos tópicos não comuns e particulares deste caso.

- 1ª Simulação (Abertura da Turbina)

PROGRAM ESCOAMENTO TRANSIENTE EM CANAIS

```

INTEGER cont,cont1,cont2
REAL*8 SAI
REAL*8,ALLOCATABLE :: A(:),V(:),y(:),z(:),h(:),hm(:),Vm(:),
c Aj(:),Bj(:),Cj(:),Dj(:),Ej(:),Ajl(:),Bjl(:),Cjl(:),Djl(:),
c Ejl(:),MATA(:,,:),B(:),U(:),BADC(:,,:),Rh(:),Am(:),Pm(:),
c P(:),hmin(:),Bi(:),Bim(:),So(:),Dx(:)

```

Declaração das variáveis e vetores do programa. Como o canal agora não é retangular e nem possui fundo horizontal, torna-se necessário a consideração dos parâmetros declividade de fundo (So), cotas de fundo (z), e alturas d'água (y e h). Os arquivos texto utilizados para a entrada e saída de dados são abertos na sequência

C Ativando os Arquivos de Entrada e Saída

```

OPEN(1,FILE='PARAM.txt',STATUS='OLD')
OPEN(2,FILE='SAI.txt',STATUS='UNKNOWN')
OPEN(4,FILE='COTAS.txt',STATUS='OLD')
OPEN(5,FILE='DELTAX.txt',STATUS='OLD')

```

O arquivo 'COTAS.txt' são as cotas do fundo do canal em relação ao plano de referência, determinadas topograficamente. 'DELTAX.txt' é o arquivo que contém o espaçamento entre as seções, discretizadas convenientemente. 'PARAM.txt' são os parâmetros complementares e, o arquivo 'SAI.txt', os dados de saída cujo arquivo é criado pelo programa.

COTAS – Bloco de notas				COTAS – Bloco de notas			
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda
3.02,	seção(01) - z(m)			2.86,	seção(06) - z(m)		
2.99,	seção(02) - z(m)			2.83,	seção(07) - z(m)		
2.91,	seção(03) - z(m)			2.82,	seção(08) - z(m)		
2.90,	seção(04) - z(m)			2.80,	seção(09) - z(m)		
2.89,	seção(05) - z(m)			2.85,	seção(10) - z(m)		

2.81, seção(11) - z(m)	2.44, seção(21) - z(m)
2.71, seção(12) - z(m)	2.42, seção(22) - z(m)
2.59, seção(13) - z(m)	2.30, seção(23) - z(m)
2.58, seção(14) - z(m)	2.19, seção(24) - z(m)
2.66, seção(15) - z(m)	2.11, seção(25) - z(m)
2.67, seção(16) - z(m)	2.10, seção(26) - z(m)
2.60, seção(17) - z(m)	2.07, seção(27) - z(m)
2.62, seção(18) - z(m)	2.04, seção(28) - z(m)
2.52, seção(19) - z(m)	1.97, seção(29) - z(m)
2.36, seção(20) - z(m)	1.00 seção(30) - z(m)

PARAM – Bloco de notas	
Arquivo	Editar Pesquisar Ajuda
9.81,	(m/s ²)aceleração da gravidade
0.015,	coeficiente de Manning
1347,	(m)comprimento do canal
3.61,	(m)altura de repouso no canal – h(m)
0.251,	(m/s)velocidade na extremidade jusante – abertura da turbina
10,	(s)intervalo de tempo de cálculo
0.00,	(m ³ /s)vazão inicial no canal
30,	número de seções no canal
720,	número de intervalos de tempo para cálculo
3.141592654	valor de Pi

DELTAX – Bloco de notas	
Arquivo	Editar Pesquisar Ajuda
20, seções(01-02) - dx01(m)	58, seções(16-17) - dx16(m)
46, seções(02-03) - dx02(m)	88, seções(17-18) - dx17(m)
5.5, seções(03-04) - dx03(m)	137, seções(18-19) - dx18(m)
5.5, seções(04-05) - dx04(m)	82, seções(19-20) - dx19(m)
18, seções(05-06) - dx05(m)	24, seções(20-21) - dx20(m)
14, seções(06-07) - dx06(m)	3, seções(21-22) - dx21(m)
7, seções(07-08) - dx07(m)	140, seções(22-23) - dx22(m)
7, seções(08-09) - dx08(m)	121, seções(23-24) - dx23(m)
26, seções(09-10) - dx09(m)	116, seções(24-25) - dx24(m)
63, seções(10-11) - dx10(m)	3, seções(25-26) - dx25(m)
45, seções(11-12) - dx11(m)	67, seções(26-27) - dx26(m)
27, seções(12-13) - dx12(m)	79, seções(27-28) - dx27(m)
4, seções(13-14) - dx13(m)	3, seções(28-29) - dx28(m)
37, seções(14-15) - dx14(m)	13, seções(29-30) - dx29(m)
88, seções(15-16) - dx15(m)	

A seguir é realizada a leitura do arquivo 'PARAM.txt', feita a atribuição da dimensão das matrizes e número de equações, com a alocação dinâmica dos vetores pré-declarados em função desta atribuição.

C Lendo o Arquivo dos Parâmetros de Cálculo

```

READ(1,*)g          !(m/s2) aceleração da gravidade
READ(1,*)w          !coeficiente de Manning
READ(1,*)l          !(m)comprimento do canal
READ(1,*)hr         !(m)altura d'água de repouso na seção montante
READ(1,*)Va         !(m/s)velocidade jusante de abertura da turbina
READ(1,*)Dt         !(s)intervalo de tempo de cálculo
READ(1,*)Qi         !(m3/s)vazão inicial no canal
READ(1,*)Nz         !número de seções no canal
READ(1,*)Nt         !número de intervalos de tempo para cálculo
READ(1,*)Pi         !valor de Pi

```

C Atribuição da Dimensão do Sistema de Matrizes e C Número de Equações

```

N=Nz*2
Ne=(2*Nz)-2

```

C Alocando os vetores

```

ALLOCATE(A(Nz),V(Nz),y(Nz),z(Nz),h(Nz),hm(Nz-1),Vm(Nz-1),
c      Aj(Nz-1),Bj(Nz-1),Cj(Nz-1),Dj(Nz-1),Ej(Nz-1),
c      Ajl(Nz-1),Bjl(Nz-1),Cjl(Nz-1),Djl(Nz-1),Ejl(Nz-1),
c      BADC(4,Ne),MATA(N,N+1),B(N),U(N),Rh(Nz-1),
c      Am(Nz-1),Pm(Nz-1),P(Nz),hmin(Nz),Bi(Nz),
c      Bim(Nz-1),So(Nz-1),Dx(Nz-1))

```

O vetor declividade dos trechos $So(m/m)$, é alocado em função das cotas e espaçamentos entre os mesmos. A altura d'água $h(m)$, medida em relação ao plano de referência horizontal, é dada pela soma de $y(m)$ e $z(m)$.

C Lendo os Arquivos Cotas $z(m)$, Alt $y(m)$ e DELTAX $dx(m)$, e Calculando C as Declividades Médias $So(m/m)$ e a Altura D'água C inicial $h(m)$.

```

DO I=1,Nz
  READ(4,*)z(I)
  IF(I.GT.1)THEN
    READ(5,*)Dx(I-1)
    So(I-1)=(z(I)-z(I-1))/Dx(I-1)
  ENDIF
  READ(3,*)y(I)
  h(I)=y(I)+z(I)
ENDDO

```

A partir das equações de geometria obtidas em função de $y(m)$ (largura da superfície livre $Bi(m)$, área hidráulica $A(m^2)$, perímetro molhado $P(m)$), apresentadas no APÊNDICE – Canal do Monjolinho onde também são demonstrados as seções e sua

localização, são determinadas as condições geométricas iniciais pela sub rotina GEO (ANEXO p.141-145) e suas médias. Na sequência é obtida a velocidade média entre seções $V(m/s)$, bem como as respectivas alturas d'água $h(m)$. São os dados conhecidos no tempo k , necessários para o cálculo no tempo $k+1$.

C Chamando Sbrutina GEO para cálculo dos parâmetro geométricos e
C iniciais no canal

```
CALL GEO(y,P,A,Bi,Am,Pm,Bim,Rh,Nz)
```

C Calculo das velocidades iniciais $V(m/s)$,
C profundidades médias $hm(m)$ e velocidades médias $Vm(m/s)$
C iniciais

```
DO I=1,Nz
  IF(I.EQ.1)THEN
    V(I)=Qi/A(I)
  ELSE
    V(I)=Qi/A(I)
    Vm(I-1)=((V(I)+(V(I-1))))/2
    hm(I-1)=((h(I)+(h(I-1))))/2
  ENDIF
ENDDO
```

As cotas, alturas d'água e velocidades iniciais são impressas no arquivo de saída 'SAI.txt'.

C Gravando as Condições Iniciais em Arquivo

```
WRITE(2,*)"TRANSIENTE HIDRÁULICO - CANAL DA UHE MONJOLINHO'
WRITE(2,*)"Abertura da Turbina'
WRITE(2,*)" !pula uma linha
WRITE(2,*)"CONDIÇÕES INICIAIS DO ESCOAMENTO'
WRITE(2,*)" !pula uma linha
WRITE(2,*)"SEC',' ',y(m)', ' ',h(m)', ' ',z(m)', ' ',V(m/s)'
WRITE(2,*)" !pula uma linha
DO I=1,Nz
  WRITE(2,15)I,y(I),h(I),z(I),V(I)
15 FORMAT(I3,X,F6.2,X,F5.2,X,F5.2,X,F6.3)
ENDDO
WRITE(2,*)" !pula uma linha
```

Iniciando o laço de variação temporal, são calculados os vetores BADCE e o coeficiente de Chezy. O procedimento de cálculo é semelhante ao do caso retangular, ficando as equações A_j , C_j e E_j , modificadas segundo as particularidades do caso estudado. Lembra-se que estas alterações foram previstas na discretização da equação da continuidade no teste do modelo.

C Cálculo do Coeficiente de Chezy (Ch) e dos Vetores BADCE

```

DO K=Dt,Nt*Dt,Dt !início do laço DO responsável pela
                    variação temporal
C
DO I=1,Nz-1
Ch=(1/w)*(Rh(I)**(0.1666666667))!coef.de Chezy
Aj(I)=-((2*Dt/Dx(I))*(Am(I)/Bim(I)))
Bj(I)=(1-((2*Dt/Dx(I))*Vm(I)))
Cj(I)=((2*Dt/Dx(I))*(Am(I)/Bim(I)))
Dj(I)=(1+((2*Dt/Dx(I))*Vm(I)))
Ej(I)=(2*hm(I)+(2*Dt*Vm(I)*So(I))
Ajl(I)=(1-((2*Dt/Dx(I))*Vm(I)))+(g*Dt*ABS(Vm(I)))/
((Ch**2)*Rh(I))
Bjl(I)=-((2*Dt/Dx(I))*g)
Cjl(I)=(1+((2*Dt/Dx(I))*Vm(I)))+(g*Dt*ABS(Vm(I)))/
((Ch**2)*Rh(I))
Djl(I)=((2*Dt/Dx(I))*g)
Ejl(I)=(2*Vm(I))
ENDDO

```

Os contornos do problema são a altura d'água do regime permanente à montante e velocidade de regime permanente à jusante ($h_r=3,61\text{m}$ e $V_a=0.251\text{m/s}$).

C Atribuição aos Contornos F1 e F30

```

F1=hr !contorno montante(entr.canal)
F30=Va !contorno jusante(parada turbina)

```

Os passos seguintes do programa descrevem a montagem das matrizes e a chamada da sub rotina SOLVER (ANEXO p.140), para resolução do sistema. Como estas rotinas são idênticas às apresentadas no teste do modelo, não serão descritas.

Após a resolução do sistema, os resultados são impressos no arquivo 'SAI.txt' como segue

C Fim da resolução do sistema - Gravando o Resultado

```

WRITE(2,*)'RESOLUÇÃO DO SISTEMA'
WRITE(2,*)'TEMPO EM SEGUNDOS'
WRITE(2,31)K
31 FORMAT('t','=',I5)
WRITE(2,*)'SEC',' ',y(m),' ',h(m),' ',V(m/s)'
WRITE(2,*)" !pula uma linha
cont=0
DO J=1,N,2
h(J-cont)=U(J)
y(J-cont)=h(J-cont)-z(J-cont)

```

```

IF(K.EQ.Dt)THEN
  hmin(J-cont)=h(J-cont)
ELSEIF(hmin(J-cont).GT.h(J-cont))THEN
  hmin(J-cont)=h(J-cont)
ENDIF
cont=cont+1
ENDDO
cont1=1
DO J=2,N,2
  V(J-cont1)=U(J)
  cont1=cont1+1
ENDDO
DO I=1,Nz
  WRITE(2,32)I,y(I),h(I),V(I)
32  FORMAT(I3,X,F6.2,X,F5.2,X,F6.3)
ENDDO
WRITE(2,*)" !Pula uma linha

```

Nesta rotina, que armazena os valores de $h(m)$ e $V(m/s)$ para cada intervalo, observa-se que para cada valor de $h(m)$ lido, é feita uma comparação com o valor de $hmin(m)$, que é igual a $hr(m)$ no início, de forma a imprimir os mínimos níveis atingidos no canal no decorrer do tempo.

Em seguida são recalculadas as variáveis geométricas, funções de $h(m)$ através da sub rotina GEO, bem como as novas alturas $h(m)$, velocidades $V(m/s)$, e raios hidráulicos $Rh(m)$. O laço DO responsável pela variação temporal é fechado

```

C  Recalculando V(m/s), h(m) e Rh(m)

CALL GEO(y,P,A,Bi,Am,Pm,Bim,Rh,Nz)

DO I=2,Nz
  hm(I-1)=((h(I))+h(I-1)))/2
  Vm(I-1)=((V(I))+V(I-1)))/2
ENDDO
ENDDO !fim do laço DO responsável pela variação de tempo

```

Posteriormente é gravado no vetor $hmin(m)$, as mínimas alturas ocorridas. Os arquivos *.txt são fechados e encerrado o programa.

```

C  Gravando hmin ocorrida no canal no arquivo de saída

WRITE(2,*)"ALTURA MÍNIMA OCORRIDA- hmin(m)'
DO I=1,Nz
  WRITE(2,34)I,hmin(I)
34  FORMAT('hmin',I3,',',F7.2)
ENDDO

```

C Fechando os Arquivos

```

CLOSE(1)
CLOSE(2)
CLOSE(4)
CLOSE(5)
WRITE(*,60)
60 FORMAT(//////)
WRITE(*,*)'OPERAÇÃO COM SUCESSO'
WRITE(*,*)'pressione qualquer tecla para continuar'
WRITE(*,60)

```

C Fim do Programa

```

STOP
END

```

Com os dados de saída $z(m)$, $h(m)$, $hmin(m)$, $y(m)$ e $v(m/s)$ armazenados no arquivo 'SAI.txt', é possível avaliar o escoamento transiente para o presente caso, em manobra de abertura instantânea da turbina.

- 2ª Simulação (Fechamento da Turbina)

Para simular a situação de fechamento instantâneo da turbina, considera-se a água em regime permanente no canal e, para tanto, as velocidades $V(m/s)$ e alturas $h(m)$ obtidos na simulação anterior neste estado, são utilizados como dados de entrada em arquivos texto. O arquivo 'ALT.txt', são as alturas d'água $y(m)$ do regime permanente. O arquivo 'VELO.txt', são as velocidades características do regime permanente. No arquivo 'PARAM.txt' são modificadas as condições de contorno do problema. Os demais arquivos de dados são mantidos.

PARAM – Bloco de notas	
Arquivo	Editar Pesquisar Ajuda
9.81,	(m/s ²)aceleração da gravidade
0.015,	coeficiente de Manning
1347,	(m)comprimento do canal
0.0,	(m/s)velocidade na extremidade jusante-parada da turbina
10,	(s)intervalo de tempo de cálculo
.517,	(m ³ /s)vazão inicial no canal
30,	número de seções no canal
720,	número de intervalos de tempo para cálculo
3.141592654	valor de Pi

ALT – Bloco de notas				ALT – Bloco de notas			
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda
0.59,	seção(01) - y(m)			0.67,	seção(16) - y(m)		
0.60,	seção(02) - y(m)			0.72,	seção(17) - y(m)		
0.65,	seção(03) - y(m)			0.64,	seção(18) - y(m)		
0.66,	seção(04) - y(m)			0.64,	seção(19) - y(m)		
0.66,	seção(05) - y(m)			0.77,	seção(20) - y(m)		
0.68,	seção(06) - y(m)			0.67,	seção(21) - y(m)		
0.70,	seção(07) - y(m)			0.69,	seção(22) - y(m)		
0.71,	seção(08) - y(m)			0.75,	seção(23) - y(m)		
0.72,	seção(09) - y(m)			0.82,	seção(24) - y(m)		
0.64,	seção(10) - y(m)			0.87,	seção(25) - y(m)		
0.63,	seção(11) - y(m)			0.88,	seção(26) - y(m)		
0.71,	seção(12) - y(m)			0.89,	seção(27) - y(m)		
0.83,	seção(13) - y(m)			0.90,	seção(28) - y(m)		
0.84,	seção(14) - y(m)			0.97,	seção(29) - y(m)		
0.74,	seção(15) - y(m)			1.95,	seção(30) - y(m)		

VELO – Bloco de notas				VELO – Bloco de notas			
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda
0.915,	seção(01) - V(m/s)			0.764,	seção(16) - V(m/s)		
0.891,	seção(02) - V(m/s)			0.706,	seção(17) - V(m/s)		
0.813,	seção(03) - V(m/s)			0.823,	seção(18) - V(m/s)		
0.803,	seção(04) - V(m/s)			0.822,	seção(19) - V(m/s)		
0.794,	seção(05) - V(m/s)			0.656,	seção(20) - V(m/s)		
0.766,	seção(06) - V(m/s)			0.774,	seção(21) - V(m/s)		
0.747,	seção(07) - V(m/s)			0.747,	seção(22) - V(m/s)		
0.745,	seção(08) - V(m/s)			0.673,	seção(23) - V(m/s)		
0.738,	seção(09) - V(m/s)			0.601,	seção(24) - V(m/s)		
0.813,	seção(10) - V(m/s)			0.558,	seção(25) - V(m/s)		
0.832,	seção(11) - V(m/s)			0.550,	seção(26) - V(m/s)		
0.717,	seção(12) - V(m/s)			0.540,	seção(27) - V(m/s)		
0.594,	seção(13) - V(m/s)			0.531,	seção(28) - V(m/s)		
0.586,	seção(14) - V(m/s)			0.492,	seção(29) - V(m/s)		
0.685,	seção(15) - V(m/s)			0.251,	seção(30) - V(m/s)		

Vale ressaltar que o vetor $h_{min}(Nz)$ definido para a 1ª simulação, é substituído nesta etapa por $h_{max}(Nz)$, de forma a se determinar posteriormente as máximas alturas ocorridas no canal $h(m)$ ao longo do tempo, que deverá corresponder a altura de repouso $h_r(m)$ da simulação de abertura.

Após abertura dos arquivos de entrada '*.txt', lê-se o arquivo 'PARAM.txt' armazenando-se os valores em variáveis correspondentes.

C Ativando os Arquivos de Entrada e Saída

```

OPEN(1,FILE='PARAM.txt',STATUS='OLD')
OPEN(2,FILE='SAI.txt',STATUS='UNKNOWN')
OPEN(3,FILE='ALT.txt',STATUS='OLD')
OPEN(4,FILE='COTAS.txt',STATUS='OLD')
OPEN(5,FILE='DELTAX.txt',STATUS='OLD')
OPEN(6,FILE='VELO.txt',STATUS='OLD')

```

C Lendo o Arquivo dos Parâmetros de Cálculo

```

READ(1,*)g      !(m/s2) aceleração da gravidade
READ(1,*)w      !coeficiente de Manning
READ(1,*)l      !(m)comprimento do canal
READ(1,*)Vp     !(m/s)velocidade jusante da parada da turbina
READ(1,*)Dt     !(s)intervalo de tempo de cálculo
READ(1,*)Qi     !(m3/s)vazão inicial no canal
READ(1,*)Nz     !número de seções no canal
READ(1,*)Nt     !número de intervalos de tempo para cálculo
READ(1,*)Pi     !valor de Pi

```

Após a alocação dinâmica dos vetores definidos, demonstrados na simulação anterior, as declividades médias $So(m/m)$ e as alturas d'água $h(m)$ são calculadas pela rotina

C Lendo os Arquivos Cotas $z(m)$, Alt $y(m)$ e DELTAX $dx(m)$, e Calculando C as Declividades Médias $So(m/m)$ e a Altura D'água C inicial $h(m)$.

```

DO I=1,Nz
  READ(4,*)z(I)
  IF(I.GT.1)THEN
    READ(5,*)Dx(I-1)
    So(I-1)=(z(I)-z(I-1))/Dx(I-1)
  ENDIF
  READ(3,*)y(I)
  h(I)=y(I)+z(I)
  READ(6,*)v(I)
ENDDO

```

Após a chamada da sub rotina GEO as velocidades e alturas médias são calculadas.

C Calculo das profundidades médias $hm(m)$ e C velocidades médias $Vm(m/s)$ iniciais

```

DO I=2,Nz
  Vm(I-1)=((V(I))+V(I-1)))/2
  hm(I-1)=((h(I))+h(I-1)))/2
ENDDO

```

Após a gravação das condições iniciais do escoamento, de acordo com os passos descritos na simulação anterior, parte-se para o cálculo dos vetores BADC e sequencialmente à montagem do sistema. Para tanto, os contornos são definidos

C Atribuição aos Contornos F1 e F30

```
DO I=1,1
  F1=h(I) ! contorno montante(altura constante)
ENDDO
F30=Vp ! contorno jusante(parada da turbina)
```

Os procedimentos para montagem e resolução do sistema matricial são mantidos. A impressão da resposta obtida para o arquivo de saída 'SAI.txt' também é da forma como apresentada anteriormente, com a substituição de hmin por hmax, com o propósito de se verificar o transbordamento no canal.

C Fim da resolução do sistema - Gravando o Resultado

```
31 WRITE(2,*)'RESOLUÇÃO DO SISTEMA'
   WRITE(2,*)'TEMPO EM SEGUNDOS'
   WRITE(2,31)K
   FORMAT('t','=',I5)
   WRITE(2,*)'SEC',' ','y(m)',' ','h(m)',' ','V(m/s)'
   WRITE(2,*)" !pula uma linha
   cont=0
   DO J=1,N,2
     h(J-cont)=U(J)
     IF(hmax(J-cont).LT.h(J-cont))THEN
       hmax(J-cont)=h(J-cont)
     ENDIF
     y(J-cont)=h(J-cont)-z(J-cont)
     cont=cont+1
   ENDDO
   cont1=1
   DO J=2,N,2
     V(J-cont1)=U(J)
     cont1=cont1+1
   ENDDO
   DO I=1,Nz
     IF((I.GE.3).AND.(I.LE.5))THEN
       IF(y(I).GT.1.00)THEN
         y(I)=1
       ENDIF
     ELSEIF((I.GE.7).AND.(I.LE.9))THEN
       IF(y(I).GT.0.80)THEN
         y(I)=0.80
       ENDIF
     ENDIF
```



```
32  WRITE(2,32)I,y(I),h(I),V(I)
    FORMAT(I3,X,F6.2,X,F5.2,X,F6.3)
    ENDDO
    WRITE(2,*)" !Pula uma linha
```

Nos trechos de 3 a 5 e de 7 a 9, as alturas calculadas são comparadas com a altura no tubo de forma a garantir o não extrapolamento de $h(m)$ nestas seções.

São recalculadas na seqüência as variáveis geométricas, funções de $h(m)$ através da sub rotina GEO, bem como as novas alturas $h(m)$, velocidades $V(m/s)$, e raios hidráulicos $Rh(m)$. O laço DO responsável pela variação temporal é fechado. É impresso finalmente no arquivo de saída as alturas máximas (h_{max}) ocorridas na simulação, de acordo com a rotina apresentada na 1ª simulação. Os arquivos de entrada e saída são fechados e o programa finalizado.

- **2º Caso : Canal do Trabalhador**

Dados Gerais

O Canal do Trabalhador foi construído pela CAGECE (Companhia de Água e Esgoto do Ceará) no ano de 1994, com projeto e supervisão das obras feitos pela Hidroterra. Foi uma obra de emergência realizada durante o governo Ciro Gomes, construída em apenas três meses e que salvou o abastecimento de água de Fortaleza-CE no ano supracitado.

Devido a urgência da construção, o projeto foi sendo concebido e desenhado durante a própria construção. Assim, até o fim de 1994, não havia um projeto materializado por textos e desenhos como é comum em obras desse tipo, o que foi sendo realizado gradativamente no período pós obra. O Canal do Trabalhador possui uma extensão aproximada de 100 km. Seus elementos constituintes são:

- Canal de aproximação do Rio Jaguaribe até a Estação Elevatória de Itaiçaba;
- Estação Elevatória de Itaiçaba;
- Chaminé de Equilíbrio;
- Adutora de Itaiçaba;
- Canal;
- Sifão dos Macacos;
- Canal;
- Sifão Pirangí;
- Canal;
- Açude Pacajus;
- Canal de ligação do Açude Pacajus à Estação Elevatória do Açude Ererê;
- Estação Elevatória do Açude Ererê;
- Açude Ererê;
- Canal de ligação do Açude Ererê à Estação Elevatória do Canal do Pacoti;
- Estação Elevatória do Canal do Pacoti;
- Canal de ligação com o Açude Pacoti.

Todo o sistema que constitui o abastecimento de água da cidade de Fortaleza-CE, incluindo o Canal do Trabalhador, pode ser observado no esquema apresentado pela **FIGURA 17**.

O Canal do Trabalhador tem hoje funções de uso múltiplo e, segundo o Ministério da Integração Nacional, será interligado ao sistema de transposição das águas do rio São Francisco para o desenvolvimento do semi-árido nordestino.

FIGURA 17 – Esquema do Sistema de Abastecimento de Água de Fortaleza

Procedimentos

Os dados utilizados foram disponibilizados pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH). Estes dados consistem de plantas e perfis topográficos longitudinais e transversais e de cotas e características dos sifões. O trecho tomado para aplicação do modelo computacional inicia-se na elevatória de Itaíçaba, cuja linha de recalque apresenta uma extensão de 740m e diâmetro de 1800mm, e termina no Açude Pacajus, perfazendo um total de 98.121m. O espaçamento entre seções seguiu a ordem de 1 Km em sua maioria, alterando-se apenas nos trechos caracterizados pelos sifões, constituindo um total de cento e nove seções.

A partir da geometria característica de todas as seções envolvidas, cada uma foi dividida em elementos de área. Este procedimento permitiu determinar as equações reais de área, perímetro molhado e largura de superfície livre, em função da variação da altura d'água, utilizando planilha Excel 2000. Estas foram ajustadas posteriormente por funções matemáticas através do método dos mínimos quadrados. As seções, suas funções, bem como seus gráficos, além das plantas e perfis cadastrais, são apresentados no APÊNDICE – Canal do Trabalhador.

A vazão produzida pelo sistema de recalque, considerada na simulação, é de 3,00 m³/s. A condição de contorno de jusante, açude Pacajus, foi considerada como uma subida linear da altura d'água no seu enchimento, baseada em condições geométricas aproximadas

do mesmo, válida depois da chegada da onda na simulação de enchimento. Na simulação de esvaziamento, uma variação linear de descida da altura d'água é também considerada.

Com relação ao modelo matemático empregado(Saint Venant), o fato de atender à simulações que envolvam somente escoamentos livres, foi necessário e indispensável para a sua aplicação neste caso, simplificações nos trechos caracterizados pelos sifões, considerando que os mesmos trabalham sob pressão. Para tanto, foi considerado nestes trechos, tubos hipotéticos seguindo o desnível de entrada e saída dos sifões, os quais, apesar de não apresentarem exatamente a mesma característica de enchimento, permitem determinar de forma aproximada o tempo de percurso da onda.

Como dito, para a aplicação do modelo computacional foram consideradas duas situações:

- Primeiro, com o canal vazio foi simulado o seu enchimento de forma a determinar o tempo aproximado de percurso da onda, o que facilita sua operação e viabiliza a implementação de controles automatizados. Para efeito matemático foi considerado uma pequena lâmina inicial de 2 cm em toda extensão do canal. Isto faz com que a área calculada não seja totalmente nula e conseqüentemente não anule o raio hidráulico. Como este último entra no equacionamento via equação do movimento no denominador, faz com que o termo tenda a infinito, se igual a zero, provocando erro matemático.
- A simulação seguinte, que conjuntamente à primeira subsidia o gerenciamento do sistema de controle, parte de uma situação de regime permanente quando num instante de tempo qualquer, o bombeamento em Itaíçaba é desligado. Desta maneira é possível avaliar o tempo em que a água no canal ainda supri a demanda em Pacajus.

O modelo computacional aplicado neste caso permite determinar o tempo de antecedência em que se deve ligar e desligar o bombeamento em Itaíçaba. Para uma avaliação geral do sistema, necessitar-se-ia de conhecer a variação real de nível em Pacajus $y(t)$ e ainda dispor de um equacionamento matemático que pudesse prever a resolução simultânea de escoamentos livres e forçados para tratamento simultâneo dos trechos de canais e sifões.

Na **FIGURA 18** é esboçado o esquema do caso em pauta. O canal apresenta geometria trapezoidal. Nas seções 5 e 6, de 27 a 31 e de 71 a 74, a composição é feita por tubos que representam os sifões. A discretização de espaço foi definida em 109 seções com espaçamentos (Δx) em torno de 1 km. O intervalo de tempo para cálculo (Δt) foi discretizado a cada 3 min (três minutos) num total de 2 dias para enchimento, e a cada 30 min (trinta minutos) num total de 4 dias para esvaziamento.

Esquema:

FIGURA 18 – Esquema do Canal do Trabalhador

Modelo Computacional

O modelo computacional apresentado e comentado na seqüência, contempla as adequações e ajustes realizados a partir da configuração apresentada no caso anterior, alterando basicamente a geometria e os contornos. Para tanto, várias rotinas comentadas anteriormente são mantidas. Assim, limitar-se-á a descrição dos tópicos não comuns e particulares deste caso. Com relação aos contornos, como à montante tem-se $V(m/s)$ e à jusante $h(m)$, o inverso do caso anterior, preferiu-se inverter a montagem da matriz para que a seqüência numérica das seções fosse mantida.

- 1ª Simulação (Enchimento do Canal)

PROGRAM ESCOAMENTO TRANSIENTE EM CANAIS

```

INTEGER cont,cont1,cont2
REAL*8 SAI
REAL*8,ALLOCATABLE :: A(:),V(:),y(:),z(:),h(:),hm(:),Vm(:),
c Aj(:),Bj(:),Cj(:),Dj(:),Ej(:),Ajl(:),Bjl(:),Cjl(:),Djl(:),
c Ejl(:),MATA(:,,:),B(:),U(:),ABCD(:,,:),Rh(:),Am(:),Pm(:),
c P(:),hmax(:),Bi(:),Bim(:),So(:),Dx(:),hj(:)

```

Declaração das variáveis e vetores do programa. Os arquivos texto utilizados para a entrada e saída de dados são abertos na sequência

C Ativando os Arquivos de Entrada e Saída

```

OPEN(1,FILE='PARAM.txt',STATUS='OLD')
OPEN(2,FILE='SAI.txt',STATUS='UNKNOWN')
OPEN(3,FILE='ALT.txt',STATUS='OLD')
OPEN(4,FILE='COTAS.txt',STATUS='OLD')
OPEN(5,FILE='DELTAX.txt',STATUS='OLD')

```

O arquivo de entrada 'ALT.txt' representa as alturas d'água $y(m)$, obtidas no regime permanente. Como dito anteriormente, para fins matemáticos foi considerado uma lâmina inicial de 2 cm em toda a extensão do canal, com exceção do primeiro trecho que vai até o sifão Macacos onde o canal está em aclave. Neste trecho o canal possui água em nível horizontal e conseqüentemente com $y(m)$ das seções de 1 a 4 variáveis conforme a declividade. O arquivo 'COTAS.txt' são as alturas do fundo do canal em relação ao plano de referência, determinadas topograficamente. 'DELTAX.txt' é o arquivo que contém o espaçamento entre as seções, discretizadas convenientemente. 'PARAM.txt' são os parâmetros complementares e, o arquivo 'SAI.txt', os dados de saída cujo arquivo é criado pelo programa.

ALT – Bloco de notas				COTAS – Bloco de notas			
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda
0.48,	seção(01) - $y(m)$			23.94,	seção(01) - $z(m)$		
0.28,	seção(02) - $y(m)$			24.14,	seção(02) - $z(m)$		
0.08,	seção(03) - $y(m)$			24.34,	seção(03) - $z(m)$		
0.06,	seção(04) - $y(m)$			24.36,	seção(04) - $z(m)$		
0.02,	seção(05) - $y(m)$			24.40,	seção(05) - $z(m)$		
0.02,	seção(06) - $y(m)$			23.00,	seção(06) - $z(m)$		
0.02,	seção(07) - $y(m)$			22.99,	seção(07) - $z(m)$		
0.02,	seção(08) - $y(m)$			22.96,	seção(08) - $z(m)$		

0.02, seção(09) - y(m)	22.93, seção(09) - z(m)
0.02, seção(10) - y(m)	22.90, seção(10) - z(m)
0.02, seção(11) - y(m)	22.88, seção(11) - z(m)
0.02, seção(12) - y(m)	22.87, seção(12) - z(m)
0.02, seção(13) - y(m)	22.86, seção(13) - z(m)
0.02, seção(14) - y(m)	22.84, seção(14) - z(m)
0.02, seção(15) - y(m)	22.83, seção(15) - z(m)
0.02, seção(16) - y(m)	22.81, seção(16) - z(m)
0.02, seção(17) - y(m)	22.80, seção(17) - z(m)
0.02, seção(18) - y(m)	22.79, seção(18) - z(m)
0.02, seção(19) - y(m)	22.77, seção(19) - z(m)
0.02, seção(20) - y(m)	22.76, seção(20) - z(m)
0.02, seção(21) - y(m)	22.74, seção(21) - z(m)
0.02, seção(22) - y(m)	22.73, seção(22) - z(m)
0.02, seção(23) - y(m)	22.72, seção(23) - z(m)
0.02, seção(24) - y(m)	22.70, seção(24) - z(m)
0.02, seção(25) - y(m)	22.62, seção(25) - z(m)
0.02, seção(26) - y(m)	22.46, seção(26) - z(m)
0.02, seção(27) - y(m)	22.44, seção(27) - z(m)
0.02, seção(28) - y(m)	22.14, seção(28) - z(m)
0.02, seção(29) - y(m)	21.92, seção(29) - z(m)
0.02, seção(30) - y(m)	21.70, seção(30) - z(m)
0.02, seção(31) - y(m)	21.17, seção(31) - z(m)
0.02, seção(32) - y(m)	21.15, seção(32) - z(m)
0.02, seção(33) - y(m)	21.14, seção(33) - z(m)
0.02, seção(34) - y(m)	21.12, seção(34) - z(m)
0.02, seção(35) - y(m)	21.11, seção(35) - z(m)
0.02, seção(36) - y(m)	21.09, seção(36) - z(m)
0.02, seção(37) - y(m)	21.08, seção(37) - z(m)
0.02, seção(38) - y(m)	21.07, seção(38) - z(m)
0.02, seção(39) - y(m)	21.05, seção(39) - z(m)
0.02, seção(40) - y(m)	21.04, seção(40) - z(m)
0.02, seção(41) - y(m)	21.02, seção(41) - z(m)
0.02, seção(42) - y(m)	21.01, seção(42) - z(m)
0.02, seção(43) - y(m)	21.00, seção(43) - z(m)
0.02, seção(44) - y(m)	20.99, seção(44) - z(m)
0.02, seção(45) - y(m)	20.97, seção(45) - z(m)
0.02, seção(46) - y(m)	20.96, seção(46) - z(m)
0.02, seção(47) - y(m)	20.95, seção(47) - z(m)
0.02, seção(48) - y(m)	20.94, seção(48) - z(m)
0.02, seção(49) - y(m)	20.93, seção(49) - z(m)
0.02, seção(50) - y(m)	20.91, seção(50) - z(m)
0.02, seção(51) - y(m)	20.90, seção(51) - z(m)
0.02, seção(52) - y(m)	20.89, seção(52) - z(m)
0.02, seção(53) - y(m)	20.87, seção(53) - z(m)
0.02, seção(54) - y(m)	20.86, seção(54) - z(m)
0.02, seção(55) - y(m)	20.84, seção(55) - z(m)
0.02, seção(56) - y(m)	20.83, seção(56) - z(m)
0.02, seção(57) - y(m)	20.82, seção(57) - z(m)
0.02, seção(58) - y(m)	20.81, seção(58) - z(m)
0.02, seção(59) - y(m)	20.79, seção(59) - z(m)
0.02, seção(60) - y(m)	20.78, seção(60) - z(m)
0.02, seção(61) - y(m)	20.77, seção(61) - z(m)

0.02, seção(62) - y(m)	20.75, seção(62) - z(m)
0.02, seção(63) - y(m)	20.74, seção(63) - z(m)
0.02, seção(64) - y(m)	20.72, seção(64) - z(m)
0.02, seção(65) - y(m)	20.71, seção(65) - z(m)
0.02, seção(66) - y(m)	20.70, seção(66) - z(m)
0.02, seção(67) - y(m)	20.69, seção(67) - z(m)
0.02, seção(68) - y(m)	20.68, seção(68) - z(m)
0.02, seção(69) - y(m)	20.66, seção(69) - z(m)
0.02, seção(70) - y(m)	20.65, seção(70) - z(m)
0.02, seção(71) - y(m)	20.64, seção(71) - z(m)
0.02, seção(72) - y(m)	20.41, seção(72) - z(m)
0.02, seção(73) - y(m)	19.94, seção(73) - z(m)
0.02, seção(74) - y(m)	19.42, seção(74) - z(m)
0.02, seção(75) - y(m)	19.41, seção(75) - z(m)
0.02, seção(76) - y(m)	19.38, seção(76) - z(m)
0.02, seção(77) - y(m)	19.36, seção(77) - z(m)
0.02, seção(78) - y(m)	19.34, seção(78) - z(m)
0.02, seção(79) - y(m)	19.32, seção(79) - z(m)
0.02, seção(80) - y(m)	19.31, seção(80) - z(m)
0.02, seção(81) - y(m)	19.29, seção(81) - z(m)
0.02, seção(82) - y(m)	19.28, seção(82) - z(m)
0.02, seção(83) - y(m)	19.27, seção(83) - z(m)
0.02, seção(84) - y(m)	19.26, seção(84) - z(m)
0.02, seção(85) - y(m)	19.24, seção(85) - z(m)
0.02, seção(86) - y(m)	19.23, seção(86) - z(m)
0.02, seção(87) - y(m)	19.22, seção(87) - z(m)
0.02, seção(88) - y(m)	19.21, seção(88) - z(m)
0.02, seção(89) - y(m)	19.19, seção(89) - z(m)
0.02, seção(90) - y(m)	19.18, seção(90) - z(m)
0.02, seção(91) - y(m)	19.17, seção(91) - z(m)
0.02, seção(92) - y(m)	19.16, seção(92) - z(m)
0.02, seção(93) - y(m)	19.15, seção(93) - z(m)
0.02, seção(94) - y(m)	19.14, seção(94) - z(m)
0.02, seção(95) - y(m)	19.13, seção(95) - z(m)
0.02, seção(96) - y(m)	19.12, seção(96) - z(m)
0.02, seção(97) - y(m)	19.11, seção(97) - z(m)
0.02, seção(98) - y(m)	19.10, seção(98) - z(m)
0.02, seção(99) - y(m)	19.09, seção(99) - z(m)
0.02, seção(100) - y(m)	19.08, seção(100) - z(m)
0.02, seção(101) - y(m)	19.07, seção(101) - z(m)
0.02, seção(102) - y(m)	19.06, seção(102) - z(m)
0.02, seção(103) - y(m)	19.05, seção(103) - z(m)
0.02, seção(104) - y(m)	19.04, seção(104) - z(m)
0.02, seção(105) - y(m)	19.03, seção(105) - z(m)
0.02, seção(106) - y(m)	19.02, seção(106) - z(m)
0.02, seção(107) - y(m)	19.01, seção(107) - z(m)
0.02, seção(108) - y(m)	19.00, seção(108) - z(m)
0.02, seção(109) - y(m)	19.00, seção(109) - z(m)

PARAM – Bloco de notas	
Arquivo	Editar Pesquisar Ajuda
9.81,	(m/s ²)aceleração da gravidade
0.015,	coeficiente de Manning
98.121,	(m)comprimento do canal
19.02,	(m)altura d'água à jusante (açude Pacajus)
180,	(s)intervalo de tempo de cálculo
0.00,	(m ³ /s)vazão inicial no canal
.600,	(m/s)velocidade na entrada do canal
109,	número de seções no canal
960,	número de intervalos de tempo para cálculo
3.141592654	valor de Pi

DELTAX – Bloco de notas	
Arquivo	Editar Pesquisar Ajuda
500,	seções(01-02) - dx01(m)
500,	seções(02-03) - dx02(m)
350,	seções(03-04) - dx03(m)
50,	seções(04-05) - dx04(m)
1600,	seções(05-06) - dx05(m)
345,	seções(06-07) - dx06(m)
1000,	seções(07-08) - dx07(m)
1000,	seções(08-09) - dx08(m)
1000,	seções(09-10) - dx09(m)
1000,	seções(10-11) - dx10(m)
1000,	seções(11-12) - dx11(m)
1000,	seções(12-13) - dx12(m)
1000,	seções(13-14) - dx13(m)
1000,	seções(14-15) - dx14(m)
1000,	seções(15-16) - dx15(m)
1000,	seções(16-17) - dx16(m)
1000,	seções(17-18) - dx17(m)
1000,	seções(18-19) - dx18(m)
1000,	seções(19-20) - dx19(m)
1000,	seções(20-21) - dx20(m)
1000,	seções(21-22) - dx21(m)
1000,	seções(22-23) - dx22(m)
1000,	seções(23-24) - dx23(m)
1000,	seções(24-25) - dx24(m)
1200,	seções(25-26) - dx25(m)
50,	seções(26-27) - dx26(m)
687,	seções(27-28) - dx27(m)
500,	seções(28-29) - dx28(m)
500,	seções(29-30) - dx29(m)
1187,	seções(30-31) - dx30(m)
100,	seções(31-32) - dx31(m)
1250,	seções(32-33) - dx32(m)
1000,	seções(33-34) - dx33(m)
1000,	seções(34-35) - dx34(m)
1000,	seções(35-36) - dx35(m)
1000,	seções(36-37) - dx36(m)

DELTAX – Bloco de notas	
Arquivo	Editar Pesquisar Ajuda
1000,	seções(55-56) - dx55(m)
1000,	seções(56-57) - dx56(m)
1000,	seções(57-58) - dx57(m)
1000,	seções(58-59) - dx58(m)
1000,	seções(59-60) - dx59(m)
1000,	seções(60-61) - dx60(m)
1000,	seções(61-62) - dx61(m)
1000,	seções(62-63) - dx62(m)
1000,	seções(63-64) - dx63(m)
1000,	seções(64-65) - dx64(m)
1000,	seções(65-66) - dx65(m)
1000,	seções(66-67) - dx66(m)
1000,	seções(67-68) - dx67(m)
1000,	seções(68-69) - dx68(m)
1000,	seções(69-70) - dx69(m)
150,	seções(70-71) - dx70(m)
250,	seções(71-72) - dx71(m)
500,	seções(72-73) - dx72(m)
550,	seções(73-74) - dx73(m)
100,	seções(74-75) - dx74(m)
750,	seções(75-76) - dx75(m)
1000,	seções(76-77) - dx76(m)
1000,	seções(77-78) - dx77(m)
1000,	seções(78-79) - dx78(m)
1000,	seções(79-80) - dx79(m)
1000,	seções(80-81) - dx80(m)
1000,	seções(81-82) - dx81(m)
1000,	seções(82-83) - dx82(m)
1000,	seções(83-84) - dx83(m)
1000,	seções(84-85) - dx84(m)
1000,	seções(85-86) - dx85(m)
1000,	seções(86-87) - dx86(m)
1000,	seções(87-88) - dx87(m)
1000,	seções(88-89) - dx88(m)
1000,	seções(89-90) - dx89(m)
1000,	seções(90-91) - dx90(m)

1000,	seções(37-38) - dx37(m)	1000,	seções(91-92) - dx91(m)
1000,	seções(38-39) - dx38(m)	1000,	seções(92-93) - dx92(m)
1000,	seções(39-40) - dx39(m)	1000,	seções(93-94) - dx93(m)
1000,	seções(40-41) - dx40(m)	1000,	seções(94-95) - dx94(m)
1000,	seções(41-42) - dx41(m)	1000,	seções(95-96) - dx95(m)
1000,	seções(42-43) - dx42(m)	1000,	seções(96-97) - dx96(m)
1000,	seções(43-44) - dx43(m)	1000,	seções(97-98) - dx97(m)
1000,	seções(44-45) - dx44(m)	1000,	seções(98-99) - dx98(m)
1000,	seções(45-46) - dx45(m)	1000,	seções(99-100) - dx99(m)
1000,	seções(46-47) - dx46(m)	1000,	seções(100-101) - dx100(m)
1000,	seções(47-48) - dx47(m)	1000,	seções(101-102) - dx101(m)
1000,	seções(48-49) - dx48(m)	1000,	seções(102-103) - dx102(m)
1000,	seções(49-50) - dx49(m)	1000,	seções(103-104) - dx103(m)
1000,	seções(50-51) - dx50(m)	1000,	seções(104-105) - dx104(m)
1000,	seções(51-52) - dx51(m)	1000,	seções(105-106) - dx105(m)
1000,	seções(52-53) - dx52(m)	1000,	seções(106-107) - dx106(m)
1000,	seções(53-54) - dx53(m)	1000,	seções(107-108) - dx107(m)
1000,	seções(54-55) - dx54(m)	2	seções(108-109) - dx108(m)

A seguir é realizada a leitura do arquivo 'PARAM.txt', feita a atribuição da dimensão das matrizes e número de equações, com a alocação dinâmica dos vetores pré-declarados em função desta atribuição.

C Lendo o Arquivo dos Parâmetros de Cálculo

```

READ(1,*)g      !(m/s2) aceleração da gravidade
READ(1,*)w      !coeficiente de Manning
READ(1,*)l      !(m)comprimento do canal
READ(1,*)ha     !(m) nível constante no Açude Pacajus
READ(1,*)Dt     !(s)intervalo de tempo de cálculo
READ(1,*)Qi     !(m3/s)vazão inicial no canal
READ(1,*)Va     !(m/s) velocidade na entrada do canal
READ(1,*)Nz     !número de seções no canal
READ(1,*)Nt     !número de intervalos de tempo para cálculo
READ(1,*)Pi     !valor de Pi

```

C Atribuição da Dimensão do Sistema de Matrizes e C Número de Equações

```

N=Nz*2
Ne=(2*Nz)-2

```

C Alocando os vetores

```

ALLOCATE(A(Nz),V(Nz),y(Nz),z(Nz),h(Nz),hm(Nz-1),Vm(Nz-1),
c      Aj(Nz-1),Bj(Nz-1),Cj(Nz-1),Dj(Nz-1),Ej(Nz-1),
c      Ajl(Nz-1),Bjl(Nz-1),Cjl(Nz-1),Djl(Nz-1),Ejl(Nz-1),
c      ABCD(4,Ne),MATA(N,N+1),B(N),U(N),Rh(Nz-1),
c      Am(Nz-1),Pm(Nz-1),P(Nz),hmax(Nz),Bi(Nz),
c      Bim(Nz-1),So(Nz-1),Dx(Nz-1),hj(Nz))

```

O vetor declividade dos trechos $So(m/m)$, é alocado em função das cotas e espaçamentos entre os mesmos. A altura d'água $h(m)$, medida em relação ao plano de referência horizontal, é dada pela soma de $y(m)$ e $z(m)$.

C Lendo os Arquivos Cotas $z(m)$, Alt $y(m)$ e DELTAX $dx(m)$, e Calculando
C as Declividades Médias $So(m/m)$ e a Altura D'água
C inicial $h(m)$.

```
DO I=1,Nz
  READ(4,*)z(I)
  IF(I.GT.1)THEN
    READ(5,*)Dx(I-1)
    So(I-1)=(z(I)-z(I-1))/Dx(I-1)
  ENDIF
  READ(3,*)y(I)
  h(I)=y(I)+z(I)
ENDDO
```

A partir das equações de geometria obtidas em função de $y(m)$ (largura da superfície livre $Bi(m)$, área hidráulica $A(m^2)$, perímetro molhado $P(m)$) apresentadas no APÊNDICE – Canal do Trabalhador, onde também é mostrado as seções e suas localizações, são determinadas as condições geométricas iniciais pela sub rotina GEO (ANEXO p.146-157) e suas médias. Em sequência é obtida a velocidade média entre seções $v(m/s)$ bem como as respectivas alturas d'água $h(m)$. São os dados conhecidos no tempo k , necessários para o cálculo no tempo $k+1$.

C Chamando Sbrutina GEO para cálculo dos parâmetro geométricos e
C hidráulicos iniciais no canal

```
CALL GEO(y,P,A,Bi,Am,Pm,Bim,Rh,Nz)
```

C Calculo das velocidades iniciais $V(m/s)$,
C profundidades médias $hm(m)$ e velocidades médias $Vm(m/s)$
C iniciais

```
DO I=1,Nz
  IF(I.EQ.1)THEN
    V(I)=Qi/A(I)
  ELSE
    V(I)=Qi/A(I)
    Vm(I-1)=((V(I))+V(I-1)))/2
    hm(I-1)=((h(I))+h(I-1)))/2
  ENDIF
ENDDO
```

As cotas, alturas d'água e velocidades iniciais são impressas no arquivo de saída 'SAI.txt'.

C Gravando as Condições Iniciais em Arquivo

```

WRITE(2,*)'TRANSIENTE HIDRÁULICO - CANAL DO TRABALHADOR'
WRITE(2,*)'Enchimento do Canal'
WRITE(2,*)" !pula uma linha
WRITE(2,*)'CONDIÇÕES INICIAIS DO ESCOAMENTO'
WRITE(2,*)" !pula uma linha
WRITE(2,*)'SEC',' ','y(m)',' ','h(m)',' ','z(m)',' ','V(m/s)'
WRITE(2,*)" !pula uma linha
DO I=1,Nz
  WRITE(2,15)I,y(I),h(I),z(I),V(I)
15  FORMAT(I3,X,F6.2,X,F5.2,X,F5.2,X,F6.3)
ENDDO
WRITE(2,*)" !pula uma linha

```

Nesta etapa é iniciado o laço de variação temporal. São calculados os vetores ABCDE e o coeficiente de Chezy a exemplo do caso anterior.

C Cálculo do Coeficiente de Chezy (Ch) e dos Vetores ABCDE

```

DO K=Dt,Nt*Dt,Dt !início do laço DO responsável pela
                  !variação temporal
DO I=1,Nz-1
  Ch=(1/w)*(Rh(I)**(0.1666666667))!coef.de Chezy
  Aj(I)=-((2*Dt/Dx(I))*(Am(I)/Bim(I)))
  Bj(I)=(1-((2*Dt/Dx(I))*Vm(I)))
  Cj(I)=((2*Dt/Dx(I))*(Am(I)/Bim(I)))
  Dj(I)=(1+((2*Dt/Dx(I))*Vm(I)))
  Ej(I)=(2*hm(I)+(2*Dt*Vm(I)*So(I)))
  Ajl(I)=(1-((2*Dt/Dx(I))*Vm(I)))+(g*Dt*ABS(Vm(I)))/
  ((Ch**2)*Rh(I))
  Bj1(I)=-((2*Dt/Dx(I))*g)
  Cj1(I)=(1+((2*Dt/Dx(I))*Vm(I)))+(g*Dt*ABS(Vm(I)))/
  ((Ch**2)*Rh(I))
  Dj1(I)=((2*Dt/Dx(I))*g)
  Ej1(I)=(2*Vm(I))
ENDDO

```

Os contornos do problema são a velocidade constante na entrada do canal e a altura variando após a chegada da onda no açude Pacajus.

C Atribuição aos Contornos F1 e Fn

```

F1=Va !contorno montante(entr.canal)
DO I=Nz,Nz
  IF((K.GE.144180).AND.(K.LE.147600))THEN
    y1=0.0000008*K
    Fn=z(I)+y1 !contorno jusante(variação de nível no açude)
  ELSEIF(K.GT.147600)THEN
    y1=0.0000050*K !contorno jusante(variação de nível no açude)
  ENDIF
ENDDO

```

```

      Fn=z(I)+y1
    ELSE
      Fn=ha !contorno jusante(nível constante no açude)
    ENDIF
  ENDDO

```

Os passos seguintes do programa descrevem a montagem das matrizes e a chamada da sub rotina SOLVER (ANEXO p.140) para resolução do sistema. Neste caso, a montagem das matrizes ocorre na ordem inversa aos casos anteriores, de forma a possibilitar a seqüência numérica crescente nas seções, isto é, de montante para jusante. Desta forma, a rotina é descrita como segue:

Para facilitar a alocação dos elementos da matriz A, utilizou-se uma matriz composta pelos vetores A_J, A_{JL}, B_J, B_{JL}, C_J, C_{JL}, D_J e D_{JL}. Para tanto, a alocação destes elementos na matriz chamada de ABCD, ocorreu-se da seguinte forma

C Alocação dos Elementos de ABCD

```

DO I=1,4
  cont=0
  DO J=1,Ne/2
    IF(I.EQ.1)THEN
      ABCD(I,J+cont)=Aj(I+cont)
      ABCD(I,J+cont+1)=Ajl(I+cont)
      cont=cont+1
    ELSEIF(I.EQ.2)THEN
      ABCD(I,J+cont)=Bj(I-1+cont)
      ABCD(I,J+cont+1)=Bjl(I-1+cont)
      cont=cont+1
    ELSEIF(I.EQ.3)THEN
      ABCD(I,J+cont)=Cj(I-2+cont)
      ABCD(I,J+cont+1)=Cjl(I-2+cont)
      cont=cont+1
    ELSE
      ABCD(I,J+cont)=Dj(I-3+cont)
      ABCD(I,J+cont+1)=Djl(I-3+cont)
      cont=cont+1
    ENDIF
  ENDDO
ENDDO

```

após este procedimento, a composição da matriz ABCD fica

$$\begin{bmatrix} A_{J_1} & A_{JL_1} & A_{J_2} & A_{JL_2} & \text{-----} & A_{JL_{107}} & A_{J_{108}} & A_{JL_{108}} \\ B_{J_1} & B_{JL_1} & B_{J_2} & B_{JL_2} & \text{-----} & B_{JL_{107}} & B_{J_{108}} & B_{JL_{108}} \\ C_{J_1} & C_{JL_1} & C_{J_2} & C_{JL_2} & \text{-----} & C_{JL_{107}} & C_{J_{108}} & C_{JL_{108}} \\ D_{J_1} & D_{JL_1} & D_{J_2} & D_{JL_2} & \text{-----} & D_{JL_{107}} & D_{J_{108}} & D_{JL_{108}} \end{bmatrix}$$

o próximo passo é a alocação da matriz A a partir da matriz ABCD, de acordo com a rotina seguinte

C Alocação dos Elementos de MATA

```

MATA(1,1)=1
MATA(N,N)=1
cont=0
cont1=1
cont2=0
DO I=2,N-1
  cont1=cont1+1
  DO J=1,4
    MATA(I,J/J+cont)=ABCD(J,J/J+cont2)
    cont=cont+1
  ENDDO
  IF((cont1/2*2-cont1).NE.0)THEN
    cont=I-1
  ELSEIF(cont1.EQ.2)THEN
    cont=0
  ELSE
    cont=I-2
  ENDIF
  cont2=cont2+1
ENDDO

```

a alocação dos elementos do vetor B é feita pela leitura dos vetores E_J e E_{JL}, e ainda dos contornos do problema dados por F₁ e F_n

C Alocação dos Elementos do Vetor B

```

cont=1
cont1=2
DO I=1,N
  IF(I.EQ.1)THEN
    B(I)=F1
  ELSEIF(I.EQ.N)THEN
    B(I)=Fn
  ELSEIF((I/2*2-I).EQ.0)THEN
    B(I)=Ej(I-cont)
    cont=cont+1
  ELSE
    B(I)=Ejl(I-cont1)
    cont1=cont1+1
  ENDIF
ENDDO

```

A resolução do sistema seguiu com a utilização da sub-rotina SOLVER. Assim:

C Para Resolução do Sistema, o Vetor B entrará como sendo
C a última coluna de MATA, isto é, (N+1).

```
DO I=1,N
  MATA(I,N+1)=B(I)
ENDDO
```

Portanto a solução do vetor U é dada após a chamada da sub-rotina para resolução do sistema, cujos resultados serão armazenados posteriormente no arquivo de saída 'SAI.txt', de acordo com os seguintes passos

C Chamando Sub-rotina para resolução do sistema

```
CALL SOLVER(MATA,U,N)
```

Após a resolução do sistema, os resultados são impressos no arquivo 'SAI.txt' como segue

C Fim da resolução do sistema - Gravando o Resultado

```
WRITE(2,*)'RESOLUÇÃO DO SISTEMA'
WRITE(2,*)'TEMPO EM SEGUNDOS'
WRITE(2,31)K
31 FORMAT('t','=',I6)
WRITE(2,*)'SEC',' ','y(m)',' ','h(m)',' ','V(m/s)'
WRITE(2,*)" !pula uma linha
cont=0
DO J=1,N,2
  V(J-cont)=U(J)
  cont=cont+1
ENDDO
cont1=1
DO J=2,N,2
  hj(J-cont1)=U(J)
  cont1=cont1+1
ENDDO
DO I=1,Nz
  IF(I.EQ.5)THEN
    IF(hj(I).GT.26.97)THEN
      hj(I)=26.97
    ENDIF
  ENDIF
  IF(I.EQ.6)THEN
    IF(hj(I).GT.25.57)THEN
      hj(I)=25.57
    ENDIF
  ENDIF
```



```
IF(I.EQ.27)THEN
  IF(hj(I).GT.24.94)THEN
    hj(I)=24.94
  ENDIF
ENDIF
IF(I.EQ.28)THEN
  IF(hj(I).GT.24.64)THEN
    hj(I)=24.64
  ENDIF
ENDIF
IF(I.EQ.29)THEN
  IF(hj(I).GT.24.42)THEN
    hj(I)=24.42
  ENDIF
ENDIF
IF(I.EQ.30)THEN
  IF(hj(I).GT.24.20)THEN
    hj(I)=24.20
  ENDIF
ENDIF
IF(I.EQ.31)THEN
  IF(hj(I).GT.23.67)THEN
    hj(I)=23.67
  ENDIF
ENDIF
IF(I.EQ.71)THEN
  IF(hj(I).GT.23.14)THEN
    hj(I)=23.14
  ENDIF
ENDIF
IF(I.EQ.72)THEN
  IF(hj(I).GT.22.91)THEN
    hj(I)=22.91
  ENDIF
ENDIF
IF(I.EQ.73)THEN
  IF(hj(I).GT.22.44)THEN
    hj(I)=22.44
  ENDIF
ENDIF
IF(I.EQ.74)THEN
  IF(hj(I).GT.21.92)THEN
    hj(I)=21.92
  ENDIF
ENDIF
h(I)=hj(I)
y(I)=h(I)-z(I)
IF(y(I).LT.0.02)THEN
  y(I)=0.02
ENDIF
WRITE(2,32)I,y(I),h(I),V(I)
FORMAT(I3,X,F6.2,X,F5.2,X,F6.3)
ENDDO
```

```
WRITE(2,*)" !Pula uma linha
```

Nesta rotina, que armazena os valores de $h(m)$ e $V(m/s)$ para cada intervalo, observa-se que para cada valor de $h(m)$ lido, é feita uma comparação com as seções caracterizadas por tubos, de forma a garantir que a altura nestas seções, não extrapole o banzo superior do tubo. Também, para fins matemáticos, todos os valores de $y(m)$ são comparados com um mínimo estabelecido ($y=2cm$) que, se menor, assume o valor mínimo.

Em seguida são recalculadas as variáveis geométricas, funções de $h(m)$ através da sub rotina GEO. O laço DO responsável pela variação temporal é fechado

```
C      Recalculando V(m/s), h(m) e Rh(m)

      CALL GEO(y,P,A,Bi,Am,Pm,Bim,Rh,Nz)

      DO I=2,Nz
        hm(I-1)=((h(I))+h(I-1)))/2
        Vm(I-1)=((V(I))+V(I-1)))/2
      ENDDO
      ENDDO !fim do laço DO responsável pela variação de tempo
```

Os arquivos *.txt são fechados e encerrado o programa.

```
C      Fechando os Arquivos

      CLOSE(1)
      CLOSE(2)
      CLOSE(3)
      CLOSE(4)
      CLOSE(5)
      WRITE(*,60)
60    FORMAT(//////)
      WRITE(*,*)'OPERAÇÃO COM SUCESSO'
      WRITE(*,*)'pressione qualquer tecla para continuar'
      WRITE(*,60)
```

```
C      Fim do Programa
```

```
      STOP
      END
```

- 2ª Simulação (Esvaziamento do canal)

Para simular a situação de esvaziamento do canal, manteve-se os passos descritos para a simulação de enchimento, alterando-se apenas as condições de contorno, sendo à montante $V_a=0$ m/s (desligamento das bombas) e à jusante $y=-0.0000028*t$; alturas d'água $y(m)$ iniciais, sendo igual a altura de regime permanente; e as comparações das alturas $h(m)$ nos tubos, passando agora a uma comparação de todas as alturas das seções em cada intervalo com o mínimo de $h=z+y$, sendo $y=2cm$.

A seguir, é apresentado as alterações ocorridas nos dados de entrada para esta simulação, bem como as rotinas que sofreram modificações nesta situação.

PARAM – Bloco de notas	
Arquivo	Editar Pesquisar Ajuda
9.81,	(m/s ²)aceleração da gravidade
0.015,	coeficiente de Manning
98.121,	(m)comprimento do canal
19.86,	(m)altura d'água à jusante (açude Pacajus)
1800,	(s)intervalo de tempo de cálculo
8.00	(m ³ /s)vazão média em regime permanente
0.00,	(m/s)velocidade na entrada do canal
109,	número de seções no canal
192,	número de intervalos de tempo para cálculo
3.141592654	valor de Pi

ALT – Bloco de notas	
Arquivo	Editar Pesquisar Ajuda
2.32,	seção(01) - y(m)
2.08,	seção(02) - y(m)
1.82,	seção(03) - y(m)
1.74,	seção(04) - y(m)
1.69,	seção(05) - y(m)
2.57,	seção(06) - y(m)
2.72,	seção(07) - y(m)
2.71,	seção(08) - y(m)
2.70,	seção(09) - y(m)
2.69,	seção(10) - y(m)
2.67,	seção(11) - y(m)
2.63,	seção(12) - y(m)
2.60,	seção(13) - y(m)
2.57,	seção(14) - y(m)
2.53,	seção(15) - y(m)
2.49,	seção(16) - y(m)
2.45,	seção(17) - y(m)
2.40,	seção(18) - y(m)

ALT – Bloco de notas	
Arquivo	Editar Pesquisar Ajuda
2.21,	seção(56) - y(m)
2.18,	seção(57) - y(m)
2.15,	seção(58) - y(m)
2.13,	seção(59) - y(m)
2.10,	seção(60) - y(m)
2.06,	seção(61) - y(m)
2.03,	seção(62) - y(m)
1.99,	seção(63) - y(m)
1.95,	seção(64) - y(m)
1.90,	seção(65) - y(m)
1.84,	seção(66) - y(m)
1.77,	seção(67) - y(m)
1.69,	seção(68) - y(m)
1.60,	seção(69) - y(m)
1.47,	seção(70) - y(m)
1.46,	seção(71) - y(m)
1.64,	seção(72) - y(m)
2.05,	seção(73) - y(m)

2.36,	seção(19) - y(m)	2.50,	seção(74) - y(m)
2.31,	seção(20) - y(m)	2.51,	seção(75) - y(m)
2.26,	seção(21) - y(m)	2.52,	seção(76) - y(m)
2.20,	seção(22) - y(m)	2.50,	seção(77) - y(m)
2.11,	seção(23) - y(m)	2.48,	seção(78) - y(m)
2.03,	seção(24) - y(m)	2.47,	seção(79) - y(m)
1.98,	seção(25) - y(m)	2.44,	seção(80) - y(m)
1.98,	seção(26) - y(m)	2.42,	seção(81) - y(m)
1.99,	seção(27) - y(m)	2.40,	seção(82) - y(m)
2.02,	seção(28) - y(m)	2.37,	seção(83) - y(m)
2.07,	seção(29) - y(m)	2.34,	seção(84) - y(m)
2.15,	seção(30) - y(m)	2.33,	seção(85) - y(m)
2.50,	seção(31) - y(m)	2.30,	seção(86) - y(m)
2.54,	seção(32) - y(m)	2.27,	seção(87) - y(m)
2.52,	seção(33) - y(m)	2.24,	seção(88) - y(m)
2.52,	seção(34) - y(m)	2.22,	seção(89) - y(m)
2.51,	seção(35) - y(m)	2.19,	seção(90) - y(m)
2.51,	seção(36) - y(m)	2.16,	seção(91) - y(m)
2.50,	seção(37) - y(m)	2.13,	seção(92) - y(m)
2.48,	seção(38) - y(m)	2.09,	seção(93) - y(m)
2.48,	seção(39) - y(m)	2.06,	seção(94) - y(m)
2.47,	seção(40) - y(m)	2.03,	seção(95) - y(m)
2.46,	seção(41) - y(m)	1.99,	seção(96) - y(m)
2.45,	seção(42) - y(m)	1.95,	seção(97) - y(m)
2.44,	seção(43) - y(m)	1.91,	seção(98) - y(m)
2.42,	seção(44) - y(m)	1.87,	seção(99) - y(m)
2.41,	seção(45) - y(m)	1.82,	seção(100)- y(m)
2.40,	seção(46) - y(m)	1.77,	seção(101)- y(m)
2.38,	seção(47) - y(m)	1.72,	seção(102)- y(m)
2.36,	seção(48) - y(m)	1.66,	seção(103)- y(m)
2.34,	seção(49) - y(m)	1.58,	seção(104)- y(m)
2.33,	seção(50) - y(m)	1.50,	seção(105)- y(m)
2.31,	seção(51) - y(m)	1.39,	seção(106)- y(m)
2.28,	seção(52) - y(m)	1.25,	seção(107)- y(m)
2.27,	seção(53) - y(m)	0.87,	seção(108)- y(m)
2.25,	seção(54) - y(m)	0.86,	seção(109)- y(m)
2.23,	seção(55) - y(m)		

C Atribuição aos Contornos F1 e Fn

F1=Va !contorno montante(velocidade na entrada do canal)

DO I=Nz,Nz

y1=0.0000028*K

Fn=ha-y1 !contorno jusante(nível variável no açude)

ENDDO

C Fim da resolução do sistema - Gravando o Resultado

```

31  WRITE(2,*)'RESOLUÇÃO DO SISTEMA'
    WRITE(2,*)'TEMPO EM SEGUNDOS'
    WRITE(2,31)K
    FORMAT('t','=',I6)
    WRITE(2,*)'SEC',' ','y(m)',' ','h(m)',' ','V(m/s)'
    WRITE(2,*)" !pula uma linha
    cont=0
    DO J=1,N,2
      V(J-cont)=U(J)
      cont=cont+1
    ENDDO
    cont1=1
    DO J=2,N,2
      hj(J-cont1)=U(J)
      cont1=cont1+1
    ENDDO
    DO I=1,Nz
      IF(hj(I).GT.h(I))THEN
        hj(I)=h(I)
      ENDIF
      h(I)=hj(I)
      y(I)=h(I)-z(I)
      IF(y(I).LT.0.02)THEN
        y(I)=0.02
        h(I)=y(I)+z(I)
      ENDIF
    WRITE(2,32)I,y(I),h(I),V(I)
32  FORMAT(I3,X,F6.2,X,F5.2,X,F6.3)
    ENDDO
    WRITE(2,*)" !Pula uma linha

```

Nesta rotina, antes da impressão dos resultados de $h(m)$, $y(m)$ e $V(m/s)$ no arquivo de saída, os valores de $y(m)$ obtidos são comparados com o valor mínimo de 2cm. Este valor foi definido na simulação anterior como o representativo do valor zero para fins matemáticos.

Os resultados de ambas simulações são demonstrados e comentados através dos gráficos elaborados para a visualização do fenômeno.

4. RESULTADOS

Os gráficos apresentados na sequência foram elaborados a partir dos dados de saída do modelo computacional, e esboçam a característica do escoamento transiente para os casos abordados.

Primeiramente são apresentados os gráficos referentes ao teste do modelo (canal retangular) e, na sequência, os dois estudos de caso realizados: Canal de Alimentação da Usina do Monjolinho e Canal do Trabalhador respectivamente.

- **Teste do Modelo (canal retangular)**

Abaixo são apresentados os gráficos das alturas d'água e velocidades no canal ao longo do tempo, decorrentes de evolução da maré à jusante e de hidrograma de cheia à montante. Os dados de saída, gerados pelo modelo para esta simulação, podem ser observados no Anexo p.102-103.

FIGURA 19 -Gráfico dos perfis d'água ao longo do tempo em toda extensão do canal, com tempo em horas t(h), altura d'água em metros h(m) e extensão do canal em quilômetros L(km).

Observando-se o gráfico, pode-se perceber o predomínio da maré entre os quilômetros 1 e 2 do canal (ou seções 1, 2 e 3) para t=1h de chuva, e entre os quilômetros 1,5 e 2 (ou seções 1 e 2) para t=2h de chuva. Após este intervalo, há predominância do escoamento de montante sobre todas as seções do canal.

FIGURA 20 -Gráfico do perfil de velocidade ocorrida no canal no decorrer do tempo

A ocorrência de velocidades positivas se dá durante as duas primeiras horas de chuva, sendo entre os quilômetros 0,7 e 2,0 inclusive (ou seções de 1 a 3) na primeira hora, e entre os quilômetros 1,2 e 2 inclusive (ou seções 1 e 2) na segunda hora, evidenciando a influência da maré nestes trechos. Em um caso real, lançando-se a topografia, são identificados no gráfico os pontos de transbordamento.

- **1º CASO – Canal de Alimentação da Usina do Monjolinho**

Nesta abordagem foram analisadas duas situações específicas: interrupção do escoamento no canal pela paralisação brusca na turbina, abertura instantânea da turbina para uma condição de repouso absoluto no canal. Os dados de saída para ambas simulações podem ser observados no Anexo p.104-112. Os gráficos que demonstram o fenômeno são apresentados e comentados na seqüência.

1ª Simulação – abertura instantânea da turbina

Esta simulação tem a finalidade específica de avaliar se há ocorrência de entrada de ar no conduto forçado. De acordo com o gráfico, verifica-se a não ocorrência do fenômeno. O escoamento volta ao regime permanente sem passar por um nível crítico à jusante que condicione a entrada de ar na tubulação forçada. Neste caso, as alturas mínimas (h_{min}) são iguais as alturas $h(m)$ no regime permanente.

FIGURA 21 -Gráfico das alturas d'água $h(m)$ ocorridas no canal ao longo do tempo (manobra de abertura da turbina)

A partir de 1h52min, as alturas d'água $h(m)$ no canal alcançam o regime permanente. Pode ser observado pelo gráfico da FIGURA 22, a não ocorrência da entrada de ar no conduto forçado, uma vez que a mínima altura registrada na extremidade jusante ($L = 1347m$), sequer atinge a cota do conduto forçado.

FIGURA 22 -Gráfico das alturas mínimas $hmin(m)$ ocorridas

FIGURA 23 - Gráfico do perfil de velocidades V (m/s) nas seções do canal no tempo (manobra de abertura da turbina)

O gráfico mostra o efeito do movimento no canal após a abertura instantânea da turbina. A velocidade na extremidade jusante aumenta quase que instantaneamente enquanto que à montante, a água permanece em repouso no canal.

2ª Simulação – fechamento brusco da turbina

A partir dos dados de alturas e velocidades de regime permanente, obtidos pela simulação de abertura da turbina, esta simulação verifica o aumento da altura d'água no canal quando o estado de regime é interrompido pela paralisação brusca da turbina. Visa especificamente se ocorre ou não o transbordamento no sistema adutor.

Da mesma forma que a simulação anterior, os gráficos apresentados esboçam alguns momentos da evolução do perfil d'água no canal dentro do período de duas horas de simulação em intervalos de dez segundos. A partir de 49min, as alturas d'água h (m) no canal permanecem praticamente constantes, com pequena oscilação no perfil de velocidades.

FIGURA 24 -Gráfico das alturas d'água $h(m)$ ocorridas nas seções do canal no tempo (manobra de fechamento da turbina)

Observa-se pelo gráfico das alturas a propagação da onda positiva de jusante, resultado do fechamento brusco da turbina. Verifica-se a ocorrência de transbordamento no canal entre 1km e 1,3km, o que sugere a possibilidade de ter havido erosão, por águas pluviais, neste trecho de canal, durante o longo período em que ele esteve paralisado. A situação de repouso se dá após um período de 49 min. A máxima altura é mostrada no gráfico da FIGURA 25.

FIGURA 25 - Gráfico das máximas alturas d'água $h_{max}(m)$ ocorridas nas seções do canal

FIGURA 26 - Gráfico do perfil de velocidades $V(\text{m/s})$ nas seções do canal no tempo (manobra de fechamento da turbina)

O gráfico das velocidades evidencia a característica do fenômeno. Como o movimento é lento (escoamento fluvial: $Fr < 1$), o efeito de jusante influencia diretamente o controle sobre o escoamento de montante. Nota-se a queda na velocidade de montante quando do fechamento instantâneo da turbina, somente após o tempo de 12min. Devido a caracterização de escoamento lento, com baixas velocidades, a variação no perfil d'água no tempo também é lenta o que é constatado no gráfico das alturas $h(\text{m})$. Pelo gráfico pode-se observar que após o período de 49 min, as velocidades começam a oscilar, em função da onda de “vai e vem”, próximas de $V=0\text{m/s}$ até atingir o repouso.

- **2º CASO – Canal do Trabalhador**

A aplicação do modelo neste caso visou determinar o transiente hidráulico no sistema para as situações de enchimento e esvaziamento do canal. Estas verificações permitem o planejamento, por exemplo, do tempo de liga e desliga do bombeamento à montante. Vale ressaltar que para a simulação de outras operações, resta a adequação dos dados de entrada e das condições de contorno.

Para expressar com maior rigor o que acontece no açude Pacajus, tanto no enchimento quanto no esvaziamento, torna-se necessário a aplicação de um contorno que represente a prática de uso do referido reservatório. Os dados de saída para ambas simulações podem ser observados no Anexo p.113-139. Os gráficos que demonstram o fenômeno são apresentados e comentados na seqüência.

1ª Simulação – Enchimento do Canal

Os resultados apresentados mostram instantes da evolução do perfil d'água no canal dentro do período de dois dias de simulação em intervalos de três minutos.

Para a simulação de enchimento, após a chegada da onda no açude Pacajus (41h), o trecho final do canal entrará em regime permanente após algumas horas. No caso desta simulação, que considera uma variação linear da altura d'água no reservatório Pacajus, o regime permanente é atingido após 48h, tempo a partir do qual a vazão que entra no reservatório foi considerada igual à vazão que sai do mesmo. Em virtude do artifício numérico empregado, que considera lâmina inicial de 2 cm em toda extensão do canal, as velocidades de ocorrência, sobretudo nos momentos iniciais, não representam as velocidades reais do fenômeno. A evolução do perfil d'água pode ser observada no gráfico da FIGURA 27.

2ª Simulação – Esvaziamento do Canal

Nesta simulação, partindo-se da situação de regime permanente ($t = 48h$), verifica-se o esvaziamento do sistema após a paralisação do bombeamento na estação elevatória de Itaíçaba. É possível observar pelo gráfico da FIGURA 28, a queda gradual das alturas d'água no canal, processando-se lentamente de montante para jusante. A variação na extremidade jusante só é “sentida”, de maneira significativa, 36h após o desligamento das bombas. Observa-se que o canal está praticamente vazio num período de 96h ou 4 dias.

FIGURA 27 – Enchimento do Canal do Trabalhador ao longo do tempo

FIGURA 28 – Esvaziamento do Canal do Trabalhador ao longo do tempo

5. CONCLUSÕES

Como conclusão deste trabalho, pode-se dizer que a meta inicial foi atingida com sucesso, face a resposta dada pelo modelo aqui implementado. Os dados de saída gerados pelo modelo computacional desenvolvido foram comparados com resultados previamente obtidos por um modelo simplificado, onde foi possível comprovar sua viabilidade de aplicação.

É válido ressaltar que a proposta deste trabalho era a de elaborar um modelo computacional, utilizando as equações de Saint-Venant, a partir de um caso relativamente simples, como forma de viabilizar a sua aplicação para outros casos de abordagem mais complexa e, para tanto, pode-se concluir que este objetivo foi atingido.

Para a aplicação do modelo computacional, apresentado por este estudo, em outros casos de abordagens mais complexas, resta a adaptação do programa para as particularidades geométricas e hidráulicas do canal estudado, tais como, tomadas d'água, vertedores laterais, sifões, geometria das seções, bem como as condições de contorno do problema particular.

Em se tratando de canais naturais (seções não prismáticas), vale ressaltar os cuidados que devem ser tomados quanto ao aspecto geométrico. Como a configuração geométrica das seções são aproximadas por funções matemáticas ($A=f(y)$ e $P=f(y)$), a correlação obtida deve ser analisada com critério para as máximas e mínimas alturas d'água atingidas na simulação, evitando-se a divergência de valores.

Uma das condições de contorno apresentada nos casos estudados é a velocidade em função do tempo $V(t)$, objeto da discretização das equações de Saint-Venant. Este contorno pode ser substituído pela vazão em função do tempo $Q(t)$, dependendo da conveniência em cada abordagem, bastando rediscretizar as equações hidrodinâmicas em função da vazão.

Com relação ao esforço computacional exigido para o processamento, apesar de não ter sido objeto do presente estudo, poderá ser avaliado posteriormente com o propósito de se determinar o menor tempo requerido para tal, atingindo-se conseqüentemente a otimização do modelo empregado.

Finalmente, as equações de Saint-Venant são desenvolvidas para análise de escoamento transiente em canais onde atue a pressão atmosférica ao longo de toda a superfície livre. Em casos onde há combinação destes com sistemas que funcionem sob pressão (Ex.: Canal do Trabalhador), resta a aplicação de modelos que permitam a resolução simultânea de situações desta natureza, ficando como proposta de estudo para pesquisas posteriores

Dados de Saída da Simulação de Teste do Modelo

Canal Retangular

Sai – Bloco de notas
Arquivo Editar Pesquisar Ajuda
<p>MODELO UNIDIMENSIONAL P/ CÁLCULO DE TRANSIENTE HIDRÁULICO EM CANAIS RETANGULARES</p> <p>CONDIÇÕES INICIAIS DO ESCOAMENTO</p> <p>ALTURA D'ÁGUA INICIAL - h(m)</p> <p>h1: 0.36 h2: 0.36 h3: 0.36 h4: 0.36 h5: 0.36</p> <p>VELOCIDADE INICIAL - V(m/s)</p> <p>V1: -0.14 V2: -0.14 V3: -0.14 V4: -0.14 V5: -0.14</p>

Sai – Bloco de notas	Sai – Bloco de notas
Arquivo Editar Pesquisar Ajuda	Arquivo Editar Pesquisar Ajuda
<p>RESOLUÇÃO DO SISTEMA TEMPO EM HORAS t=1</p> <p>ALTURA D'AGUA - h(m)</p> <p>h1: 1.16 h2: 0.95 h3: 0.86 h4: 0.85 h5: 0.91</p> <p>VELOCIDADE - V(m/s)</p> <p>V1: 0.718 V2: 0.367 V3: 0.116 V4: -0.081 V5: -0.261</p>	<p>RESOLUÇÃO DO SISTEMA TEMPO EM HORAS t=2</p> <p>ALTURA D'AGUA - h(m)</p> <p>h1: 1.75 h2: 1.71 h3: 1.71 h4: 1.72 h5: 1.75</p> <p>VELOCIDADE - V(m/s)</p> <p>V1: 0.158 V2: 0.087 V3: -0.037 V4: -0.177 V5: -0.306</p>

Sai – Bloco de notas				Sai – Bloco de notas			
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda
RESOLUÇÃO DO SISTEMA TEMPO EM HORAS t=3 ALTURA D'AGUA - h(m) h1: 1.96 h2: 1.98 h3: 1.98 h4: 2.00 h5: 2.02 VELOCIDADE - V(m/s) V1: -0.233 V2: -0.253 V3: -0.275 V4: -0.296 V5: -0.314				RESOLUÇÃO DO SISTEMA TEMPO EM HORAS t=4 ALTURA D'AGUA - h(m) h1: 1.75 h2: 1.77 h3: 1.80 h4: 1.83 h5: 1.86 VELOCIDADE - V(m/s) V1: -0.347 V2: -0.329 V3: -0.312 V4: -0.295 V5: -0.280			

Sai – Bloco de notas				Sai – Bloco de notas			
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda
RESOLUÇÃO DO SISTEMA TEMPO EM HORAS t=5 ALTURA D'AGUA - h(m) h1: 1.16 h2: 1.21 h3: 1.24 h4: 1.27 h5: 1.30 VELOCIDADE - V(m/s) V1: -0.398 V2: -0.343 V3: -0.293 V4: -0.246 V5: -0.200				RESOLUÇÃO DO SISTEMA TEMPO EM HORAS t=6 ALTURA D'AGUA - h(m) h1: 0.36 h2: 0.46 h3: 0.53 h4: 0.57 h5: 0.59 VELOCIDADE - V(m/s) V1: -0.529 V2: -0.406 V3: -0.307 V4: -0.220 V5: -0.140			

Dados de Saída do Modelo para o Canal de Alimentação da Usina Monjolinho
Simulação de Abertura da Turbina

Sai – Bloco de notas				
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	
TRANSIENTE HIDRÁULICO - CANAL DA UHE MONJOLINHO				
Abertura da Turbina				
CONDIÇÕES INICIAIS DO ESCOAMENTO				
SEC	y(m)	h(m)	z(m)	V(m/s)
1	0.59	3.61	3.02	0.000
2	0.62	3.61	2.99	0.000
3	0.70	3.61	2.91	0.000
4	0.71	3.61	2.90	0.000
5	0.72	3.61	2.89	0.000
6	0.75	3.61	2.86	0.000
7	0.78	3.61	2.83	0.000
8	0.79	3.61	2.82	0.000
9	0.81	3.61	2.80	0.000
10	0.76	3.61	2.85	0.000
11	0.80	3.61	2.81	0.000
12	0.90	3.61	2.71	0.000
13	1.02	3.61	2.59	0.000
14	1.03	3.61	2.58	0.000
15	0.95	3.61	2.66	0.000
16	0.94	3.61	2.67	0.000
17	1.01	3.61	2.60	0.000
18	0.99	3.61	2.62	0.000
19	1.09	3.61	2.52	0.000
20	1.25	3.61	2.36	0.000
21	1.17	3.61	2.44	0.000
22	1.19	3.61	2.42	0.000
23	1.31	3.61	2.30	0.000
24	1.42	3.61	2.19	0.000
25	1.50	3.61	2.11	0.000
26	1.51	3.61	2.10	0.000
27	1.54	3.61	2.07	0.000
28	1.57	3.61	2.04	0.000
29	1.64	3.61	1.97	0.000
30	2.61	3.61	1.00	0.000

Sai – Bloco de notas					Sai – Bloco de notas				
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda		Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	
RESOLUÇÃO DO SISTEMA					RESOLUÇÃO DO SISTEMA				
TEMPO EM SEGUNDOS					TEMPO EM SEGUNDOS				
t= 120					t= 360				
SEC	y(m)	h(m)	V(m/s)		SEC	y(m)	h(m)	V(m/s)	
1	0.59	3.61	0.000		1	0.59	3.61	0.000	
2	0.62	3.61	0.000		2	0.62	3.61	0.002	
3	0.70	3.61	0.000		3	0.69	3.60	0.019	
4	0.71	3.61	0.000		4	0.70	3.60	0.021	
5	0.72	3.61	0.000		5	0.71	3.60	0.024	
6	0.75	3.61	0.000		6	0.74	3.60	0.033	
7	0.78	3.61	0.000		7	0.77	3.60	0.038	
8	0.79	3.61	0.000		8	0.78	3.60	0.039	
9	0.81	3.61	0.000		9	0.79	3.59	0.039	
10	0.76	3.61	0.000		10	0.74	3.59	0.050	
11	0.80	3.61	0.000		11	0.77	3.58	0.111	
12	0.90	3.61	0.000		12	0.86	3.57	0.143	
13	1.02	3.61	0.000		13	0.97	3.56	0.149	
14	1.03	3.61	0.000		14	0.98	3.56	0.150	
15	0.95	3.61	-0.001		15	0.89	3.55	0.201	
16	0.94	3.61	0.000		16	0.86	3.53	0.292	
17	1.01	3.61	0.003		17	0.91	3.51	0.317	
18	0.99	3.61	0.002		18	0.87	3.49	0.402	
19	1.10	3.62	-0.019		19	0.94	3.46	0.436	
20	1.25	3.61	-0.006		20	1.09	3.45	0.388	
21	1.17	3.61	0.005		21	1.01	3.45	0.439	
22	1.19	3.61	0.007		22	1.03	3.45	0.429	
23	1.26	3.56	0.168		23	1.13	3.43	0.423	
24	1.31	3.50	0.330		24	1.22	3.41	0.414	
25	1.36	3.47	0.410		25	1.29	3.40	0.419	
26	1.37	3.47	0.408		26	1.30	3.40	0.415	
27	1.39	3.46	0.422		27	1.32	3.39	0.426	
28	1.41	3.45	0.429		28	1.34	3.38	0.437	
29	1.48	3.45	0.409		29	1.41	3.38	0.416	
30	2.45	3.45	0.251		30	2.39	3.39	0.251	

Sai – Bloco de notas					Sai – Bloco de notas				
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda		Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	
RESOLUÇÃO DO SISTEMA					RESOLUÇÃO DO SISTEMA				
TEMPO EM SEGUNDOS					TEMPO EM SEGUNDOS				
t= 720					t= 1200				
SEC	y(m)	h(m)	V(m/s)		SEC	y(m)	h(m)	V(m/s)	
1	0.59	3.61	0.744		1	0.59	3.61	0.817	
2	0.61	3.60	0.716		2	0.61	3.60	0.789	
3	0.67	3.58	0.641		3	0.66	3.57	0.712	
4	0.68	3.58	0.633		4	0.67	3.57	0.703	
5	0.68	3.57	0.625		5	0.68	3.57	0.694	
6	0.71	3.57	0.601		6	0.70	3.56	0.668	
7	0.73	3.56	0.585		7	0.72	3.55	0.652	
8	0.74	3.56	0.584		8	0.73	3.55	0.650	
9	0.75	3.55	0.579		9	0.74	3.54	0.644	
10	0.69	3.54	0.621		10	0.67	3.52	0.697	
11	0.70	3.51	0.610		11	0.68	3.49	0.695	

12	0.79	3.50	0.528	12	0.76	3.47	0.602
13	0.91	3.50	0.446	13	0.88	3.47	0.506
14	0.92	3.50	0.440	14	0.89	3.47	0.500
15	0.83	3.49	0.503	15	0.80	3.46	0.577
16	0.79	3.46	0.538	16	0.75	3.42	0.630
17	0.85	3.45	0.497	17	0.80	3.40	0.583
18	0.80	3.42	0.544	18	0.75	3.37	0.653
19	0.86	3.38	0.513	19	0.80	3.32	0.623
20	1.01	3.37	0.432	20	0.94	3.30	0.516
21	0.92	3.36	0.487	21	0.85	3.29	0.587
22	0.94	3.36	0.475	22	0.87	3.29	0.571
23	1.04	3.34	0.447	23	0.96	3.26	0.525
24	1.13	3.32	0.428	24	1.05	3.24	0.487
25	1.19	3.30	0.430	25	1.11	3.22	0.470
26	1.20	3.30	0.426	26	1.12	3.22	0.465
27	1.22	3.29	0.438	27	1.14	3.21	0.466
28	1.24	3.28	0.452	28	1.16	3.20	0.468
29	1.31	3.28	0.428	29	1.23	3.20	0.441
30	2.29	3.29	0.251	30	2.21	3.21	0.251

Sai – Bloco de notas				Sai – Bloco de notas			
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda
RESOLUÇÃO DO SISTEMA				RESOLUÇÃO DO SISTEMA			
TEMPO EM SEGUNDOS				TEMPO EM SEGUNDOS			
t= 2370				t= 6720			
SEC	y(m)	h(m)	V(m/s)	SEC	y(m)	h(m)	V(m/s)
1	0.59	3.61	0.886	1	0.59	3.61	0.915
2	0.60	3.59	0.860	2	0.60	3.59	0.891
3	0.65	3.56	0.781	3	0.65	3.56	0.813
4	0.66	3.56	0.772	4	0.66	3.56	0.803
5	0.67	3.56	0.763	5	0.66	3.55	0.794
6	0.69	3.55	0.735	6	0.68	3.54	0.766
7	0.71	3.54	0.717	7	0.70	3.53	0.747
8	0.71	3.53	0.715	8	0.71	3.53	0.745
9	0.73	3.53	0.708	9	0.72	3.52	0.738
10	0.65	3.50	0.775	10	0.64	3.49	0.813
11	0.65	3.46	0.784	11	0.63	3.44	0.831
12	0.73	3.44	0.676	12	0.71	3.42	0.716
13	0.85	3.44	0.563	13	0.83	3.42	0.594
14	0.86	3.44	0.556	14	0.84	3.42	0.586
15	0.76	3.42	0.646	15	0.74	3.40	0.685
16	0.70	3.37	0.712	16	0.67	3.34	0.764
17	0.75	3.35	0.657	17	0.72	3.32	0.705
18	0.68	3.30	0.748	18	0.64	3.26	0.822
19	0.71	3.23	0.721	19	0.64	3.16	0.820
20	0.85	3.21	0.584	20	0.77	3.13	0.654
21	0.75	3.19	0.675	21	0.67	3.11	0.772
22	0.77	3.19	0.654	22	0.69	3.11	0.745
23	0.85	3.15	0.592	23	0.75	3.05	0.671
24	0.93	3.12	0.537	24	0.82	3.01	0.599
25	0.99	3.10	0.508	25	0.87	2.98	0.557
26	1.00	3.10	0.502	26	0.88	2.98	0.549

27	1.02	3.09	0.498	27	0.89	2.96	0.539
28	1.03	3.07	0.495	28	0.90	2.94	0.530
29	1.10	3.07	0.463	29	0.98	2.95	0.492
30	2.08	3.08	0.251	30	1.95	2.95	0.251

Sai – Bloco de notas			
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda
ALTURA MÍNIMA OCORRIDA- hmin(m)			
hmin 1:	3.61		
hmin 2:	3.59		
hmin 3:	3.56		
hmin 4:	3.56		
hmin 5:	3.55		
hmin 6:	3.54		
hmin 7:	3.53		
hmin 8:	3.53		
hmin 9:	3.52		
hmin 10:	3.49		
hmin 11:	3.44		
hmin 12:	3.42		
hmin 13:	3.42		
hmin 14:	3.42		
hmin 15:	3.40		
hmin 16:	3.34		
hmin 17:	3.32		
hmin 18:	3.26		
hmin 19:	3.16		
hmin 20:	3.13		
hmin 21:	3.11		
hmin 22:	3.11		
hmin 23:	3.05		
hmin 24:	3.01		
hmin 25:	2.98		
hmin 26:	2.98		
hmin 27:	2.96		
hmin 28:	2.94		
hmin 29:	2.94		
hmin 30:	2.95		

Dados de Saída do Modelo para o Canal de Alimentação da Usina Monjolinho
Simulação de Fechamento da Turbina

Sai – Bloco de notas				
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	
TRANSIENTE HIDRÁULICO - CANAL DA UHE MONJOLINHO				
Fechamento da Turbina				
CONDIÇÕES INICIAIS DO ESCOAMENTO				
SEC	y(m)	h(m)	z(m)	V(m/s)
1	0.59	3.61	3.02	0.915
2	0.60	3.59	2.99	0.891
3	0.65	3.56	2.91	0.813
4	0.66	3.56	2.90	0.803
5	0.66	3.55	2.89	0.794
6	0.68	3.54	2.86	0.766
7	0.70	3.53	2.83	0.747
8	0.71	3.53	2.82	0.745
9	0.72	3.52	2.80	0.738
10	0.64	3.49	2.85	0.813
11	0.63	3.44	2.81	0.832
12	0.71	3.42	2.71	0.717
13	0.83	3.42	2.59	0.594
14	0.84	3.42	2.58	0.586
15	0.74	3.40	2.66	0.685
16	0.67	3.34	2.67	0.764
17	0.72	3.32	2.60	0.706
18	0.64	3.26	2.62	0.823
19	0.64	3.16	2.52	0.822
20	0.77	3.13	2.36	0.656
21	0.67	3.11	2.44	0.774
22	0.69	3.11	2.42	0.747
23	0.75	3.05	2.30	0.673
24	0.82	3.01	2.19	0.601
25	0.87	2.98	2.11	0.558
26	0.88	2.98	2.10	0.550
27	0.89	2.96	2.07	0.540
28	0.90	2.94	2.04	0.531
29	0.97	2.94	1.97	0.492
30	1.95	2.95	1.00	0.251

Sai – Bloco de notas					Sai – Bloco de notas				
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda		Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	
RESOLUÇÃO DO SISTEMA					RESOLUÇÃO DO SISTEMA				
TEMPO EM SEGUNDOS					TEMPO EM SEGUNDOS				
t= 120					t= 360				
SEC	y(m)	h(m)	V(m/s)		SEC	y(m)	h(m)	V(m/s)	
1	0.59	3.61	0.916		1	0.59	3.61	0.915	
2	0.60	3.59	0.892		2	0.60	3.59	0.891	
3	0.65	3.56	0.813		3	0.65	3.56	0.813	
4	0.66	3.56	0.804		4	0.66	3.56	0.804	
5	0.66	3.55	0.795		5	0.66	3.55	0.794	
6	0.68	3.54	0.767		6	0.68	3.54	0.766	
7	0.70	3.53	0.748		7	0.70	3.53	0.748	
8	0.71	3.53	0.746		8	0.71	3.53	0.746	
9	0.72	3.52	0.739		9	0.72	3.52	0.738	
10	0.64	3.49	0.814		10	0.64	3.49	0.813	
11	0.63	3.44	0.833		11	0.63	3.44	0.827	
12	0.71	3.42	0.717		12	0.71	3.42	0.711	
13	0.83	3.42	0.594		13	0.83	3.42	0.591	
14	0.84	3.42	0.586		14	0.84	3.42	0.583	
15	0.74	3.40	0.685		15	0.74	3.40	0.684	
16	0.68	3.35	0.761		16	0.67	3.34	0.783	
17	0.72	3.32	0.698		17	0.71	3.31	0.733	
18	0.63	3.25	0.830		18	0.64	3.26	0.809	
19	0.64	3.16	0.808		19	0.70	3.22	0.589	
20	0.77	3.13	0.640		20	0.87	3.23	0.384	
21	0.67	3.11	0.773		21	0.78	3.22	0.416	
22	0.69	3.11	0.752		22	0.80	3.22	0.400	
23	0.73	3.03	0.739		23	0.92	3.22	0.248	
24	0.88	3.07	0.383		24	1.03	3.22	0.151	
25	1.01	3.12	0.102		25	1.11	3.22	0.079	
26	1.02	3.12	0.097		26	1.12	3.22	0.076	
27	1.06	3.13	0.037		27	1.15	3.22	0.040	
28	1.08	3.12	0.005		28	1.18	3.22	0.006	
29	1.15	3.12	0.003		29	1.25	3.22	0.004	
30	2.12	3.12	0.000		30	2.22	3.22	0.000	

Sai – Bloco de notas					Sai – Bloco de notas				
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda		Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	
RESOLUÇÃO DO SISTEMA					RESOLUÇÃO DO SISTEMA				
TEMPO EM SEGUNDOS					TEMPO EM SEGUNDOS				
t= 720					t= 1200				
SEC	y(m)	h(m)	V(m/s)		SEC	y(m)	h(m)	V(m/s)	
1	0.59	3.61	0.909		1	0.59	3.61	0.753	
2	0.60	3.59	0.884		2	0.61	3.60	0.721	
3	0.65	3.56	0.801		3	0.67	3.58	0.638	
4	0.66	3.56	0.791		4	0.68	3.58	0.629	
5	0.67	3.56	0.781		5	0.69	3.58	0.620	
6	0.69	3.55	0.751		6	0.72	3.58	0.592	
7	0.71	3.54	0.731		7	0.74	3.57	0.576	
8	0.71	3.53	0.728		8	0.75	3.57	0.574	
9	0.73	3.53	0.721		9	0.76	3.56	0.570	
10	0.65	3.50	0.787		10	0.70	3.55	0.604	
11	0.65	3.46	0.776		11	0.72	3.53	0.565	

12	0.74	3.45	0.653	12	0.82	3.53	0.472
13	0.86	3.45	0.536	13	0.94	3.53	0.391
14	0.86	3.44	0.528	14	0.95	3.53	0.385
15	0.77	3.43	0.598	15	0.86	3.52	0.425
16	0.73	3.40	0.607	16	0.84	3.51	0.412
17	0.79	3.39	0.526	17	0.91	3.51	0.354
18	0.75	3.37	0.520	18	0.88	3.50	0.338
19	0.84	3.36	0.386	19	0.98	3.50	0.249
20	1.00	3.36	0.272	20	1.14	3.50	0.180
21	0.92	3.36	0.292	21	1.06	3.50	0.190
22	0.94	3.36	0.283	22	1.08	3.50	0.185
23	1.06	3.36	0.182	23	1.20	3.50	0.121
24	1.17	3.36	0.111	24	1.31	3.50	0.075
25	1.25	3.36	0.057	25	1.39	3.50	0.039
26	1.26	3.36	0.055	26	1.40	3.50	0.038
27	1.29	3.36	0.028	27	1.43	3.50	0.019
28	1.32	3.36	0.004	28	1.46	3.50	0.003
29	1.39	3.36	0.003	29	1.53	3.50	0.002
30	2.36	3.36	0.000	30	2.50	3.50	0.000

Sai – Bloco de notas				Sai – Bloco de notas			
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda
RESOLUÇÃO DO SISTEMA				RESOLUÇÃO DO SISTEMA			
TEMPO EM SEGUNDOS				TEMPO EM SEGUNDOS			
t= 2370				t= 2940			
SEC	y(m)	h(m)	V(m/s)	SEC	y(m)	h(m)	V(m/s)
1	0.59	3.61	-0.067	1	0.59	3.61	-0.174
2	0.62	3.61	-0.064	2	0.62	3.61	-0.164
3	0.70	3.61	-0.056	3	0.70	3.61	-0.141
4	0.71	3.61	-0.055	4	0.71	3.61	-0.139
5	0.73	3.62	-0.054	5	0.72	3.61	-0.137
6	0.76	3.62	-0.052	6	0.75	3.61	-0.130
7	0.79	3.62	-0.050	7	0.78	3.61	-0.126
8	0.80	3.62	-0.050	8	0.79	3.61	-0.126
9	0.80	3.62	-0.050	9	0.80	3.61	-0.126
10	0.77	3.62	-0.052	10	0.76	3.61	-0.130
11	0.81	3.62	-0.048	11	0.80	3.61	-0.119
12	0.92	3.63	-0.041	12	0.90	3.61	-0.101
13	1.04	3.63	-0.035	13	1.02	3.61	-0.084
14	1.05	3.63	-0.035	14	1.03	3.61	-0.083
15	0.97	3.63	-0.037	15	0.95	3.61	-0.090
16	0.96	3.63	-0.035	16	0.94	3.61	-0.087
17	1.03	3.63	-0.031	17	1.01	3.61	-0.075
18	1.02	3.64	-0.029	18	0.99	3.61	-0.071
19	1.12	3.64	-0.022	19	1.09	3.61	-0.053
20	1.28	3.64	-0.016	20	1.25	3.61	-0.039
21	1.20	3.64	-0.017	21	1.17	3.61	-0.041
22	1.22	3.64	-0.017	22	1.19	3.61	-0.040
23	1.34	3.64	-0.011	23	1.31	3.61	-0.026
24	1.45	3.64	-0.007	24	1.42	3.61	-0.016
25	1.54	3.65	-0.004	25	1.50	3.61	-0.009
26	1.55	3.65	-0.004	26	1.51	3.61	-0.008

27	1.58	3.65	-0.002	27	1.54	3.61	-0.004
28	1.61	3.65	0.000	28	1.57	3.61	-0.001
29	1.68	3.65	0.000	29	1.64	3.61	0.000
30	2.65	3.65	0.000	30	2.61	3.61	0.000

Sai – Bloco de notas				Sai – Bloco de notas			
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda
RESOLUÇÃO DO SISTEMA				RESOLUÇÃO DO SISTEMA			
TEMPO EM SEGUNDOS				TEMPO EM SEGUNDOS			
t= 6000				t= 7200			
SEC	y(m)	h(m)	V(m/s)	SEC	y(m)	h(m)	V(m/s)
1	0.59	3.61	0.048	1	0.59	3.61	-0.045
2	0.62	3.61	0.046	2	0.62	3.61	-0.042
3	0.70	3.61	0.040	3	0.70	3.61	-0.037
4	0.71	3.61	0.039	4	0.71	3.61	-0.036
5	0.72	3.61	0.038	5	0.72	3.61	-0.036
6	0.75	3.61	0.037	6	0.75	3.61	-0.034
7	0.78	3.61	0.036	7	0.78	3.61	-0.033
8	0.79	3.61	0.036	8	0.79	3.61	-0.033
9	0.80	3.61	0.036	9	0.80	3.61	-0.033
10	0.76	3.61	0.037	10	0.76	3.61	-0.034
11	0.80	3.61	0.034	11	0.80	3.61	-0.032
12	0.90	3.61	0.029	12	0.90	3.61	-0.027
13	1.02	3.61	0.025	13	1.02	3.61	-0.023
14	1.03	3.61	0.024	14	1.03	3.61	-0.022
15	0.95	3.61	0.026	15	0.95	3.61	-0.024
16	0.94	3.61	0.026	16	0.94	3.61	-0.024
17	1.01	3.61	0.023	17	1.01	3.61	-0.021
18	0.99	3.61	0.022	18	0.99	3.61	-0.020
19	1.08	3.60	0.017	19	1.09	3.61	-0.015
20	1.24	3.60	0.012	20	1.25	3.61	-0.012
21	1.16	3.60	0.013	21	1.17	3.61	-0.012
22	1.18	3.60	0.013	22	1.19	3.61	-0.012
23	1.30	3.60	0.009	23	1.31	3.61	-0.008
24	1.41	3.60	0.005	24	1.42	3.61	-0.005
25	1.49	3.60	0.003	25	1.50	3.61	-0.003
26	1.50	3.60	0.003	26	1.51	3.61	-0.003
27	1.53	3.60	0.001	27	1.54	3.61	-0.001
28	1.56	3.60	0.000	28	1.57	3.61	0.000
29	1.63	3.60	0.000	29	1.64	3.61	0.000
30	2.60	3.60	0.000	30	2.61	3.61	0.000

Sai – Bloco de notas			
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda
ALTURA MÁXIMA OCORRIDA- hmax(m)			
hmax 1:	3.61		
hmax 2:	3.61		
hmax 3:	3.61		
hmax 4:	3.62		
hmax 5:	3.62		
hmax 6:	3.62		
hmax 7:	3.62		
hmax 8:	3.62		
hmax 9:	3.62		
hmax 10:	3.62		
hmax 11:	3.62		
hmax 12:	3.63		
hmax 13:	3.63		
hmax 14:	3.63		
hmax 15:	3.63		
hmax 16:	3.63		
hmax 17:	3.63		
hmax 18:	3.64		
hmax 19:	3.64		
hmax 20:	3.64		
hmax 21:	3.64		
hmax 22:	3.64		
hmax 23:	3.64		
hmax 24:	3.65		
hmax 25:	3.65		
hmax 26:	3.65		
hmax 27:	3.65		
hmax 28:	3.65		
hmax 29:	3.65		
hmax 30:	3.65		

Dados de Saída do Modelo para o Canal do Trabalhador

Simulação de Enchimento do Canal

Sai – Bloco de notas				
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	
TRANSIENTE HIDRÁULICO - CANAL DO TRABALHADOR				
Enchimento do Canal				
CONDIÇÕES INICIAIS DO ESCOAMENTO				
SEC	y(m)	h(m)	z(m)	V(m/s)
1	0.48	24.42	23.94	0.000
2	0.28	24.42	24.14	0.000
3	0.08	24.42	24.34	0.000
4	0.06	24.42	24.36	0.000
5	0.02	24.42	24.40	0.000
6	0.02	23.02	23.00	0.000
7	0.02	23.01	22.99	0.000
8	0.02	22.98	22.96	0.000
9	0.02	22.95	22.93	0.000
10	0.02	22.92	22.90	0.000
11	0.02	22.90	22.88	0.000
12	0.02	22.89	22.87	0.000
13	0.02	22.88	22.86	0.000
14	0.02	22.86	22.84	0.000
15	0.02	22.85	22.83	0.000
16	0.02	22.83	22.81	0.000
17	0.02	22.82	22.80	0.000
18	0.02	22.81	22.79	0.000
19	0.02	22.79	22.77	0.000
20	0.02	22.78	22.76	0.000
21	0.02	22.76	22.74	0.000
22	0.02	22.75	22.73	0.000
23	0.02	22.74	22.72	0.000
24	0.02	22.72	22.70	0.000
25	0.02	22.64	22.62	0.000
26	0.02	22.48	22.46	0.000
27	0.02	22.46	22.44	0.000
28	0.02	22.16	22.14	0.000
29	0.02	21.94	21.92	0.000
30	0.02	21.72	21.70	0.000
31	0.02	21.19	21.17	0.000
32	0.02	21.17	21.15	0.000
33	0.02	21.16	21.14	0.000
34	0.02	21.14	21.12	0.000
35	0.02	21.13	21.11	0.000
36	0.02	21.11	21.09	0.000
37	0.02	21.10	21.08	0.000
38	0.02	21.09	21.07	0.000
39	0.02	21.07	21.05	0.000
40	0.02	21.06	21.04	0.000
41	0.02	21.04	21.02	0.000
42	0.02	21.03	21.01	0.000
43	0.02	21.02	21.00	0.000
44	0.02	21.01	20.99	0.000
45	0.02	20.99	20.97	0.000
46	0.02	20.98	20.96	0.000

47	0.02	20.97	20.95	0.000
48	0.02	20.96	20.94	0.000
49	0.02	20.95	20.93	0.000
50	0.02	20.93	20.91	0.000
51	0.02	20.92	20.90	0.000
52	0.02	20.91	20.89	0.000
53	0.02	20.89	20.87	0.000
54	0.02	20.88	20.86	0.000
55	0.02	20.86	20.84	0.000
56	0.02	20.85	20.83	0.000
57	0.02	20.84	20.82	0.000
58	0.02	20.83	20.81	0.000
59	0.02	20.81	20.79	0.000
60	0.02	20.80	20.78	0.000
61	0.02	20.79	20.77	0.000
62	0.02	20.77	20.75	0.000
63	0.02	20.76	20.74	0.000
64	0.02	20.74	20.72	0.000
65	0.02	20.73	20.71	0.000
66	0.02	20.72	20.70	0.000
67	0.02	20.71	20.69	0.000
68	0.02	20.70	20.68	0.000
69	0.02	20.68	20.66	0.000
70	0.02	20.67	20.65	0.000
71	0.02	20.66	20.64	0.000
72	0.02	20.43	20.41	0.000
73	0.02	19.96	19.94	0.000
74	0.02	19.44	19.42	0.000
75	0.02	19.43	19.41	0.000
76	0.02	19.40	19.38	0.000
77	0.02	19.38	19.36	0.000
78	0.02	19.36	19.34	0.000
79	0.02	19.34	19.32	0.000
80	0.02	19.33	19.31	0.000
81	0.02	19.31	19.29	0.000
82	0.02	19.30	19.28	0.000
83	0.02	19.29	19.27	0.000
84	0.02	19.28	19.26	0.000
85	0.02	19.26	19.24	0.000
86	0.02	19.25	19.23	0.000
87	0.02	19.24	19.22	0.000
88	0.02	19.23	19.21	0.000
89	0.02	19.21	19.19	0.000
90	0.02	19.20	19.18	0.000
91	0.02	19.19	19.17	0.000
92	0.02	19.18	19.16	0.000
93	0.02	19.17	19.15	0.000
94	0.02	19.16	19.14	0.000
95	0.02	19.15	19.13	0.000
96	0.02	19.14	19.12	0.000
97	0.02	19.13	19.11	0.000
98	0.02	19.12	19.10	0.000
99	0.02	19.11	19.09	0.000
100	0.02	19.10	19.08	0.000
101	0.02	19.09	19.07	0.000
102	0.02	19.08	19.06	0.000
103	0.02	19.07	19.05	0.000
104	0.02	19.06	19.04	0.000
105	0.02	19.05	19.03	0.000

106	0.02	19.04	19.02	0.000
107	0.02	19.03	19.01	0.000
108	0.02	19.02	19.00	0.000
109	0.00	19.00	19.00	0.000

Sai – Bloco de notas					Sai – Bloco de notas				
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda		Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	
RESOLUÇÃO DO SISTEMA					37	0.02	21.10	0.014	
TEMPO EM SEGUNDOS					38	0.02	21.09	0.034	
t= 360					39	0.02	21.07	0.049	
SEC	y(m)	h(m)	V(m/s)		40	0.02	21.06	0.013	
1	0.66	24.60	0.600		41	0.02	21.04	0.037	
2	0.35	24.49	0.390		42	0.02	21.03	0.011	
3	0.02	24.32	0.763		43	0.02	21.02	0.026	
4	0.13	24.49	-0.832		44	0.02	21.01	0.033	
5	0.08	24.48	0.805		45	0.02	20.99	0.036	
6	0.02	23.00	-0.321		46	0.02	20.98	0.014	
7	0.04	23.03	0.336		47	0.02	20.97	0.021	
8	0.02	22.96	-0.294		48	0.02	20.96	0.031	
9	0.04	22.97	0.320		49	0.02	20.95	0.010	
10	0.02	22.91	-0.196		50	0.02	20.93	0.008	
11	0.03	22.91	0.217		51	0.02	20.92	0.008	
12	0.02	22.88	-0.165		52	0.02	20.91	0.028	
13	0.03	22.89	0.191		53	0.02	20.89	0.035	
14	0.02	22.85	-0.086		54	0.02	20.88	0.030	
15	0.02	22.85	0.116		55	0.02	20.86	0.056	
16	0.02	22.83	-0.061		56	0.02	20.85	0.000	
17	0.02	22.82	0.082		57	0.02	20.84	0.039	
18	0.02	22.81	-0.028		58	0.02	20.83	-0.013	
19	0.02	22.79	0.074		59	0.02	20.81	0.052	
20	0.02	22.78	-0.021		60	0.02	20.80	-0.031	
21	0.02	22.76	0.068		61	0.02	20.79	0.081	
22	0.02	22.75	-0.044		62	0.03	20.78	-0.041	
23	0.02	22.74	0.083		63	0.02	20.75	0.111	
24	0.02	22.72	-0.019		64	0.03	20.75	-0.071	
25	0.02	22.64	0.038		65	0.02	20.72	0.129	
26	0.02	22.48	-0.033		66	0.03	20.73	-0.126	
27	0.02	22.46	0.036		67	0.02	20.70	0.240	
28	0.02	22.16	-0.028		68	0.04	20.72	-0.248	
29	0.02	21.94	0.038		69	0.02	20.66	0.376	
30	0.02	21.72	-0.028		70	0.05	20.70	-0.393	
31	0.02	21.19	0.041		71	0.02	20.62	0.456	
32	0.03	21.18	0.031		72	0.02	20.42	-0.237	
33	0.02	21.15	0.020		73	0.02	19.94	0.386	
34	0.02	21.14	0.016		74	0.05	19.47	0.030	
35	0.02	21.13	0.016		75	0.05	19.46	0.135	
36	0.02	21.11	0.024		76	0.02	19.39	0.023	
					77	0.02	19.38	0.008	

78	0.02	19.36	0.036	94	0.02	19.16	0.025
79	0.02	19.34	-0.004	95	0.02	19.15	0.021
80	0.02	19.33	0.044	96	0.02	19.14	0.020
81	0.02	19.31	0.015	97	0.02	19.13	0.015
82	0.02	19.30	0.041	98	0.02	19.12	0.020
83	0.02	19.29	-0.006	99	0.02	19.11	0.012
84	0.02	19.28	0.041	100	0.02	19.10	0.017
85	0.02	19.26	0.028	101	0.02	19.09	0.021
86	0.02	19.25	0.029	102	0.02	19.08	0.031
87	0.02	19.24	0.006	103	0.02	19.07	0.015
88	0.02	19.23	0.047	104	0.02	19.06	0.005
89	0.02	19.21	0.038	105	0.02	19.05	0.025
90	0.02	19.20	0.021	106	0.02	19.04	0.017
91	0.02	19.19	0.023	107	0.02	19.03	0.027
92	0.02	19.18	0.024	108	0.02	19.02	0.022
93	0.02	19.17	0.021	109	0.02	19.02	0.022

Sai – Bloco de notas				Sai – Bloco de notas			
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda
RESOLUÇÃO DO SISTEMA				29	0.02	21.94	0.043
TEMPO EM SEGUNDOS				30	0.02	21.72	-0.003
t= 1080				31	0.02	21.19	0.044
SEC Y(m) h(m) V(m/s)				32	0.03	21.18	0.041
1 0.93 24.87 0.600				33	0.02	21.15	0.019
2 0.64 24.78 0.576				34	0.02	21.14	0.014
3 0.26 24.60 0.610				35	0.02	21.13	0.023
4 0.05 24.41 0.307				36	0.02	21.11	0.015
5 0.02 24.34 0.772				37	0.02	21.10	0.021
6 0.11 23.11 0.028				38	0.02	21.09	0.037
7 0.02 23.01 0.127				39	0.02	21.07	0.042
8 0.02 22.98 -0.081				40	0.02	21.06	0.027
9 0.02 22.95 0.113				41	0.02	21.04	0.025
10 0.02 22.91 -0.069				42	0.02	21.03	0.020
11 0.02 22.90 0.092				43	0.02	21.02	0.023
12 0.02 22.89 -0.022				44	0.02	21.01	0.036
13 0.02 22.88 0.066				45	0.02	20.99	0.035
14 0.02 22.86 0.007				46	0.02	20.98	0.014
15 0.02 22.85 0.040				47	0.02	20.97	0.026
16 0.02 22.83 0.003				48	0.02	20.96	0.024
17 0.02 22.82 0.029				49	0.02	20.95	0.022
18 0.02 22.81 0.014				50	0.02	20.93	0.005
19 0.02 22.79 0.039				51	0.02	20.92	0.015
20 0.02 22.78 0.010				52	0.02	20.91	0.021
21 0.02 22.76 0.043				53	0.02	20.89	0.042
22 0.02 22.75 -0.017				54	0.02	20.88	0.034
23 0.02 22.74 0.067				55	0.02	20.86	0.054
24 0.02 22.72 -0.011				56	0.02	20.85	0.011
25 0.02 22.64 0.062				57	0.02	20.84	0.029
26 0.02 22.48 -0.028				58	0.02	20.83	-0.001
27 0.02 22.46 0.041				59	0.02	20.81	0.048
28 0.02 22.16 -0.027				60	0.02	20.80	-0.024
				61	0.02	20.79	0.071

62	0.02	20.77	-0.029	86	0.02	19.25	0.023
63	0.02	20.75	0.094	87	0.02	19.24	0.014
64	0.03	20.75	-0.047	88	0.02	19.23	0.043
65	0.02	20.72	0.101	89	0.02	19.21	0.042
66	0.03	20.73	-0.082	90	0.02	19.20	0.026
67	0.02	20.70	0.165	91	0.02	19.19	0.022
68	0.03	20.71	-0.148	92	0.02	19.18	0.026
69	0.02	20.66	0.248	93	0.02	19.17	0.023
70	0.04	20.69	-0.305	94	0.02	19.16	0.025
71	0.02	20.59	0.472	95	0.02	19.15	0.023
72	0.04	20.45	-0.201	96	0.02	19.14	0.018
73	0.02	19.90	0.502	97	0.02	19.13	0.018
74	0.08	19.50	0.201	98	0.02	19.12	0.017
75	0.07	19.48	0.193	99	0.02	19.11	0.015
76	0.02	19.40	0.045	100	0.02	19.10	0.013
77	0.02	19.38	0.008	101	0.02	19.09	0.026
78	0.02	19.36	0.036	102	0.02	19.08	0.031
79	0.02	19.34	-0.003	103	0.02	19.07	0.017
80	0.02	19.33	0.037	104	0.02	19.06	0.007
81	0.02	19.31	0.023	105	0.02	19.05	0.022
82	0.02	19.30	0.028	106	0.02	19.04	0.021
83	0.02	19.29	0.008	107	0.02	19.03	0.025
84	0.02	19.28	0.030	108	0.02	19.02	0.028
85	0.02	19.26	0.036	109	0.02	19.02	0.028

Sai – Bloco de notas				Sai – Bloco de notas			
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda
RESOLUÇÃO DO SISTEMA				26	0.02	22.48	0.003
TEMPO EM SEGUNDOS				27	0.02	22.46	0.010
t= 1800				28	0.02	22.16	0.034
SEC Y(m) h(m) V(m/s)				29	0.02	21.94	0.056
1 1.15 25.09 0.600				30	0.02	21.72	0.039
2 0.88 25.02 0.643				31	0.02	21.19	0.031
3 0.54 24.88 0.730				32	0.03	21.18	0.061
4 0.31 24.67 0.879				33	0.02	21.15	0.007
5 0.20 24.60 1.112				34	0.03	21.15	0.021
6 0.03 23.03 -0.014				35	0.02	21.13	0.018
7 0.04 23.03 0.069				36	0.02	21.11	0.019
8 0.02 22.97 0.015				37	0.02	21.10	0.019
9 0.03 22.96 0.020				38	0.02	21.09	0.039
10 0.02 22.92 0.034				39	0.02	21.07	0.038
11 0.02 22.90 -0.001				40	0.02	21.06	0.030
12 0.02 22.89 0.048				41	0.02	21.04	0.024
13 0.02 22.87 0.028				42	0.02	21.03	0.021
14 0.02 22.86 0.024				43	0.02	21.02	0.024
15 0.02 22.85 0.039				44	0.02	21.01	0.034
16 0.02 22.83 0.001				45	0.02	20.99	0.035
17 0.02 22.82 0.035				46	0.02	20.98	0.015
18 0.02 22.81 0.007				47	0.02	20.97	0.026
19 0.02 22.79 0.046				48	0.02	20.96	0.022
20 0.02 22.78 0.009				49	0.02	20.95	0.025
21 0.02 22.76 0.038				50	0.02	20.93	0.003
22 0.02 22.75 -0.005				51	0.02	20.92	0.018
23 0.02 22.74 0.044				52	0.02	20.91	0.019
24 0.02 22.72 0.023				53	0.02	20.89	0.044
25 0.02 22.64 0.036				54	0.02	20.88	0.032
				55	0.02	20.86	0.054

56	0.02	20.85	0.010	83	0.02	19.29	0.014
57	0.02	20.84	0.033	84	0.02	19.28	0.026
58	0.02	20.83	-0.005	85	0.02	19.26	0.038
59	0.02	20.81	0.053	86	0.02	19.25	0.021
60	0.02	20.80	-0.029	87	0.02	19.24	0.018
61	0.02	20.79	0.077	88	0.02	19.23	0.040
62	0.02	20.77	-0.037	89	0.02	19.21	0.040
63	0.02	20.75	0.104	90	0.02	19.20	0.028
64	0.03	20.75	-0.058	91	0.02	19.19	0.022
65	0.02	20.72	0.116	92	0.02	19.18	0.025
66	0.02	20.72	-0.092	93	0.02	19.17	0.024
67	0.02	20.70	0.172	94	0.02	19.16	0.024
68	0.03	20.71	-0.145	95	0.02	19.15	0.023
69	0.02	20.66	0.252	96	0.02	19.14	0.019
70	0.05	20.70	-0.364	97	0.02	19.13	0.017
71	0.02	20.59	0.521	98	0.02	19.12	0.017
72	0.03	20.44	-0.268	99	0.02	19.11	0.015
73	0.02	19.90	0.534	100	0.02	19.10	0.014
74	0.08	19.50	0.178	101	0.02	19.09	0.026
75	0.08	19.49	0.159	102	0.02	19.08	0.029
76	0.03	19.41	0.097	103	0.02	19.07	0.018
77	0.02	19.37	-0.014	104	0.02	19.06	0.008
78	0.02	19.36	0.046	105	0.02	19.05	0.021
79	0.02	19.34	-0.006	106	0.02	19.04	0.022
80	0.02	19.33	0.033	107	0.02	19.03	0.025
81	0.02	19.31	0.030	108	0.02	19.02	0.028
82	0.02	19.30	0.020	109	0.02	19.02	0.028

Sai – Bloco de notas				Sai – Bloco de notas			
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda
RESOLUÇÃO DO SISTEMA				21	0.02	22.76	0.029
TEMPO EM SEGUNDOS				22	0.02	22.75	0.000
t= 3600				23	0.02	22.74	0.049
SEC y(m) h(m) V(m/s)				24	0.02	22.72	0.010
				25	0.02	22.64	0.042
1	1.53	25.47	0.600	26	0.02	22.48	-0.002
2	1.27	25.41	0.692	27	0.02	22.46	0.018
3	0.95	25.29	0.912	28	0.02	22.16	0.014
4	0.73	25.09	1.191	29	0.02	21.94	0.083
5	0.59	24.99	1.541	30	0.02	21.72	-0.019
6	0.58	23.58	0.371	31	0.02	21.19	0.025
7	0.17	23.16	0.973	32	0.04	21.19	0.032
8	0.02	22.89	-0.623	33	0.02	21.15	0.036
9	0.08	23.01	0.489	34	0.02	21.14	0.002
10	0.02	22.88	-0.319	35	0.02	21.13	0.032
11	0.05	22.93	0.237	36	0.02	21.11	0.008
12	0.02	22.87	-0.092	37	0.02	21.10	0.028
13	0.02	22.88	0.041	38	0.02	21.08	0.034
14	0.02	22.86	0.035	39	0.02	21.07	0.037
15	0.02	22.85	0.017	40	0.02	21.06	0.030
16	0.02	22.83	0.025	41	0.02	21.04	0.024
17	0.02	22.82	0.013	42	0.02	21.03	0.020
18	0.02	22.81	0.025	43	0.02	21.02	0.027
19	0.02	22.79	0.028	44	0.02	21.01	0.032
20	0.02	22.78	0.020	45	0.02	20.99	0.033

46	0.02	20.98	0.018	78	0.02	19.36	0.009
47	0.02	20.97	0.026	79	0.02	19.34	0.027
48	0.02	20.96	0.020	80	0.02	19.33	0.013
49	0.02	20.95	0.026	81	0.02	19.31	0.039
50	0.02	20.93	0.002	82	0.02	19.30	0.019
51	0.02	20.92	0.019	83	0.02	19.29	0.014
52	0.02	20.91	0.018	84	0.02	19.28	0.029
53	0.02	20.89	0.045	85	0.02	19.26	0.032
54	0.02	20.88	0.030	86	0.02	19.25	0.023
55	0.02	20.86	0.054	87	0.02	19.24	0.022
56	0.02	20.85	0.007	88	0.02	19.22	0.038
57	0.02	20.84	0.039	89	0.02	19.21	0.037
58	0.02	20.83	-0.010	90	0.02	19.20	0.030
59	0.02	20.81	0.058	91	0.02	19.19	0.023
60	0.02	20.80	-0.033	92	0.02	19.18	0.023
61	0.02	20.78	0.084	93	0.02	19.17	0.024
62	0.03	20.78	-0.046	94	0.02	19.16	0.024
63	0.02	20.75	0.118	95	0.02	19.15	0.023
64	0.03	20.75	-0.075	96	0.02	19.14	0.019
65	0.02	20.72	0.138	97	0.02	19.13	0.017
66	0.02	20.72	-0.112	98	0.02	19.12	0.017
67	0.02	20.70	0.193	99	0.02	19.11	0.015
68	0.03	20.71	-0.159	100	0.02	19.10	0.015
69	0.02	20.66	0.276	101	0.02	19.09	0.025
70	0.05	20.70	-0.406	102	0.02	19.08	0.026
71	0.02	20.59	0.551	103	0.02	19.07	0.018
72	0.03	20.44	-0.296	104	0.02	19.06	0.009
73	0.02	19.88	0.568	105	0.02	19.05	0.019
74	0.08	19.50	0.144	106	0.02	19.04	0.023
75	0.09	19.50	0.131	107	0.02	19.03	0.025
76	0.05	19.43	0.117	108	0.02	19.02	0.026
77	0.02	19.37	0.023	109	0.02	19.02	0.026

Sai – Bloco de notas				Sai – Bloco de notas			
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda
RESOLUÇÃO DO SISTEMA				15	0.02	22.85	0.062
TEMPO EM SEGUNDOS				16	0.02	22.83	-0.010
t= 7200				17	0.02	22.82	0.042
SEC Y(m) h(m) V(m/s)				18	0.02	22.80	0.017
1 1.76 25.70 0.600				19	0.03	22.80	0.018
2 1.51 25.65 0.739				20	0.02	22.77	0.050
3 1.18 25.52 1.016				21	0.03	22.77	-0.018
4 0.98 25.34 1.296				22	0.02	22.74	0.060
5 0.87 25.27 1.515				23	0.02	22.74	-0.018
6 1.26 24.26 0.809				24	0.02	22.71	0.093
7 1.20 24.19 0.825				25	0.03	22.65	-0.064
8 0.97 23.93 0.913				26	0.02	22.48	0.118
9 0.73 23.66 0.735				27	0.03	22.47	-0.002
10 0.10 23.00 0.863				28	0.02	22.14	0.004
11 0.02 22.85 -0.587				29	0.04	21.96	0.084
12 0.08 22.95 0.341				30	0.02	21.70	0.013
13 0.02 22.85 -0.102				31	0.03	21.20	0.073
14 0.03 22.87 0.023				32	0.04	21.19	0.057
				33	0.02	21.16	0.029

34	0.02	21.14	0.008	72	0.04	20.45	-0.321
35	0.02	21.13	0.027	73	0.02	19.89	0.575
36	0.02	21.11	0.011	74	0.09	19.51	0.146
37	0.02	21.10	0.029	75	0.09	19.50	0.127
38	0.02	21.08	0.031	76	0.08	19.46	0.096
39	0.02	21.07	0.034	77	0.03	19.39	0.082
40	0.02	21.06	0.032	78	0.02	19.35	-0.006
41	0.02	21.04	0.024	79	0.03	19.35	0.027
42	0.02	21.03	0.021	80	0.02	19.32	0.026
43	0.02	21.02	0.028	81	0.02	19.31	0.024
44	0.02	21.01	0.031	82	0.02	19.30	0.024
45	0.02	20.99	0.030	83	0.02	19.29	0.017
46	0.02	20.98	0.021	84	0.02	19.27	0.028
47	0.02	20.97	0.027	85	0.02	19.26	0.029
48	0.02	20.96	0.018	86	0.02	19.25	0.023
49	0.02	20.95	0.026	87	0.02	19.24	0.026
50	0.02	20.93	0.002	88	0.02	19.22	0.035
51	0.02	20.92	0.020	89	0.02	19.21	0.033
52	0.02	20.91	0.018	90	0.02	19.20	0.030
53	0.02	20.89	0.045	91	0.02	19.19	0.026
54	0.02	20.88	0.026	92	0.02	19.18	0.023
55	0.02	20.86	0.053	93	0.02	19.17	0.024
56	0.03	20.86	0.005	94	0.02	19.16	0.024
57	0.02	20.84	0.045	95	0.02	19.15	0.022
58	0.02	20.83	-0.013	96	0.02	19.14	0.019
59	0.02	20.81	0.060	97	0.02	19.13	0.018
60	0.02	20.80	-0.034	98	0.02	19.12	0.017
61	0.02	20.78	0.087	99	0.02	19.11	0.014
62	0.03	20.78	-0.052	100	0.02	19.10	0.017
63	0.02	20.75	0.125	101	0.02	19.09	0.024
64	0.03	20.75	-0.084	102	0.02	19.08	0.024
65	0.02	20.72	0.148	103	0.02	19.07	0.018
66	0.02	20.72	-0.119	104	0.02	19.06	0.012
67	0.02	20.70	0.200	105	0.02	19.05	0.017
68	0.02	20.70	-0.159	106	0.02	19.04	0.023
69	0.02	20.66	0.275	107	0.02	19.03	0.025
70	0.06	20.71	-0.420	108	0.02	19.02	0.025
71	0.02	20.60	0.569	109	0.02	19.02	0.025

Sai – Bloco de notas				Sai – Bloco de notas			
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda
RESOLUÇÃO DO SISTEMA				9	1.78	24.71	0.633
TEMPO EM SEGUNDOS				10	1.73	24.63	0.631
t= 21600				11	1.67	24.55	0.635
SEC Y(m) h(m) V(m/s)				12	1.59	24.46	0.645
1	1.84	25.78	0.600	13	1.51	24.37	0.655
2	1.58	25.72	0.739	14	1.43	24.27	0.661
3	1.27	25.61	0.999	15	1.33	24.16	0.675
4	1.10	25.46	1.207	16	1.23	24.04	0.680
5	1.01	25.41	1.344	17	1.11	23.91	0.691
6	1.88	24.88	0.630	18	0.96	23.75	0.719
7	1.86	24.85	0.632	19	0.76	23.53	0.793
8	1.82	24.78	0.633	20	0.57	23.33	0.598
				21	0.05	22.79	0.522

22	0.02	22.73	-0.372	66	0.02	20.72	-0.151
23	0.05	22.77	0.271	67	0.02	20.69	0.258
24	0.02	22.70	-0.126	68	0.02	20.70	-0.226
25	0.03	22.65	0.178	69	0.02	20.64	0.360
26	0.02	22.46	-0.097	70	0.06	20.71	-0.513
27	0.03	22.47	0.035	71	0.02	20.59	0.644
28	0.02	22.16	0.077	72	0.04	20.45	-0.404
29	0.02	21.94	-0.038	73	0.02	19.88	0.639
30	0.02	21.72	0.084	74	0.12	19.54	0.141
31	0.03	21.20	0.042	75	0.13	19.54	0.124
32	0.05	21.20	0.035	76	0.13	19.51	0.100
33	0.03	21.17	0.042	77	0.11	19.47	0.105
34	0.03	21.15	0.013	78	0.08	19.42	0.082
35	0.02	21.13	0.025	79	0.02	19.34	0.046
36	0.02	21.11	0.013	80	0.02	19.32	0.005
37	0.02	21.10	0.029	81	0.02	19.31	0.027
38	0.02	21.08	0.032	82	0.02	19.30	0.023
39	0.02	21.07	0.030	83	0.02	19.29	0.020
40	0.02	21.06	0.029	84	0.02	19.27	0.029
41	0.02	21.04	0.027	85	0.02	19.26	0.025
42	0.02	21.03	0.024	86	0.03	19.26	0.022
43	0.02	21.02	0.030	87	0.02	19.24	0.030
44	0.02	21.00	0.028	88	0.02	19.22	0.034
45	0.02	20.99	0.028	89	0.02	19.21	0.029
46	0.02	20.98	0.020	90	0.02	19.20	0.028
47	0.02	20.97	0.030	91	0.02	19.19	0.028
48	0.02	20.96	0.017	92	0.02	19.18	0.026
49	0.02	20.95	0.027	93	0.02	19.17	0.024
50	0.02	20.93	0.003	94	0.02	19.16	0.023
51	0.02	20.92	0.024	95	0.02	19.15	0.022
52	0.02	20.90	0.017	96	0.02	19.14	0.020
53	0.02	20.88	0.046	97	0.02	19.13	0.019
54	0.02	20.88	0.018	98	0.02	19.12	0.017
55	0.02	20.86	0.052	99	0.02	19.11	0.015
56	0.03	20.86	-0.001	100	0.02	19.10	0.019
57	0.02	20.84	0.057	101	0.02	19.09	0.022
58	0.02	20.83	-0.016	102	0.02	19.08	0.020
59	0.02	20.81	0.066	103	0.03	19.08	0.016
60	0.02	20.80	-0.044	104	0.02	19.06	0.017
61	0.02	20.78	0.104	105	0.02	19.05	0.018
62	0.02	20.77	-0.068	106	0.02	19.04	0.021
63	0.02	20.75	0.144	107	0.02	19.03	0.024
64	0.03	20.75	-0.107	108	0.02	19.02	0.024
65	0.02	20.72	0.177	109	0.02	19.02	0.024

Sai – Bloco de notas				Sai – Bloco de notas			
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda
RESOLUÇÃO DO SISTEMA				3	1.40	25.74	0.941
TEMPO EM SEGUNDOS				4	1.28	25.64	1.062
t= 36000				5	1.21	25.61	1.140
SEC y(m) h(m) V(m/s)				6	2.20	25.20	0.613
1 1.94 25.88 0.600				7	2.18	25.17	0.614
2 1.69 25.83 0.726				8	2.16	25.12	0.610
				9	2.13	25.06	0.606

10	2.10	25.00	0.602	60	0.02	20.80	-0.048
11	2.06	24.94	0.602	61	0.02	20.78	0.107
12	2.01	24.88	0.607	62	0.02	20.77	-0.070
13	1.96	24.82	0.613	63	0.02	20.74	0.149
14	1.91	24.75	0.615	64	0.02	20.74	-0.113
15	1.85	24.68	0.623	65	0.02	20.72	0.184
16	1.80	24.61	0.625	66	0.02	20.72	-0.161
17	1.74	24.54	0.633	67	0.02	20.68	0.272
18	1.68	24.47	0.642	68	0.02	20.69	-0.242
19	1.63	24.40	0.643	69	0.02	20.63	0.379
20	1.56	24.32	0.649	70	0.06	20.71	-0.536
21	1.50	24.24	0.653	71	0.02	20.59	0.668
22	1.42	24.15	0.667	72	0.04	20.45	-0.428
23	1.32	24.04	0.697	73	0.02	19.88	0.661
24	1.21	23.91	0.737	74	0.13	19.55	0.130
25	1.13	23.75	0.754	75	0.14	19.55	0.115
26	1.09	23.55	0.716	76	0.14	19.52	0.093
27	1.10	23.54	0.701	77	0.14	19.50	0.099
28	1.04	23.18	0.694	78	0.12	19.46	0.092
29	0.99	22.91	0.699	79	0.10	19.42	0.091
30	0.95	22.65	0.634	80	0.05	19.36	0.085
31	0.69	21.86	0.766	81	0.02	19.31	0.037
32	0.68	21.83	0.753	82	0.02	19.30	0.011
33	0.37	21.51	0.653	83	0.02	19.29	0.020
34	0.02	21.13	0.139	84	0.02	19.27	0.031
35	0.02	21.13	-0.165	85	0.02	19.26	0.024
36	0.03	21.12	0.205	86	0.03	19.26	0.022
37	0.02	21.08	-0.135	87	0.02	19.24	0.030
38	0.02	21.09	0.119	88	0.02	19.22	0.034
39	0.02	21.07	-0.007	89	0.02	19.21	0.029
40	0.02	21.06	0.034	90	0.03	19.21	0.027
41	0.02	21.04	0.026	91	0.02	19.19	0.027
42	0.02	21.03	0.023	92	0.02	19.18	0.027
43	0.02	21.02	0.033	93	0.02	19.17	0.026
44	0.02	21.00	0.027	94	0.02	19.16	0.024
45	0.02	20.99	0.027	95	0.02	19.15	0.022
46	0.03	20.99	0.020	96	0.02	19.14	0.020
47	0.02	20.97	0.030	97	0.02	19.13	0.019
48	0.02	20.96	0.018	98	0.02	19.12	0.017
49	0.02	20.95	0.027	99	0.02	19.11	0.016
50	0.02	20.93	0.004	100	0.02	19.10	0.019
51	0.02	20.92	0.026	101	0.02	19.09	0.021
52	0.02	20.90	0.018	102	0.02	19.08	0.018
53	0.02	20.88	0.044	103	0.03	19.08	0.015
54	0.02	20.87	0.015	104	0.02	19.06	0.018
55	0.02	20.86	0.049	105	0.02	19.05	0.020
56	0.03	20.86	-0.004	106	0.02	19.04	0.022
57	0.03	20.85	0.059	107	0.02	19.03	0.023
58	0.02	20.83	-0.016	108	0.02	19.02	0.022
59	0.02	20.81	0.071	109	0.02	19.02	0.022

Sai – Bloco de notas					Sai – Bloco de notas				
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda		Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	
RESOLUÇÃO DO SISTEMA					53	0.96	21.83	0.636	
TEMPO EM SEGUNDOS					54	0.82	21.68	0.644	
t= 72000					55	0.66	21.50	0.655	
SEC	Y(m)	h(m)	V(m/s)		56	0.48	21.31	0.519	
1	2.32	26.26	0.600		57	0.08	20.90	0.578	
2	2.08	26.22	0.705		58	0.02	20.79	-0.385	
3	1.82	26.16	0.858		59	0.06	20.85	0.285	
4	1.74	26.10	0.913		60	0.02	20.78	-0.167	
5	1.68	26.08	0.953		61	0.02	20.79	0.129	
6	2.57	25.57	0.633		62	0.02	20.76	-0.058	
7	2.71	25.70	0.575		63	0.02	20.74	0.136	
8	2.70	25.66	0.577		64	0.02	20.74	-0.101	
9	2.69	25.62	0.580		65	0.02	20.71	0.187	
10	2.68	25.58	0.583		66	0.02	20.71	-0.164	
11	2.65	25.53	0.590		67	0.02	20.67	0.288	
12	2.62	25.49	0.604		68	0.02	20.67	-0.252	
13	2.58	25.44	0.619		69	0.02	20.61	0.396	
14	2.55	25.39	0.629		70	0.07	20.72	-0.565	
15	2.50	25.33	0.645		71	0.02	20.59	0.704	
16	2.47	25.28	0.657		72	0.04	20.45	-0.468	
17	2.42	25.22	0.674		73	0.02	19.88	0.689	
18	2.37	25.16	0.693		74	0.15	19.57	0.129	
19	2.33	25.10	0.706		75	0.16	19.57	0.114	
20	2.28	25.04	0.725		76	0.17	19.55	0.093	
21	2.23	24.97	0.744		77	0.17	19.53	0.098	
22	2.16	24.89	0.773		78	0.16	19.50	0.093	
23	2.08	24.80	0.817		79	0.16	19.48	0.094	
24	1.98	24.68	0.867		80	0.14	19.45	0.096	
25	1.93	24.55	0.896		81	0.13	19.42	0.091	
26	1.93	24.39	0.895		82	0.12	19.40	0.086	
27	1.94	24.38	0.886		83	0.10	19.37	0.081	
28	1.94	24.08	0.880		84	0.06	19.32	0.084	
29	1.95	23.87	0.865		85	0.04	19.28	0.058	
30	1.97	23.67	0.832		86	0.03	19.26	0.030	
31	2.20	23.37	0.604		87	0.02	19.24	0.026	
32	2.22	23.37	0.597		88	0.02	19.22	0.034	
33	2.18	23.32	0.600		89	0.02	19.21	0.029	
34	2.15	23.27	0.600		90	0.03	19.21	0.027	
35	2.10	23.21	0.605		91	0.03	19.20	0.027	
36	2.07	23.16	0.604		92	0.02	19.18	0.027	
37	2.03	23.11	0.607		93	0.02	19.17	0.026	
38	1.98	23.05	0.610		94	0.02	19.16	0.025	
39	1.95	23.00	0.609		95	0.02	19.15	0.023	
40	1.90	22.94	0.612		96	0.02	19.14	0.021	
41	1.86	22.88	0.609		97	0.02	19.13	0.020	
42	1.81	22.82	0.610		98	0.02	19.12	0.018	
43	1.76	22.76	0.611		99	0.02	19.11	0.017	
44	1.70	22.69	0.614		100	0.02	19.10	0.020	
45	1.64	22.61	0.612		101	0.02	19.09	0.020	
46	1.58	22.54	0.614		102	0.02	19.08	0.018	
47	1.51	22.46	0.617		103	0.03	19.08	0.015	
48	1.43	22.37	0.620		104	0.02	19.06	0.019	
49	1.35	22.28	0.627		105	0.02	19.05	0.022	
50	1.27	22.18	0.626		106	0.02	19.04	0.023	
51	1.18	22.08	0.630		107	0.02	19.03	0.022	
52	1.07	21.96	0.637		108	0.02	19.02	0.020	
					109	0.02	19.02	0.020	

Sai – Bloco de notas				Sai – Bloco de notas			
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda
RESOLUÇÃO DO SISTEMA				46	2.24	23.20	0.512
TEMPO EM SEGUNDOS				47	2.21	23.16	0.516
t=108000				48	2.18	23.12	0.520
SEC	y(m)	h(m)	V(m/s)	49	2.15	23.08	0.524
1	2.32	26.26	0.600	50	2.13	23.04	0.524
2	2.08	26.22	0.705	51	2.10	23.00	0.528
3	1.82	26.16	0.858	52	2.07	22.96	0.532
4	1.74	26.10	0.913	53	2.04	22.91	0.532
5	1.69	26.09	0.952	54	2.01	22.87	0.535
6	2.57	25.57	0.626	55	1.99	22.83	0.535
7	2.72	25.71	0.565	56	1.95	22.78	0.538
8	2.71	25.67	0.567	57	1.92	22.74	0.542
9	2.70	25.63	0.570	58	1.88	22.69	0.547
10	2.69	25.59	0.573	59	1.84	22.63	0.548
11	2.67	25.55	0.581	60	1.80	22.58	0.554
12	2.63	25.50	0.595	61	1.76	22.53	0.561
13	2.60	25.46	0.610	62	1.72	22.47	0.565
14	2.57	25.41	0.621	63	1.66	22.40	0.574
15	2.52	25.35	0.636	64	1.62	22.34	0.581
16	2.49	25.30	0.649	65	1.56	22.27	0.597
17	2.44	25.24	0.666	66	1.48	22.18	0.620
18	2.39	25.18	0.686	67	1.40	22.09	0.652
19	2.36	25.13	0.700	68	1.29	21.97	0.705
20	2.31	25.07	0.720	69	1.16	21.82	0.786
21	2.26	25.00	0.739	70	0.90	21.55	1.046
22	2.20	24.93	0.769	71	0.82	21.46	1.173
23	2.11	24.83	0.812	72	0.80	21.21	1.199
24	2.02	24.72	0.862	73	0.90	20.84	0.996
25	1.98	24.60	0.890	74	1.28	20.70	0.608
26	1.98	24.44	0.888	75	1.28	20.69	0.604
27	1.99	24.43	0.880	76	1.24	20.62	0.593
28	2.02	24.16	0.849	77	1.16	20.52	0.590
29	2.06	23.98	0.801	78	1.07	20.41	0.588
30	2.14	23.84	0.727	79	0.97	20.29	0.585
31	2.48	23.65	0.493	80	0.85	20.16	0.582
32	2.50	23.65	0.488	81	0.73	20.02	0.559
33	2.48	23.62	0.491	82	0.59	19.87	0.528
34	2.47	23.59	0.491	83	0.42	19.69	0.458
35	2.45	23.56	0.494	84	0.22	19.48	0.335
36	2.44	23.53	0.493	85	0.13	19.37	0.113
37	2.42	23.50	0.496	86	0.11	19.34	0.066
38	2.40	23.47	0.499	87	0.09	19.31	0.087
39	2.38	23.43	0.499	88	0.06	19.27	0.088
40	2.36	23.40	0.501	89	0.05	19.24	0.067
41	2.35	23.37	0.501	90	0.04	19.22	0.048
42	2.33	23.34	0.503	91	0.03	19.20	0.032
43	2.31	23.31	0.506	92	0.03	19.19	0.026
44	2.28	23.27	0.509	93	0.02	19.17	0.026
45	2.27	23.24	0.509	94	0.03	19.17	0.025
				95	0.03	19.16	0.024

96	0.03	19.15	0.022	103	0.03	19.08	0.016
97	0.03	19.14	0.021	104	0.02	19.06	0.019
98	0.02	19.12	0.020	105	0.02	19.05	0.023
99	0.02	19.11	0.018	106	0.02	19.04	0.023
100	0.02	19.10	0.021	107	0.02	19.03	0.023
101	0.02	19.09	0.021	108	0.02	19.02	0.021
102	0.02	19.08	0.018	109	0.02	19.02	0.021

Sai – Bloco de notas				Sai – Bloco de notas			
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda
RESOLUÇÃO DO SISTEMA				41	2.45	23.47	0.447
TEMPO EM SEGUNDOS				42	2.44	23.45	0.450
t=144000				43	2.42	23.42	0.454
SEC	Y(m)	h(m)	V(m/s)	44	2.41	23.40	0.458
1	2.32	26.26	0.600	45	2.40	23.37	0.460
2	2.08	26.22	0.705	46	2.38	23.34	0.464
3	1.82	26.16	0.858	47	2.36	23.31	0.469
4	1.74	26.10	0.913	48	2.34	23.28	0.475
5	1.69	26.09	0.952	49	2.32	23.25	0.480
6	2.57	25.57	0.626	50	2.31	23.22	0.483
7	2.72	25.71	0.564	51	2.28	23.18	0.489
8	2.71	25.67	0.567	52	2.26	23.15	0.495
9	2.70	25.63	0.570	53	2.25	23.12	0.499
10	2.69	25.59	0.573	54	2.22	23.08	0.505
11	2.67	25.55	0.580	55	2.21	23.05	0.509
12	2.63	25.50	0.594	56	2.18	23.01	0.515
13	2.60	25.46	0.609	57	2.15	22.97	0.524
14	2.57	25.41	0.620	58	2.12	22.93	0.534
15	2.53	25.36	0.636	59	2.09	22.88	0.541
16	2.49	25.30	0.648	60	2.06	22.84	0.553
17	2.45	25.25	0.665	61	2.02	22.79	0.566
18	2.40	25.19	0.685	62	1.99	22.74	0.578
19	2.36	25.13	0.699	63	1.94	22.68	0.595
20	2.31	25.07	0.719	64	1.90	22.62	0.611
21	2.26	25.00	0.738	65	1.84	22.55	0.637
22	2.20	24.93	0.768	66	1.77	22.47	0.671
23	2.11	24.83	0.811	67	1.68	22.37	0.714
24	2.03	24.73	0.861	68	1.58	22.26	0.777
25	1.98	24.60	0.889	69	1.46	22.12	0.859
26	1.98	24.44	0.887	70	1.25	21.90	1.036
27	1.99	24.43	0.878	71	1.20	21.84	1.083
28	2.02	24.16	0.846	72	1.34	21.75	0.944
29	2.07	23.99	0.796	73	1.71	21.65	0.706
30	2.15	23.85	0.722	74	2.17	21.59	0.557
31	2.50	23.67	0.436	75	2.17	21.58	0.555
32	2.53	23.68	0.430	76	2.17	21.55	0.549
33	2.52	23.66	0.433	77	2.14	21.50	0.549
34	2.52	23.64	0.433	78	2.11	21.45	0.548
35	2.50	23.61	0.436	79	2.09	21.41	0.548
36	2.50	23.59	0.437	80	2.05	21.36	0.550
37	2.49	23.57	0.439	81	2.02	21.31	0.548
38	2.48	23.55	0.443	82	1.98	21.26	0.550
39	2.47	23.52	0.443	83	1.94	21.21	0.552
40	2.46	23.50	0.447	84	1.90	21.16	0.555
				85	1.87	21.11	0.552

86	1.83	21.06	0.553	98	1.15	20.25	0.564
87	1.78	21.00	0.557	99	1.07	20.16	0.565
88	1.73	20.94	0.558	100	0.98	20.06	0.564
89	1.70	20.89	0.555	101	0.88	19.95	0.557
90	1.65	20.83	0.555	102	0.76	19.82	0.547
91	1.60	20.77	0.556	103	0.61	19.66	0.576
92	1.54	20.70	0.557	104	0.40	19.44	0.495
93	1.49	20.64	0.558	105	0.04	19.07	0.354
94	1.43	20.57	0.559	106	0.02	19.02	-0.214
95	1.37	20.50	0.560	107	0.04	19.05	0.129
96	1.30	20.42	0.561	108	0.02	19.02	-0.033
97	1.23	20.34	0.562	109	0.02	19.02	-0.033

Sai – Bloco de notas				Sai – Bloco de notas			
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda
RESOLUÇÃO DO SISTEMA				38	2.48	23.55	0.441
TEMPO EM SEGUNDOS				39	2.47	23.52	0.441
t=147960				40	2.46	23.50	0.445
SEC	Y(m)	h(m)	V(m/s)	41	2.46	23.48	0.445
1	2.32	26.26	0.600	42	2.44	23.45	0.448
2	2.08	26.22	0.705	43	2.43	23.43	0.452
3	1.82	26.16	0.858	44	2.41	23.40	0.456
4	1.74	26.10	0.913	45	2.40	23.37	0.458
5	1.69	26.09	0.952	46	2.38	23.34	0.462
6	2.57	25.57	0.626	47	2.36	23.31	0.467
7	2.72	25.71	0.564	48	2.34	23.28	0.473
8	2.71	25.67	0.567	49	2.32	23.25	0.479
9	2.70	25.63	0.570	50	2.31	23.22	0.481
10	2.69	25.59	0.573	51	2.29	23.19	0.487
11	2.67	25.55	0.580	52	2.26	23.15	0.494
12	2.63	25.50	0.594	53	2.25	23.12	0.497
13	2.60	25.46	0.609	54	2.23	23.09	0.504
14	2.57	25.41	0.620	55	2.21	23.05	0.507
15	2.53	25.36	0.636	56	2.19	23.02	0.514
16	2.49	25.30	0.648	57	2.16	22.98	0.523
17	2.45	25.25	0.665	58	2.12	22.93	0.533
18	2.40	25.19	0.685	59	2.10	22.89	0.540
19	2.36	25.13	0.699	60	2.07	22.85	0.552
20	2.31	25.07	0.719	61	2.03	22.80	0.565
21	2.26	25.00	0.738	62	1.99	22.74	0.577
22	2.20	24.93	0.768	63	1.95	22.69	0.594
23	2.11	24.83	0.811	64	1.91	22.63	0.610
24	2.03	24.73	0.861	65	1.85	22.56	0.636
25	1.98	24.60	0.889	66	1.78	22.48	0.669
26	1.98	24.44	0.887	67	1.70	22.39	0.711
27	1.99	24.43	0.878	68	1.59	22.27	0.772
28	2.02	24.16	0.846	69	1.48	22.14	0.850
29	2.07	23.99	0.797	70	1.28	21.93	1.010
30	2.15	23.85	0.722	71	1.24	21.88	1.050
31	2.50	23.67	0.434	72	1.39	21.80	0.912
32	2.53	23.68	0.428	73	1.77	21.71	0.687
33	2.52	23.66	0.431	74	2.22	21.64	0.552
34	2.52	23.64	0.431	75	2.23	21.64	0.550
35	2.51	23.62	0.434	76	2.23	21.61	0.544
36	2.50	23.59	0.435	77	2.20	21.56	0.544
37	2.49	23.57	0.438	78	2.18	21.52	0.543
				79	2.15	21.47	0.543

80	2.12	21.43	0.545	95	1.50	20.63	0.556
81	2.09	21.38	0.543	96	1.44	20.56	0.557
82	2.05	21.33	0.545	97	1.38	20.49	0.557
83	2.02	21.29	0.547	98	1.31	20.41	0.558
84	1.98	21.24	0.549	99	1.24	20.33	0.559
85	1.95	21.19	0.546	100	1.17	20.25	0.559
86	1.91	21.14	0.548	101	1.09	20.16	0.553
87	1.87	21.09	0.551	102	1.00	20.06	0.573
88	1.82	21.03	0.553	103	0.92	19.97	0.485
89	1.79	20.98	0.550	104	0.74	19.78	0.726
90	1.75	20.93	0.550	105	0.69	19.72	0.293
91	1.70	20.87	0.551	106	0.35	19.37	1.059
92	1.65	20.81	0.552	107	0.23	19.24	-0.042
93	1.60	20.75	0.554	108	0.74	19.74	-1.729
94	1.55	20.69	0.555	109	0.74	19.74	-1.743

Sai – Bloco de notas				Sai – Bloco de notas			
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda
RESOLUÇÃO DO SISTEMA				36	2.51	23.60	0.428
TEMPO EM SEGUNDOS				37	2.50	23.58	0.431
t=172800				38	2.48	23.55	0.434
SEC	y(m)	h(m)	V(m/s)	39	2.48	23.53	0.435
1	2.32	26.26	0.600	40	2.47	23.51	0.438
2	2.08	26.22	0.705	41	2.46	23.48	0.439
3	1.82	26.16	0.858	42	2.45	23.46	0.442
4	1.74	26.10	0.913	43	2.44	23.44	0.445
5	1.69	26.09	0.952	44	2.42	23.41	0.449
6	2.57	25.57	0.626	45	2.41	23.38	0.451
7	2.72	25.71	0.564	46	2.40	23.36	0.456
8	2.71	25.67	0.567	47	2.38	23.33	0.460
9	2.70	25.63	0.570	48	2.36	23.30	0.466
10	2.69	25.59	0.573	49	2.34	23.27	0.471
11	2.67	25.55	0.580	50	2.33	23.24	0.474
12	2.63	25.50	0.594	51	2.31	23.21	0.480
13	2.60	25.46	0.609	52	2.28	23.17	0.486
14	2.57	25.41	0.620	53	2.27	23.14	0.489
15	2.53	25.36	0.636	54	2.25	23.11	0.496
16	2.49	25.30	0.648	55	2.23	23.07	0.499
17	2.45	25.25	0.665	56	2.21	23.04	0.506
18	2.40	25.19	0.685	57	2.18	23.00	0.515
19	2.36	25.13	0.699	58	2.15	22.96	0.524
20	2.31	25.07	0.719	59	2.13	22.92	0.531
21	2.26	25.00	0.738	60	2.10	22.88	0.542
22	2.20	24.93	0.768	61	2.06	22.83	0.554
23	2.11	24.83	0.811	62	2.03	22.78	0.564
24	2.03	24.73	0.861	63	1.99	22.73	0.580
25	1.98	24.60	0.889	64	1.95	22.67	0.594
26	1.98	24.44	0.887	65	1.90	22.61	0.616
27	1.99	24.43	0.878	66	1.84	22.54	0.642
28	2.02	24.16	0.846	67	1.77	22.46	0.676
29	2.07	23.99	0.797	68	1.69	22.37	0.720
30	2.15	23.85	0.722	69	1.60	22.26	0.768
31	2.50	23.67	0.429	70	1.47	22.12	0.847
32	2.54	23.69	0.422	71	1.46	22.10	0.859
33	2.52	23.66	0.425	72	1.64	22.05	0.747
34	2.52	23.64	0.425	73	2.05	21.99	0.590
35	2.51	23.62	0.428	74	2.50	21.92	0.531
				75	2.51	21.92	0.529

76	2.52	21.90	0.524	93	2.09	21.24	0.535
77	2.50	21.86	0.523	94	2.06	21.20	0.538
78	2.48	21.82	0.523	95	2.03	21.16	0.542
79	2.47	21.79	0.521	96	1.99	21.11	0.546
80	2.44	21.75	0.523	97	1.95	21.06	0.550
81	2.42	21.71	0.521	98	1.91	21.01	0.556
82	2.40	21.68	0.522	99	1.87	20.96	0.563
83	2.37	21.64	0.524	100	1.82	20.90	0.570
84	2.34	21.60	0.526	101	1.77	20.84	0.581
85	2.33	21.57	0.524	102	1.72	20.78	0.594
86	2.30	21.53	0.525	103	1.66	20.71	0.612
87	2.27	21.49	0.528	104	1.58	20.62	0.638
88	2.24	21.45	0.529	105	1.50	20.53	0.675
89	2.22	21.41	0.527	106	1.39	20.41	0.729
90	2.19	21.37	0.529	107	1.25	20.26	0.824
91	2.16	21.33	0.531	108	0.87	19.87	1.279
92	2.13	21.29	0.533	109	0.86	19.86	1.282

Dados de Saída do Modelo para o Canal do Trabalhador

Simulação de Esvaziamento do Canal

Sai – Bloco de notas				
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	
TRANSIENTE HIDRÁULICO - CANAL DO TRABALHADOR				
Esvaziamento do Canal				
CONDIÇÕES INICIAIS DO ESCOAMENTO				
SEC	y(m)	h(m)	z(m)	V(m/s)
1	2.32	26.26	23.94	0.448
2	2.08	26.22	24.14	0.526
3	1.82	26.16	24.34	0.638
4	1.74	26.10	24.36	0.681
5	1.69	26.09	24.40	2.259
6	2.57	25.57	23.00	1.610
7	2.72	25.71	22.99	0.359
8	2.71	25.67	22.96	0.361
9	2.70	25.63	22.93	0.363
10	2.69	25.59	22.90	0.365
11	2.67	25.55	22.88	0.375
12	2.63	25.50	22.87	0.363
13	2.60	25.46	22.86	0.389
14	2.57	25.41	22.84	0.396
15	2.53	25.36	22.83	0.369
16	2.49	25.30	22.81	0.372
17	2.45	25.25	22.80	0.374
18	2.40	25.19	22.79	0.381
19	2.36	25.13	22.77	0.223
20	2.31	25.07	22.76	0.377
21	2.26	25.00	22.74	0.283
22	2.20	24.93	22.73	0.439
23	2.11	24.83	22.72	0.433
24	2.03	24.73	22.70	0.487
25	1.98	24.60	22.62	0.543
26	1.98	24.44	22.46	0.543
27	1.99	24.43	22.44	2.213
28	2.02	24.16	22.14	2.168
29	2.07	23.99	21.92	2.098
30	2.15	23.85	21.70	1.993
31	2.50	23.67	21.17	1.632
32	2.54	23.69	21.15	0.158
33	2.52	23.66	21.14	0.362
34	2.52	23.64	21.12	0.351
35	2.51	23.62	21.11	0.352
36	2.51	23.60	21.09	0.328
37	2.50	23.58	21.08	0.330
38	2.48	23.55	21.07	0.374
39	2.48	23.53	21.05	0.374
40	2.47	23.51	21.04	0.307
41	2.46	23.48	21.02	0.309
42	2.45	23.46	21.01	0.311
43	2.44	23.44	21.00	0.376
44	2.42	23.41	20.99	0.381
45	2.41	23.38	20.97	0.383
46	2.40	23.36	20.96	0.413

47	2.38	23.33	20.95	0.418
48	2.36	23.30	20.94	0.419
49	2.34	23.27	20.93	0.449
50	2.33	23.24	20.91	0.380
51	2.31	23.21	20.90	0.449
52	2.28	23.17	20.89	0.446
53	2.27	23.14	20.87	0.430
54	2.25	23.11	20.86	0.471
55	2.23	23.07	20.84	0.434
56	2.21	23.04	20.83	0.409
57	2.18	23.00	20.82	0.468
58	2.15	22.96	20.81	0.478
59	2.13	22.92	20.79	0.475
60	2.10	22.88	20.78	0.501
61	2.06	22.83	20.77	0.515
62	2.03	22.78	20.75	0.505
63	1.99	22.73	20.74	0.503
64	1.95	22.67	20.72	0.554
65	1.90	22.61	20.71	0.566
66	1.84	22.54	20.70	0.582
67	1.77	22.46	20.69	0.612
68	1.69	22.37	20.68	0.635
69	1.60	22.26	20.66	0.527
70	1.47	22.12	20.65	0.750
71	1.46	22.10	20.64	2.682
72	1.64	22.05	20.41	2.337
73	2.05	21.99	19.94	1.860
74	2.50	21.92	19.42	1.626
75	2.51	21.92	19.41	0.370
76	2.52	21.90	19.38	0.400
77	2.50	21.86	19.36	0.405
78	2.48	21.82	19.34	0.419
79	2.47	21.79	19.32	0.377
80	2.44	21.75	19.31	0.380
81	2.42	21.71	19.29	0.397
82	2.40	21.68	19.28	0.405
83	2.37	21.64	19.27	0.440
84	2.34	21.60	19.26	0.391
85	2.33	21.57	19.24	0.390
86	2.30	21.53	19.23	0.430
87	2.27	21.49	19.22	0.441
88	2.24	21.45	19.21	0.435
89	2.22	21.41	19.19	0.441
90	2.19	21.37	19.18	0.429
91	2.16	21.33	19.17	0.437
92	2.13	21.29	19.16	0.446
93	2.09	21.24	19.15	0.458
94	2.06	21.20	19.14	0.468
95	2.03	21.16	19.13	0.477
96	1.99	21.11	19.12	0.507
97	1.95	21.06	19.11	0.521
98	1.91	21.01	19.10	0.536
99	1.87	20.96	19.09	0.537
100	1.82	20.90	19.08	0.557
101	1.77	20.84	19.07	0.597
102	1.72	20.78	19.06	0.613
103	1.66	20.71	19.05	0.818
104	1.58	20.62	19.04	0.769
105	1.50	20.53	19.03	0.814

106	1.39	20.41	19.02	0.830
107	1.25	20.26	19.01	1.037
108	0.87	19.87	19.00	1.621
109	0.86	19.86	19.00	1.644

Sai – Bloco de notas					Sai – Bloco de notas				
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda		Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	
RESOLUÇÃO DO SISTEMA					37	2.43	23.51	0.393	
TEMPO EM SEGUNDOS					38	2.42	23.49	0.395	
t= 7200					39	2.42	23.47	0.395	
SEC Y(m) h(m) V(m/s)					40	2.41	23.45	0.399	
1 1.16 25.10 0.000					41	2.41	23.43	0.401	
2 0.96 25.10 0.042					42	2.40	23.41	0.405	
3 0.75 25.09 0.111					43	2.39	23.39	0.410	
4 0.73 25.09 0.150					44	2.38	23.37	0.416	
5 0.69 25.09 0.168					45	2.37	23.34	0.420	
6 2.08 25.08 0.085					46	2.36	23.32	0.426	
7 2.09 25.08 0.096					47	2.34	23.29	0.433	
8 2.12 25.08 0.132					48	2.33	23.27	0.440	
9 2.15 25.08 0.167					49	2.31	23.24	0.448	
10 2.17 25.07 0.202					50	2.30	23.21	0.453	
11 2.18 25.06 0.238					51	2.28	23.18	0.460	
12 2.18 25.05 0.281					52	2.26	23.15	0.469	
13 2.18 25.04 0.323					53	2.25	23.12	0.474	
14 2.18 25.02 0.358					54	2.23	23.09	0.482	
15 2.17 25.00 0.396					55	2.22	23.06	0.487	
16 2.16 24.97 0.430					56	2.19	23.02	0.495	
17 2.14 24.94 0.467					57	2.17	22.99	0.505	
18 2.12 24.91 0.505					58	2.14	22.95	0.516	
19 2.10 24.87 0.538					59	2.12	22.91	0.524	
20 2.07 24.83 0.576					60	2.09	22.87	0.536	
21 2.04 24.78 0.614					61	2.05	22.82	0.550	
22 1.99 24.72 0.661					62	2.02	22.77	0.562	
23 1.92 24.64 0.721					63	1.98	22.72	0.579	
24 1.85 24.55 0.786					64	1.94	22.66	0.595	
25 1.82 24.44 0.831					65	1.88	22.59	0.619	
26 1.83 24.29 0.853					66	1.82	22.52	0.649	
27 1.85 24.29 0.846					67	1.75	22.44	0.688	
28 1.90 24.04 0.811					68	1.66	22.34	0.740	
29 1.97 23.89 0.756					69	1.56	22.22	0.803	
30 2.06 23.76 0.673					70	1.41	22.06	0.916	
31 2.39 23.56 0.422					71	1.38	22.02	0.938	
32 2.41 23.56 0.417					72	1.48	21.89	0.809	
33 2.41 23.55 0.404					73	1.87	21.81	0.604	
34 2.43 23.55 0.396					74	2.34	21.76	0.499	
35 2.43 23.54 0.394					75	2.35	21.76	0.495	
36 2.43 23.52 0.392					76	2.38	21.76	0.477	
					77	2.39	21.75	0.464	

78	2.39	21.73	0.456	94	2.06	21.20	0.528
79	2.39	21.71	0.452	95	2.03	21.16	0.534
80	2.38	21.69	0.454	96	1.99	21.11	0.541
81	2.38	21.67	0.454	97	1.95	21.06	0.548
82	2.36	21.64	0.459	98	1.91	21.01	0.556
83	2.34	21.61	0.465	99	1.87	20.96	0.565
84	2.32	21.58	0.471	100	1.82	20.90	0.575
85	2.31	21.55	0.474	101	1.77	20.84	0.586
86	2.29	21.52	0.481	102	1.72	20.78	0.601
87	2.26	21.48	0.489	103	1.66	20.71	0.622
88	2.24	21.45	0.497	104	1.58	20.62	0.650
89	2.22	21.41	0.501	105	1.50	20.53	0.687
90	2.19	21.37	0.507	106	1.39	20.41	0.742
91	2.16	21.33	0.513	107	1.25	20.26	0.837
92	2.13	21.29	0.519	108	0.84	19.84	1.376
93	2.09	21.24	0.524	109	0.84	19.84	1.380

Sai – Bloco de notas				Sai – Bloco de notas			
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda
RESOLUÇÃO DO SISTEMA				29	1.68	23.60	0.555
TEMPO EM SEGUNDOS				30	1.83	23.53	0.458
t= 18000				31	2.28	23.45	0.269
SEC	Y(m)	h(m)	V(m/s)	32	2.30	23.45	0.267
1	0.70	24.64	0.000	33	2.30	23.44	0.280
2	0.50	24.64	0.037	34	2.31	23.43	0.289
3	0.30	24.64	0.118	35	2.31	23.42	0.299
4	0.27	24.63	0.172	36	2.32	23.41	0.306
5	0.23	24.63	0.206	37	2.31	23.39	0.316
6	1.62	24.62	0.078	38	2.31	23.38	0.325
7	1.63	24.62	0.087	39	2.32	23.37	0.332
8	1.65	24.61	0.114	40	2.31	23.35	0.341
9	1.68	24.61	0.140	41	2.32	23.34	0.348
10	1.71	24.61	0.165	42	2.31	23.32	0.356
11	1.72	24.60	0.192	43	2.30	23.30	0.365
12	1.72	24.59	0.223	44	2.30	23.29	0.373
13	1.72	24.58	0.253	45	2.30	23.27	0.380
14	1.72	24.56	0.280	46	2.29	23.25	0.389
15	1.72	24.55	0.310	47	2.27	23.22	0.397
16	1.72	24.53	0.338	48	2.26	23.20	0.406
17	1.70	24.50	0.369	49	2.25	23.18	0.416
18	1.69	24.48	0.401	50	2.24	23.15	0.422
19	1.68	24.45	0.429	51	2.22	23.12	0.431
20	1.65	24.41	0.462	52	2.21	23.10	0.441
21	1.63	24.37	0.494	53	2.20	23.07	0.447
22	1.59	24.32	0.536	54	2.18	23.04	0.456
23	1.54	24.26	0.590	55	2.17	23.01	0.462
24	1.48	24.18	0.651	56	2.15	22.98	0.472
25	1.46	24.08	0.693	57	2.13	22.95	0.483
26	1.48	23.94	0.711	58	2.10	22.91	0.495
27	1.49	23.93	0.703	59	2.08	22.87	0.504
28	1.58	23.72	0.639	60	2.05	22.83	0.518
				61	2.02	22.79	0.533

62	1.99	22.74	0.545	86	2.29	21.52	0.479
63	1.95	22.69	0.564	87	2.26	21.48	0.487
64	1.92	22.64	0.581	88	2.24	21.45	0.495
65	1.86	22.57	0.607	89	2.22	21.41	0.499
66	1.80	22.50	0.638	90	2.19	21.37	0.505
67	1.73	22.42	0.678	91	2.16	21.33	0.511
68	1.64	22.32	0.731	92	2.13	21.29	0.517
69	1.54	22.20	0.794	93	2.09	21.24	0.522
70	1.40	22.05	0.904	94	2.06	21.20	0.526
71	1.37	22.01	0.925	95	2.03	21.16	0.532
72	1.48	21.89	0.797	96	1.99	21.11	0.538
73	1.87	21.81	0.596	97	1.95	21.06	0.545
74	2.34	21.76	0.492	98	1.91	21.01	0.552
75	2.35	21.76	0.488	99	1.87	20.96	0.560
76	2.38	21.76	0.471	100	1.82	20.90	0.569
77	2.39	21.75	0.459	101	1.77	20.84	0.580
78	2.39	21.73	0.452	102	1.72	20.78	0.593
79	2.39	21.71	0.449	103	1.66	20.71	0.613
80	2.38	21.69	0.452	104	1.58	20.62	0.641
81	2.38	21.67	0.453	105	1.50	20.53	0.678
82	2.36	21.64	0.458	106	1.39	20.41	0.732
83	2.34	21.61	0.464	107	1.25	20.26	0.827
84	2.32	21.58	0.470	108	0.81	19.81	1.432
85	2.31	21.55	0.472	109	0.81	19.81	1.437

Sai – Bloco de notas					Sai – Bloco de notas				
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda		Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	
RESOLUÇÃO DO SISTEMA					26	0.79	23.25	0.575	
TEMPO EM SEGUNDOS					27	0.80	23.24	0.564	
t= 54000					28	0.85	22.99	0.505	
SEC Y(m) h(m) V(m/s)					29	0.96	22.88	0.373	
1 0.51 24.45 0.000					30	1.13	22.83	0.244	
2 0.31 24.45 -0.013					31	1.64	22.81	0.102	
3 0.11 24.45 -0.066					32	1.66	22.81	0.101	
4 0.09 24.45 -0.129					33	1.66	22.80	0.114	
5 0.02 24.42 1.033					34	1.68	22.80	0.124	
6 1.08 24.08 0.211					35	1.69	22.80	0.134	
7 1.09 24.08 0.213					36	1.70	22.79	0.143	
8 1.10 24.06 0.217					37	1.71	22.79	0.153	
9 1.12 24.05 0.222					38	1.72	22.79	0.163	
10 1.13 24.03 0.227					39	1.73	22.78	0.172	
11 1.13 24.01 0.236					40	1.74	22.78	0.182	
12 1.13 24.00 0.247					41	1.75	22.77	0.191	
13 1.12 23.98 0.259					42	1.75	22.76	0.201	
14 1.12 23.96 0.269					43	1.76	22.76	0.211	
15 1.10 23.93 0.284					44	1.76	22.75	0.222	
16 1.10 23.91 0.295					45	1.77	22.74	0.230	
17 1.08 23.88 0.311					46	1.77	22.73	0.241	
18 1.06 23.85 0.329					47	1.77	22.72	0.252	
19 1.05 23.82 0.342					48	1.76	22.70	0.263	
20 1.02 23.78 0.361					49	1.76	22.69	0.274	
21 1.00 23.74 0.380					50	1.77	22.68	0.283	
22 0.96 23.69 0.409					51	1.76	22.66	0.294	
23 0.91 23.63 0.452					52	1.75	22.64	0.305	
24 0.84 23.54 0.507					53	1.76	22.63	0.314	
25 0.80 23.42 0.550					54	1.75	22.61	0.325	
					55	1.75	22.59	0.334	

56	1.74	22.57	0.345	83	2.27	21.54	0.420
57	1.73	22.55	0.358	84	2.26	21.52	0.427
58	1.71	22.52	0.372	85	2.25	21.49	0.431
59	1.71	22.50	0.384	86	2.24	21.47	0.439
60	1.69	22.47	0.398	87	2.22	21.44	0.447
61	1.67	22.44	0.415	88	2.20	21.41	0.455
62	1.65	22.40	0.429	89	2.19	21.38	0.460
63	1.62	22.36	0.448	90	2.17	21.35	0.468
64	1.60	22.32	0.465	91	2.14	21.31	0.477
65	1.56	22.27	0.490	92	2.12	21.28	0.486
66	1.52	22.22	0.519	93	2.09	21.24	0.496
67	1.46	22.15	0.555	94	2.06	21.20	0.505
68	1.39	22.07	0.601	95	2.03	21.16	0.514
69	1.32	21.98	0.652	96	1.99	21.11	0.524
70	1.21	21.86	0.737	97	1.95	21.06	0.533
71	1.19	21.83	0.750	98	1.91	21.01	0.542
72	1.38	21.79	0.628	99	1.87	20.96	0.553
73	1.81	21.75	0.464	100	1.82	20.90	0.563
74	2.30	21.72	0.382	101	1.77	20.84	0.574
75	2.31	21.72	0.381	102	1.72	20.78	0.588
76	2.32	21.70	0.381	103	1.66	20.71	0.608
77	2.32	21.68	0.386	104	1.58	20.62	0.635
78	2.32	21.66	0.390	105	1.50	20.53	0.669
79	2.32	21.64	0.395	106	1.39	20.41	0.716
80	2.31	21.62	0.402	107	1.25	20.26	0.794
81	2.30	21.59	0.406	108	0.71	19.71	1.634
82	2.29	21.57	0.413	109	0.71	19.71	1.646

Sai – Bloco de notas				Sai – Bloco de notas			
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda
RESOLUÇÃO DO SISTEMA				21	0.74	23.48	0.266
TEMPO EM SEGUNDOS				22	0.72	23.45	0.302
t= 86400				23	0.68	23.40	0.349
SEC y(m) h(m) V(m/s)				24	0.62	23.32	0.409
1	0.02	23.96	0.000	25	0.59	23.21	0.459
2	0.02	24.16	-0.769	26	0.57	23.03	0.501
3	0.02	24.36	0.728	27	0.58	23.02	0.490
4	0.02	24.38	-1.334	28	0.59	22.73	0.499
5	0.02	24.42	1.428	29	0.63	22.55	0.450
6	0.39	23.39	0.128	30	0.75	22.45	0.290
7	0.46	23.45	0.039	31	1.24	22.41	0.072
8	0.59	23.55	-0.064	32	1.26	22.41	0.072
9	0.65	23.58	-0.070	33	1.27	22.41	0.084
10	0.68	23.58	-0.041	34	1.29	22.41	0.092
11	0.70	23.58	-0.007	35	1.30	22.41	0.102
12	0.71	23.58	0.022	36	1.31	22.40	0.110
13	0.72	23.58	0.048	37	1.32	22.40	0.119
14	0.74	23.58	0.074	38	1.33	22.40	0.128
15	0.74	23.57	0.101	39	1.34	22.39	0.136
16	0.76	23.57	0.127	40	1.35	22.39	0.145
17	0.76	23.56	0.156	41	1.36	22.38	0.152
18	0.76	23.55	0.185	42	1.37	22.38	0.161
19	0.76	23.53	0.210	43	1.37	22.37	0.169
20	0.75	23.51	0.239	44	1.38	22.37	0.178
				45	1.39	22.36	0.186

46	1.39	22.35	0.195	78	2.03	21.37	0.286
47	1.39	22.34	0.204	79	2.03	21.35	0.292
48	1.39	22.33	0.214	80	2.03	21.34	0.300
49	1.39	22.32	0.223	81	2.03	21.32	0.306
50	1.40	22.31	0.231	82	2.03	21.31	0.313
51	1.39	22.29	0.241	83	2.02	21.29	0.321
52	1.39	22.28	0.250	84	2.01	21.27	0.329
53	1.39	22.26	0.258	85	2.02	21.26	0.335
54	1.39	22.25	0.268	86	2.01	21.24	0.343
55	1.39	22.23	0.275	87	2.00	21.22	0.352
56	1.39	22.22	0.285	88	1.99	21.20	0.360
57	1.38	22.20	0.296	89	1.99	21.18	0.366
58	1.37	22.18	0.309	90	1.98	21.16	0.374
59	1.36	22.15	0.318	91	1.96	21.13	0.383
60	1.35	22.13	0.331	92	1.95	21.11	0.393
61	1.33	22.10	0.346	93	1.93	21.08	0.403
62	1.32	22.07	0.358	94	1.91	21.05	0.413
63	1.29	22.03	0.376	95	1.89	21.02	0.424
64	1.28	22.00	0.391	96	1.87	20.99	0.436
65	1.24	21.95	0.414	97	1.85	20.96	0.448
66	1.20	21.90	0.442	98	1.82	20.92	0.462
67	1.15	21.84	0.477	99	1.79	20.88	0.476
68	1.09	21.77	0.524	100	1.76	20.84	0.492
69	1.01	21.67	0.582	101	1.72	20.79	0.510
70	0.88	21.53	0.695	102	1.68	20.74	0.531
71	0.86	21.50	0.720	103	1.63	20.68	0.557
72	1.04	21.45	0.562	104	1.57	20.61	0.590
73	1.48	21.42	0.372	105	1.50	20.53	0.630
74	1.98	21.40	0.274	106	1.39	20.41	0.677
75	1.99	21.40	0.273	107	1.25	20.26	0.740
76	2.01	21.39	0.274	108	0.63	19.63	1.785
77	2.02	21.38	0.280	109	0.62	19.62	1.812

Sai – Bloco de notas				Sai – Bloco de notas			
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda
RESOLUÇÃO DO SISTEMA				15	0.30	23.13	0.052
TEMPO EM SEGUNDOS				16	0.32	23.13	0.065
t=129600				17	0.32	23.12	0.079
SEC Y(m) h(m) V(m/s)				18	0.32	23.11	0.093
1 0.02 23.96 0.000				19	0.33	23.10	0.105
2 0.02 24.16 -0.508				20	0.33	23.09	0.119
3 0.02 24.36 -0.641				21	0.33	23.07	0.132
4 0.02 24.38 -0.819				22	0.32	23.05	0.153
5 0.02 24.42 0.791				23	0.30	23.02	0.180
6 0.02 23.02 0.096				24	0.26	22.96	0.218
7 0.08 23.07 -0.079				25	0.26	22.88	0.239
8 0.16 23.12 -0.030				26	0.19	22.65	0.362
9 0.20 23.13 -0.031				27	0.19	22.63	0.356
10 0.24 23.14 -0.018				28	0.20	22.34	0.350
11 0.26 23.14 -0.004				29	0.20	22.12	0.381
12 0.27 23.14 0.010				30	0.31	22.01	0.183
13 0.28 23.14 0.025				31	0.83	22.00	0.014
14 0.29 23.13 0.038				32	0.85	22.00	0.014
				33	0.86	22.00	0.027

34	0.88	22.00	0.037	72	0.59	21.00	0.581
35	0.89	22.00	0.046	73	1.01	20.95	0.287
36	0.91	22.00	0.055	74	1.52	20.94	0.178
37	0.91	21.99	0.064	75	1.53	20.94	0.177
38	0.92	21.99	0.073	76	1.56	20.94	0.180
39	0.94	21.99	0.081	77	1.57	20.93	0.187
40	0.95	21.99	0.090	78	1.58	20.92	0.194
41	0.97	21.99	0.097	79	1.59	20.91	0.201
42	0.97	21.98	0.106	80	1.59	20.90	0.209
43	0.98	21.98	0.114	81	1.61	20.90	0.215
44	0.98	21.97	0.123	82	1.61	20.89	0.223
45	1.00	21.97	0.130	83	1.60	20.87	0.231
46	1.00	21.96	0.139	84	1.60	20.86	0.239
47	1.01	21.96	0.147	85	1.61	20.85	0.245
48	1.01	21.95	0.156	86	1.61	20.84	0.254
49	1.01	21.94	0.165	87	1.61	20.83	0.262
50	1.02	21.93	0.172	88	1.60	20.81	0.271
51	1.02	21.92	0.181	89	1.61	20.80	0.277
52	1.02	21.91	0.190	90	1.60	20.78	0.285
53	1.03	21.90	0.196	91	1.59	20.76	0.295
54	1.02	21.88	0.205	92	1.59	20.75	0.304
55	1.03	21.87	0.211	93	1.58	20.73	0.314
56	1.03	21.86	0.220	94	1.57	20.71	0.324
57	1.02	21.84	0.230	95	1.55	20.68	0.334
58	1.01	21.82	0.241	96	1.54	20.66	0.345
59	1.01	21.80	0.249	97	1.52	20.63	0.357
60	1.00	21.78	0.260	98	1.50	20.60	0.370
61	0.99	21.76	0.273	99	1.48	20.57	0.384
62	0.98	21.73	0.283	100	1.46	20.54	0.398
63	0.97	21.71	0.298	101	1.43	20.50	0.415
64	0.95	21.67	0.311	102	1.40	20.46	0.434
65	0.93	21.64	0.331	103	1.36	20.41	0.456
66	0.89	21.59	0.355	104	1.32	20.36	0.485
67	0.85	21.54	0.386	105	1.26	20.29	0.521
68	0.79	21.47	0.431	106	1.19	20.21	0.568
69	0.71	21.37	0.494	107	1.09	20.10	0.636
70	0.53	21.18	0.700	108	0.51	19.51	1.577
71	0.47	21.11	0.804	109	0.50	19.50	1.604

Sai – Bloco de notas				Sai – Bloco de notas			
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda
RESOLUÇÃO DO SISTEMA				9	0.11	23.04	0.021
TEMPO EM SEGUNDOS				10	0.14	23.04	0.025
t=172800				11	0.16	23.04	0.031
SEC Y(m) h(m) V(m/s)				12	0.16	23.03	0.038
1 0.02 23.96 0.000				13	0.17	23.03	0.044
2 0.02 24.16 -0.337				14	0.19	23.03	0.048
3 0.02 24.36 -0.400				15	0.19	23.02	0.055
4 0.02 24.38 -0.467				16	0.20	23.01	0.059
5 0.02 24.42 0.460				17	0.20	23.00	0.067
6 0.02 23.02 0.203				18	0.20	22.99	0.075
7 0.05 23.04 0.071				19	0.21	22.98	0.080
8 0.08 23.04 0.018				20	0.21	22.97	0.089
				21	0.22	22.96	0.094

22	0.21	22.94	0.108	66	0.69	21.39	0.279
23	0.19	22.91	0.127	67	0.65	21.34	0.303
24	0.16	22.86	0.155	68	0.60	21.28	0.338
25	0.17	22.79	0.155	69	0.54	21.20	0.387
26	0.11	22.57	0.274	70	0.38	21.03	0.584
27	0.11	22.55	0.277	71	0.31	20.95	0.723
28	0.10	22.24	0.314	72	0.29	20.70	0.792
29	0.12	22.04	0.251	73	0.63	20.57	0.278
30	0.09	21.79	0.381	74	1.14	20.56	0.131
31	0.54	21.71	-0.021	75	1.15	20.56	0.131
32	0.56	21.71	-0.019	76	1.18	20.56	0.133
33	0.57	21.71	-0.005	77	1.19	20.55	0.139
34	0.59	21.71	0.005	78	1.21	20.55	0.145
35	0.60	21.71	0.015	79	1.22	20.54	0.151
36	0.62	21.71	0.025	80	1.22	20.53	0.158
37	0.63	21.71	0.034	81	1.24	20.53	0.163
38	0.64	21.71	0.043	82	1.24	20.52	0.170
39	0.66	21.71	0.050	83	1.24	20.51	0.177
40	0.67	21.71	0.059	84	1.24	20.50	0.185
41	0.69	21.71	0.066	85	1.25	20.49	0.190
42	0.70	21.71	0.074	86	1.25	20.48	0.197
43	0.70	21.70	0.082	87	1.25	20.47	0.205
44	0.71	21.70	0.090	88	1.25	20.46	0.212
45	0.73	21.70	0.096	89	1.26	20.45	0.217
46	0.73	21.69	0.103	90	1.26	20.44	0.225
47	0.74	21.69	0.111	91	1.25	20.42	0.232
48	0.74	21.68	0.119	92	1.25	20.41	0.241
49	0.74	21.67	0.127	93	1.24	20.39	0.249
50	0.75	21.66	0.132	94	1.24	20.38	0.258
51	0.76	21.66	0.140	95	1.23	20.36	0.267
52	0.76	21.65	0.148	96	1.22	20.34	0.276
53	0.77	21.64	0.153	97	1.21	20.32	0.286
54	0.77	21.63	0.160	98	1.20	20.30	0.297
55	0.78	21.62	0.165	99	1.18	20.27	0.308
56	0.78	21.61	0.172	100	1.16	20.24	0.321
57	0.77	21.59	0.180	101	1.14	20.21	0.335
58	0.77	21.58	0.189	102	1.12	20.18	0.350
59	0.77	21.56	0.196	103	1.09	20.14	0.369
60	0.76	21.54	0.205	104	1.05	20.09	0.392
61	0.75	21.52	0.215	105	1.01	20.04	0.422
62	0.75	21.50	0.223	106	0.95	19.97	0.459
63	0.74	21.48	0.235	107	0.87	19.88	0.514
64	0.73	21.45	0.244	108	0.38	19.38	1.302
65	0.71	21.42	0.260	109	0.38	19.38	1.325

Sai – Bloco de notas				Sai – Bloco de notas			
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda
RESOLUÇÃO DO SISTEMA				3	0.02	24.36	-0.414
TEMPO EM SEGUNDOS				4	0.02	24.38	-0.462
t=216000				5	0.02	24.42	0.448
SEC y(m) h(m) V(m/s)				6	0.02	23.02	0.237
				7	0.03	23.02	0.079
1 0.02 23.96 0.000				8	0.05	23.01	0.027
2 0.02 24.16 -0.305				9	0.07	23.00	0.025

10	0.09	22.99	0.027	60	0.59	21.37	0.165
11	0.11	22.99	0.031	61	0.59	21.36	0.174
12	0.12	22.99	0.037	62	0.59	21.34	0.179
13	0.12	22.98	0.042	63	0.58	21.32	0.189
14	0.13	22.97	0.044	64	0.58	21.30	0.196
15	0.14	22.97	0.049	65	0.56	21.27	0.208
16	0.15	22.96	0.052	66	0.54	21.24	0.224
17	0.15	22.95	0.058	67	0.52	21.21	0.242
18	0.15	22.94	0.064	68	0.48	21.16	0.270
19	0.16	22.93	0.066	69	0.43	21.09	0.308
20	0.16	22.92	0.073	70	0.29	20.94	0.469
21	0.16	22.90	0.076	71	0.24	20.88	0.573
22	0.15	22.88	0.087	72	0.17	20.58	0.859
23	0.14	22.86	0.102	73	0.37	20.31	0.337
24	0.12	22.82	0.126	74	0.87	20.29	0.109
25	0.13	22.75	0.123	75	0.88	20.29	0.109
26	0.09	22.55	0.205	76	0.91	20.29	0.110
27	0.09	22.53	0.192	77	0.93	20.29	0.115
28	0.05	22.19	0.328	78	0.94	20.28	0.119
29	0.12	22.04	0.103	79	0.95	20.27	0.124
30	0.02	21.72	0.512	80	0.96	20.27	0.130
31	0.35	21.52	-0.020	81	0.97	20.26	0.134
32	0.37	21.52	-0.018	82	0.98	20.26	0.140
33	0.38	21.52	-0.006	83	0.98	20.25	0.146
34	0.40	21.52	0.004	84	0.98	20.24	0.152
35	0.41	21.52	0.012	85	0.99	20.23	0.156
36	0.43	21.52	0.020	86	1.00	20.23	0.162
37	0.44	21.52	0.028	87	1.00	20.22	0.169
38	0.45	21.52	0.035	88	1.00	20.21	0.175
39	0.47	21.52	0.041	89	1.01	20.20	0.178
40	0.48	21.52	0.048	90	1.01	20.19	0.184
41	0.50	21.52	0.053	91	1.00	20.17	0.191
42	0.51	21.52	0.060	92	1.00	20.16	0.197
43	0.51	21.51	0.066	93	1.00	20.15	0.204
44	0.52	21.51	0.072	94	1.00	20.14	0.211
45	0.54	21.51	0.077	95	0.99	20.12	0.218
46	0.54	21.50	0.083	96	0.98	20.10	0.226
47	0.55	21.50	0.089	97	0.98	20.09	0.234
48	0.55	21.49	0.096	98	0.97	20.07	0.242
49	0.56	21.49	0.102	99	0.96	20.05	0.251
50	0.57	21.48	0.106	100	0.94	20.02	0.261
51	0.57	21.47	0.113	101	0.93	20.00	0.272
52	0.57	21.46	0.119	102	0.91	19.97	0.284
53	0.59	21.46	0.123	103	0.89	19.94	0.297
54	0.59	21.45	0.129	104	0.86	19.90	0.315
55	0.60	21.44	0.133	105	0.83	19.86	0.336
56	0.60	21.43	0.139	106	0.78	19.80	0.362
57	0.60	21.42	0.145	107	0.73	19.74	0.397
58	0.59	21.40	0.153	108	0.26	19.26	1.187
59	0.60	21.39	0.157	109	0.26	19.26	1.227

Sai – Bloco de notas					Sai – Bloco de notas				
Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda		Arquivo	Editar	Pesquisar	Ajuda	
RESOLUÇÃO DO SISTEMA					53	0.33	21.20	0.092	
TEMPO EM SEGUNDOS					54	0.33	21.19	0.095	
t=345600					55	0.34	21.18	0.095	
SEC	y(m)	h(m)	V(m/s)		56	0.34	21.17	0.098	
1	0.02	23.96	0.000		57	0.34	21.16	0.102	
2	0.02	24.16	-0.300		58	0.34	21.15	0.106	
3	0.02	24.36	-0.408		59	0.35	21.14	0.107	
4	0.02	24.38	-0.454		60	0.35	21.13	0.111	
5	0.02	24.42	0.442		61	0.34	21.11	0.116	
6	0.02	23.02	0.262		62	0.35	21.10	0.118	
7	0.03	23.02	0.101		63	0.34	21.08	0.123	
8	0.02	22.98	0.022		64	0.34	21.06	0.125	
9	0.02	22.95	0.023		65	0.34	21.05	0.132	
10	0.03	22.93	0.020		66	0.32	21.02	0.141	
11	0.04	22.92	0.023		67	0.31	21.00	0.151	
12	0.04	22.91	0.027		68	0.29	20.97	0.166	
13	0.05	22.91	0.030		69	0.26	20.92	0.186	
14	0.06	22.90	0.030		70	0.15	20.80	0.318	
15	0.06	22.89	0.033		71	0.07	20.71	0.562	
16	0.07	22.88	0.033		72	0.12	20.53	0.372	
17	0.07	22.87	0.038		73	0.05	19.99	0.705	
18	0.07	22.86	0.043		74	0.47	19.89	0.106	
19	0.08	22.85	0.042		75	0.48	19.89	0.104	
20	0.08	22.84	0.047		76	0.50	19.88	0.101	
21	0.09	22.83	0.046		77	0.52	19.88	0.102	
22	0.08	22.81	0.055		78	0.53	19.87	0.103	
23	0.08	22.80	0.064		79	0.54	19.86	0.104	
24	0.06	22.76	0.082		80	0.54	19.85	0.107	
25	0.07	22.69	0.078		81	0.56	19.85	0.108	
26	0.05	22.51	0.126		82	0.56	19.84	0.111	
27	0.06	22.50	0.100		83	0.56	19.83	0.114	
28	0.02	22.16	0.275		84	0.56	19.82	0.118	
29	0.10	22.02	0.089		85	0.57	19.81	0.118	
30	0.02	21.72	0.436		86	0.57	19.80	0.122	
31	0.18	21.35	0.064		87	0.58	19.80	0.125	
32	0.20	21.35	0.058		88	0.58	19.79	0.129	
33	0.20	21.34	0.060		89	0.59	19.78	0.130	
34	0.22	21.34	0.059		90	0.59	19.77	0.133	
35	0.22	21.33	0.061		91	0.59	19.76	0.137	
36	0.23	21.32	0.060		92	0.59	19.75	0.141	
37	0.24	21.32	0.062		93	0.58	19.73	0.145	
38	0.24	21.31	0.065		94	0.58	19.72	0.150	
39	0.25	21.30	0.064		95	0.58	19.71	0.154	
40	0.26	21.30	0.066		96	0.57	19.69	0.159	
41	0.27	21.29	0.066		97	0.57	19.68	0.165	
42	0.28	21.29	0.068		98	0.56	19.66	0.171	
43	0.28	21.28	0.071		99	0.55	19.64	0.178	
44	0.28	21.27	0.073		100	0.54	19.62	0.186	
45	0.30	21.27	0.073		101	0.52	19.59	0.195	
46	0.30	21.26	0.076		102	0.51	19.57	0.205	
47	0.30	21.25	0.078		103	0.49	19.54	0.219	
48	0.31	21.25	0.081		104	0.45	19.49	0.241	
49	0.31	21.24	0.084		105	0.40	19.43	0.278	
50	0.32	21.23	0.085		106	0.26	19.28	0.356	
51	0.32	21.22	0.088		107	0.02	19.03	-0.089	
52	0.32	21.21	0.092		108	0.02	19.02	0.415	
					109	0.02	19.02	0.514	

C SUB ROTINA PARA RESOLUÇÃO DO SISTEMA DE EQUAÇÕES
C LINEARES

```

SUBROUTINE SOLVER(R,U,N)
INTEGER N
REAL*8 R(N,N+1),U(N),SOMAT
DO 360 I=1,N
  IF(I.GT.1)THEN
    DO 330 K=I,N
      SOMAT=0
      DO 325 J=1,(I-1)
        SOMAT=SOMAT+R(K,(I-J))*R((I-J),I)
325      CONTINUE
      R(K,I)=R(K,I)-SOMAT
330    CONTINUE
  ENDIF
  DO 350 K=(I+1),(N+1)
    SOMAT=0
    IF(I.GT.1)THEN
      DO 340 J=1,(I-1)
        SOMAT=SOMAT+R(I,(I-J))*R((I-J),K)
340      CONTINUE
    ENDIF
    R(I,K)=(R(I,K)-SOMAT)/R(I,I)
350    CONTINUE
360  CONTINUE
  U(N)=-R(N,(N+1))
  DO 380 I=(N-1),1,-1
    U(I)=0
    SOMAT=0
    DO 370 J=(I+1),N
      SOMAT=SOMAT+R(I,J)*U(J)
370    CONTINUE
    U(I)=-R(I,(N+1))-SOMAT
380  CONTINUE
  DO 390 I=N,1,-1
    U(I)=-U(I)
390  CONTINUE
  RETURN
END

```

C SUB ROTINA PARA DETERMINAÇÃO DA GEOMETRIA
C CANAL DE ALIMENTAÇÃO DA USINA DE MONJOLINHO

```

SUBROUTINE GEO(y,P,A,Bi,Am,Pm,Bim,Rh,Nz)
INTEGER Nz
REAL*8 y(Nz),P(Nz),A(Nz),Bi(Nz),Am(Nz-1),Pm(Nz-1),Bim(Nz-1),
Rh(Nz-1)
DO I=1,Nz
  IF(I.EQ.1)THEN
    A(I)=0.4107*(y(I)**2)+0.7221*y(I)+0.008
    P(I)=2.14*y(I)+0.758
    Bi(I)=0.75*y(I)+0.76
  ELSEIF(I.EQ.2)THEN
    A(I)=0.4107*(y(I)**2)+0.7221*y(I)+0.008
    P(I)=2.14*y(I)+0.758
    Bi(I)=0.75*y(I)+0.76
    Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
    Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
    Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
    Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
  ELSEIF(I.EQ.3)THEN
    A(I)=-0.8333*(y(I)**3)+1.25*(y(I)**2)+0.3833*y(I)-0.01
    P(I)=5.5208*(y(I)**3)-8.1161*(y(I)**2)+5.656*y(I)+0.074
    Bi(I)=-3.8214*(y(I)**2)+3.6957*y(I)+0.176
    Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
    Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
    Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
    Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
  ELSEIF(I.EQ.4)THEN
    A(I)=-0.8333*(y(I)**3)+1.25*(y(I)**2)+0.3833*y(I)-0.01
    P(I)=5.5208*(y(I)**3)-8.1161*(y(I)**2)+5.656*y(I)+0.074
    Bi(I)=-3.8214*(y(I)**2)+3.6957*y(I)+0.176
    Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
    Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
    Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
    Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
  ELSEIF(I.EQ.5)THEN
    A(I)=-0.8333*(y(I)**3)+1.25*(y(I)**2)+0.3833*y(I)-0.01
    P(I)=5.5208*(y(I)**3)-8.1161*(y(I)**2)+5.656*y(I)+0.074
    Bi(I)=-3.8214*(y(I)**2)+3.6957*y(I)+0.176
    Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
    Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
    Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
    Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
  ELSEIF(I.EQ.6)THEN
    A(I)=0.375*(y(I)**2)+0.755*y(I)+0.002
    P(I)=2.13*y(I)+0.762
    Bi(I)=0.75*y(I)+0.76
    Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
    Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
    Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
    Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))

```


ELSEIF(IEQ.7)THEN

A(I)=1.35*y(I)-0.05
P(I)=5.41*y(I)+0.43
Bi(I)=-10*(y(I)**2)+7.81*y(I)+0.19
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))

ELSEIF(IEQ.8)THEN

A(I)=1.35*y(I)-0.05
P(I)=5.41*y(I)+0.43
Bi(I)=-10*(y(I)**2)+7.81*y(I)+0.19
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))

ELSEIF(IEQ.9)THEN

A(I)=1.35*y(I)-0.05
P(I)=5.41*y(I)+0.43
Bi(I)=-10*(y(I)**2)+7.81*y(I)+0.19
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))

ELSEIF(IEQ.10)THEN

A(I)=0.3571*(y(I)**2)+0.7214*y(I)-0.028
P(I)=2.125*y(I)+0.669
Bi(I)=0.685*y(I)+0.763
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))

ELSEIF(IEQ.11)THEN

A(I)=0.3244*(y(I)**2)+0.7899*y(I)-0.0000000000000005
P(I)=2.1054*y(I)+0.79
Bi(I)=0.65*y(I)+0.79
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))

ELSEIF(IEQ.12)THEN

A(I)=0.4196*(y(I)**2)+0.8254*y(I)+0.006
P(I)=2.1571*y(I)+0.8467
Bi(I)=0.8*y(I)+0.85
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))

ELSEIF(IEQ.13)THEN

A(I)=0.2738*(y(I)**2)+0.9512*y(I)-0.0014
P(I)=2.075*y(I)+0.9529
Bi(I)=0.55*y(I)+0.95
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2

```

Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1)))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.14)THEN
A(I)=0.2946*(y(I)**2)+0.7875*y(I)-0.0000000000000004
P(I)=2.0857*y(I)+0.79
Bi(I)=0.5911*y(I)+0.79
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1)))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.15)THEN
A(I)=0.25*(y(I)**2)+0.8729*y(I)-0.006
P(I)=2.08*y(I)+0.8473
Bi(I)=0.5314*y(I)+0.8513
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1)))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.16)THEN
A(I)=0.4464*(y(I)**2)+0.7893*y(I)+0.004
P(I)=2.2*y(I)+0.79
Bi(I)=0.91*y(I)+0.786
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1)))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.17)THEN
A(I)=0.4196*(y(I)**2)+0.7996*y(I)-0.006
P(I)=2.1771*y(I)+0.786
Bi(I)=0.85*y(I)+0.79
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1)))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.18)THEN
A(I)=0.4196*(y(I)**2)+0.7996*y(I)-0.006
P(I)=2.1771*y(I)+0.786
Bi(I)=0.85*y(I)+0.79
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1)))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.19)THEN
A(I)=0.4196*(y(I)**2)+0.7996*y(I)-0.006
P(I)=2.1771*y(I)+0.786
Bi(I)=0.85*y(I)+0.79
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1)))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.20)THEN
A(I)=0.2768*(y(I)**2)+0.9768*y(I)-0.0471

```

```

P(I)=2.1482*y(I)+0.8014
Bi(I)=0.75*y(I)+0.79
Bim(I-1)=((Bi(I)+(Bi(I-1))))/2
Am(I-1)=((A(I)+(A(I-1))))/2
Pm(I-1)=((P(I)+(P(I-1))))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(IEQ.21)THEN
A(I)=0.2946*(y(I)**2)+1.0696*y(I)+0.0043
P(I)=2.0839*y(I)+1.0786
Bi(I)=0.5786*y(I)+1.0829
Bim(I-1)=((Bi(I)+(Bi(I-1))))/2
Am(I-1)=((A(I)+(A(I-1))))/2
Pm(I-1)=((P(I)+(P(I-1))))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(IEQ.22)THEN
A(I)=0.3929*(y(I)**2)+1.0386*y(I)-0.002
P(I)=2.15*y(I)+1.03
Bi(I)=0.7971*y(I)+1.0253
Bim(I-1)=((Bi(I)+(Bi(I-1))))/2
Am(I-1)=((A(I)+(A(I-1))))/2
Pm(I-1)=((P(I)+(P(I-1))))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(IEQ.23)THEN
A(I)=0.375*(y(I)**2)+0.825*y(I)-0.01
P(I)=2.15*y(I)+0.79
Bi(I)=0.8*y(I)+0.79
Bim(I-1)=((Bi(I)+(Bi(I-1))))/2
Am(I-1)=((A(I)+(A(I-1))))/2
Pm(I-1)=((P(I)+(P(I-1))))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(IEQ.24)THEN
A(I)=0.375*(y(I)**2)+0.825*y(I)-0.01
P(I)=2.15*y(I)+0.79
Bi(I)=0.8*y(I)+0.79
Bim(I-1)=((Bi(I)+(Bi(I-1))))/2
Am(I-1)=((A(I)+(A(I-1))))/2
Pm(I-1)=((P(I)+(P(I-1))))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(IEQ.25)THEN
A(I)=0.375*(y(I)**2)+0.825*y(I)-0.01
P(I)=2.15*y(I)+0.79
Bi(I)=0.8*y(I)+0.79
Bim(I-1)=((Bi(I)+(Bi(I-1))))/2
Am(I-1)=((A(I)+(A(I-1))))/2
Pm(I-1)=((P(I)+(P(I-1))))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(IEQ.26)THEN
A(I)=0.3542*(y(I)**2)+0.6744*y(I)-0.0086
P(I)=2.1286*y(I)+0.6514
Bi(I)=0.7339*y(I)+0.65
Bim(I-1)=((Bi(I)+(Bi(I-1))))/2
Am(I-1)=((A(I)+(A(I-1))))/2
Pm(I-1)=((P(I)+(P(I-1))))/2

```

```

Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(IEQ.27)THEN
A(I)=0.4196*(y(I)**2)+0.6625*y(I)+0.0000000000000008
P(I)=2.1686*y(I)+0.6687
Bi(I)=0.8371*y(I)+0.664
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(IEQ.28)THEN
A(I)=1.95*y(I)
P(I)=2*y(I)+1.95
Bi(I)=1.95
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(IEQ.29)THEN
A(I)=2.85*y(I)
P(I)=2*y(I)+2.85
Bi(I)=2.85
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(IEQ.Nz)THEN
A(I)=3.41*y(I)+0.0000000000000002
P(I)=2*y(I)+3.41
Bi(I)=3.41
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ENDIF
ENDDO
RETURN
END

```

C SUB ROTINA PARA DETERMINAÇÃO DA GEOMETRIA
C CANAL DO TRABALHADOR

```

SUBROUTINE GEO(y,P,A,Bi,Am,Pm,Bim,Rh,Nz)
INTEGER Nz
REAL*8 y(Nz),P(Nz),A(Nz),Bi(Nz),Am(Nz-1),Pm(Nz-1),Bim(Nz-1),
Rh(Nz-1)
DO I=1,Nz
  IF(I.GE.1.AND.I.LE.4)THEN
    A(I)=1.62*(y(I)**2)+3.97*y(I)-0.06
    P(I)=3.79*y(I)+3.9767
    Bi(I)=3.23*y(I)+3.9933
    IF(I.GT.1)THEN
      Bim(I-1)=((Bi(I))+Bi(I-1)))/2
      Am(I-1)=((A(I))+A(I-1)))/2
      Pm(I-1)=((P(I))+P(I-1)))/2
      Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
    ENDIF
    ELSEIF(I.GE.5.AND.I.LE.6)THEN      !Sifão Macacos
      A(I)=-0.3696*(y(I)**3)+1.3888*(y(I)**2)+0.8088*y(I)-0.0081
      P(I)=0.9396*(y(I)**3)-3.5215*(y(I)**2)+5.9914*y(I)+0.1002
      Bi(I)=-0.8951*(y(I)**4)+4.4718*(y(I)**3)-8.5128*(y(I)**2)+
      7.3159*y(I)+0.0392
      Bim(I-1)=((Bi(I))+Bi(I-1)))/2
      Am(I-1)=((A(I))+A(I-1)))/2
      Pm(I-1)=((P(I))+P(I-1)))/2
      Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
    ELSEIF(I.GE.7.AND.I.LE.10)THEN
      A(I)=1.52*(y(I)**2)+4.06*y(I)-0.03
      P(I)=3.61*y(I)+4.0867
      Bi(I)=3*y(I)+4.1
      Bim(I-1)=((Bi(I))+Bi(I-1)))/2
      Am(I-1)=((A(I))+A(I-1)))/2
      Pm(I-1)=((P(I))+P(I-1)))/2
      Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
    ELSEIF(I.EQ.11)THEN
      A(I)=1.7*(y(I)**2)+3.45*y(I)-0.01
      P(I)=3.97*y(I)+3.4167
      Bi(I)=3.42*y(I)+3.42
      Bim(I-1)=((Bi(I))+Bi(I-1)))/2
      Am(I-1)=((A(I))+A(I-1)))/2
      Pm(I-1)=((P(I))+P(I-1)))/2
      Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
    ELSEIF(I.EQ.12)THEN
      A(I)=1.54*(y(I)**2)+4.27*y(I)+0.17
      P(I)=3.72*y(I)+4.22
      Bi(I)=1.5*(y(I)**2)+0.87*y(I)+4.97
      Bim(I-1)=((Bi(I))+Bi(I-1)))/2
      Am(I-1)=((A(I))+A(I-1)))/2
      Pm(I-1)=((P(I))+P(I-1)))/2
      Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
    ELSEIF(I.GE.13.AND.I.LE.14)THEN

```

```

A(I)=1.6*(y(I)**2)+3.72*y(I)+0.08
P(I)=3.77*y(I)+3.7367
Bi(I)=3.2*y(I)+3.72
Bim(I-1)=((Bi(I))+Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.15)THEN
A(I)=1.66*(y(I)**2)+4.35*y(I)+0.05
P(I)=3.91*y(I)+4.2967
Bi(I)=3.35*y(I)+4.3133
Bim(I-1)=((Bi(I))+Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.16)THEN
A(I)=1.52*(y(I)**2)+4.86*y(I)-0.04
P(I)=3.62*y(I)+4.88
Bi(I)=3.02*y(I)+4.88
Bim(I-1)=((Bi(I))+Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.17)THEN
A(I)=1.52*(y(I)**2)+5*y(I)+0.03
P(I)=3.64*y(I)+5
Bi(I)=3.05*y(I)+4.9867
Bim(I-1)=((Bi(I))+Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.18)THEN
A(I)=1.54*(y(I)**2)+5.01*y(I)+0.08
P(I)=3.67*y(I)+5.0267
Bi(I)=3.08*y(I)+5.02
Bim(I-1)=((Bi(I))+Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.19)THEN
A(I)=1.76*(y(I)**2)+11.06*y(I)+0.04
P(I)=4.05*y(I)+11.073
Bi(I)=3.52*y(I)+11.06
Bim(I-1)=((Bi(I))+Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.20)THEN
A(I)=1.56*(y(I)**2)+5.5*y(I)+0.17
P(I)=3.71*y(I)+5.5167
Bi(I)=3.12*y(I)+5.5
Bim(I-1)=((Bi(I))+Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+A(I-1)))/2

```

```

Pm(I-1)=((P(I))+P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1)))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.21)THEN
A(I)=1.5*(y(I)**2)+9.17*y(I)-0.08
P(I)=3.6*y(I)+9.17
Bi(I)=2.99*y(I)+9.1767
Bim(I-1)=((Bi(I))+Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1)))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.22)THEN
A(I)=1.7*(y(I)**2)+4.55*y(I)-0.02
P(I)=3.94*y(I)+4.55
Bi(I)=3.4*y(I)+4.55
Bim(I-1)=((Bi(I))+Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1)))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.23)THEN
A(I)=1.6*(y(I)**2)+5.3*y(I)+0.19
P(I)=3.74*y(I)+5.4167
Bi(I)=3.16*y(I)+5.3533
Bim(I-1)=((Bi(I))+Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1)))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.24)THEN
A(I)=1.52*(y(I)**2)+5.02*y(I)-0.04
P(I)=3.65*y(I)+4.9833
Bi(I)=3.05*y(I)+5.0167
Bim(I-1)=((Bi(I))+Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1)))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.GE.25.AND.I.LE.26)THEN
A(I)=1.62*(y(I)**2)+4.27*y(I)-0.08
P(I)=3.79*y(I)+4.2733
Bi(I)=3.22*y(I)+4.29
Bim(I-1)=((Bi(I))+Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1)))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.GE.27.AND.I.LE.31)THEN !Sifão Umburanas
A(I)=-0.0924*(y(I)**3)+0.6944*(y(I)**2)+0.8088*y(I)-0.0162
P(I)=0.2349*(y(I)**3)-1.7607*(y(I)**2)+5.9914*y(I)+0.2004
Bi(I)=-0.1124*(y(I)**4)+1.1245*(y(I)**3)-4.2823*(y(I)**2)+
7.3555*y(I)+0.0601
Bim(I-1)=((Bi(I))+Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1)))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.32)THEN
A(I)=1.9*(y(I)**2)+15.09*y(I)-0.01

```

```

P(I)=4.2*y(I)+15.147
Bi(I)=3.69*y(I)+15.167
Bim(I-1)=((Bi(I)+(Bi(I-1))))/2
Am(I-1)=((A(I)+(A(I-1))))/2
Pm(I-1)=((P(I)+(P(I-1))))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.33)THEN
A(I)=1.52*(y(I)**2)+4.92*y(I)+0.04
P(I)=3.64*y(I)+4.91
Bi(I)=3.05*y(I)+4.9067
Bim(I-1)=((Bi(I)+(Bi(I-1))))/2
Am(I-1)=((A(I)+(A(I-1))))/2
Pm(I-1)=((P(I)+(P(I-1))))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.GE.34.AND.I.LE.35)THEN
A(I)=1.4*(y(I)**2)+5.54*y(I)-0.03
P(I)=3.52*y(I)+5.4133
Bi(I)=2.89*y(I)+5.43
Bim(I-1)=((Bi(I)+(Bi(I-1))))/2
Am(I-1)=((A(I)+(A(I-1))))/2
Pm(I-1)=((P(I)+(P(I-1))))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.GE.36.AND.I.LE.37)THEN
A(I)=1.42*(y(I)**2)+6.15*y(I)+0.01
P(I)=3.53*y(I)+6.0133
Bi(I)=2.9*y(I)+6.09
Bim(I-1)=((Bi(I)+(Bi(I-1))))/2
Am(I-1)=((A(I)+(A(I-1))))/2
Pm(I-1)=((P(I)+(P(I-1))))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.GE.38.AND.I.LE.39)THEN
A(I)=1.46*(y(I)**2)+4.91*y(I)+0.22
P(I)=3.56*y(I)+4.8633
Bi(I)=2.92*y(I)+4.9067
Bim(I-1)=((Bi(I)+(Bi(I-1))))/2
Am(I-1)=((A(I)+(A(I-1))))/2
Pm(I-1)=((P(I)+(P(I-1))))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.GE.40.AND.I.LE.42)THEN
A(I)=1.66*(y(I)**2)+6.41*y(I)+0.06
P(I)=3.92*y(I)+6.34
Bi(I)=3.36*y(I)+6.38
Bim(I-1)=((Bi(I)+(Bi(I-1))))/2
Am(I-1)=((A(I)+(A(I-1))))/2
Pm(I-1)=((P(I)+(P(I-1))))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.GE.43.AND.I.LE.45)THEN
A(I)=1.62*(y(I)**2)+4.71*y(I)+0.12
P(I)=3.79*y(I)+4.7367
Bi(I)=3.22*y(I)+4.73
Bim(I-1)=((Bi(I)+(Bi(I-1))))/2
Am(I-1)=((A(I)+(A(I-1))))/2
Pm(I-1)=((P(I)+(P(I-1))))/2

```



```

Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.GE.46.AND.I.LE.47)THEN
A(I)=1.5*(y(I)**2)+4.45*y(I)+0.03
P(I)=3.6*y(I)+4.45
Bi(I)=2.99*y(I)+4.4533
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.48)THEN
A(I)=1.6*(y(I)**2)+4.22*y(I)+0.2
P(I)=3.77*y(I)+4.2233
Bi(I)=3.19*y(I)+4.2267
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.49)THEN
A(I)=1.58*(y(I)**2)+3.95*y(I)-0.08
P(I)=3.71*y(I)+3.9567
Bi(I)=3.13*y(I)+3.9733
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.50)THEN
A(I)=1.44*(y(I)**2)+5.68*y(I)-0.02
P(I)=3.46*y(I)+5.72
Bi(I)=2.82*y(I)+5.74
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.51)THEN
A(I)=1.46*(y(I)**2)+4.37*y(I)-0.08
P(I)=3.54*y(I)+4.33
Bi(I)=2.92*y(I)+4.37
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.52)THEN
A(I)=1.34*(y(I)**2)+4.77*y(I)+0.1
P(I)=3.31*y(I)+4.8367
Bi(I)=2.63*y(I)+4.8233
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.53)THEN
A(I)=1.3*(y(I)**2)+5.21*y(I)+0.09
P(I)=3.28*y(I)+5.20
Bi(I)=2.6*y(I)+5.21

```

```

Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.54)THEN
A(I)=1.16*(y(I)**2)+4.82*y(I)+0.28
P(I)=3.07*y(I)+4.8467
Bi(I)=2.31*y(I)+4.8267
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.55)THEN
A(I)=0.96*(y(I)**2)+6*y(I)+0.26
P(I)=2.76*y(I)+6.06
Bi(I)=1.9*y(I)+6.01
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.56)THEN
A(I)=1.54*(y(I)**2)+5.39*y(I)+0.11
P(I)=3.72*y(I)+5.31
Bi(I)=3.13*y(I)+5.3367
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.57)THEN
A(I)=1.56*(y(I)**2)+4.46*y(I)-0.06
P(I)=3.7*y(I)+4.46
Bi(I)=3.1*y(I)+4.48
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.58)THEN
A(I)=1.46*(y(I)**2)+4.63*y(I)+0.05
P(I)=3.51*y(I)+4.6467
Bi(I)=2.89*y(I)+4.6567
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.59)THEN
A(I)=1.34*(y(I)**2)+5.09*y(I)-0.07
P(I)=3.35*y(I)+5.0633
Bi(I)=2.69*y(I)+5.0767
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.GE.60.AND.I.LE.61)THEN

```

```

A(I)=1.38*(y(I)**2)+4.69*y(I)+0.03
P(I)=3.39*y(I)+4.7167
Bi(I)=2.74*y(I)+4.72
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.62)THEN
A(I)=1.52*(y(I)**2)+4.7*y(I)+0.03
P(I)=3.68*y(I)+4.66
Bi(I)=3.09*y(I)+4.6533
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.63)THEN
A(I)=1.58*(y(I)**2)+4.79*y(I)+0.11
P(I)=3.69*y(I)+4.82
Bi(I)=3.11*y(I)+4.8333
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.64)THEN
A(I)=1.52*(y(I)**2)+4.42*y(I)+0.05
P(I)=3.64*y(I)+4.42
Bi(I)=3.03*y(I)+4.4333
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.65)THEN
A(I)=1.64*(y(I)**2)+4.36*y(I)-0.06
P(I)=3.83*y(I)+4.35
Bi(I)=3.26*y(I)+4.3767
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.66)THEN
A(I)=1.6*(y(I)**2)+4.48*y(I)+0.08
P(I)=3.77*y(I)+4.4733
Bi(I)=3.19*y(I)+4.4833
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.67)THEN
A(I)=1.7*(y(I)**2)+4.31*y(I)+0.12
P(I)=3.91*y(I)+4.34
Bi(I)=3.35*y(I)+4.35
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2

```

```

Pm(I-1)=((P(I))+P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1)))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.68)THEN
A(I)=1.58*(y(I)**2)+4.79*y(I)-0.01
P(I)=3.75*y(I)+4.7567
Bi(I)=3.17*y(I)+4.77
Bim(I-1)=((Bi(I))+Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1)))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.69)THEN
A(I)=1.7*(y(I)**2)+6.75*y(I)+0.03
P(I)=3.93*y(I)+6.7133
Bi(I)=3.38*y(I)+6.7433
Bim(I-1)=((Bi(I))+Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1)))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.70)THEN
A(I)=1.56*(y(I)**2)+4.94*y(I)+0.03
P(I)=3.72*y(I)+4.8933
Bi(I)=3.13*y(I)+4.9133
Bim(I-1)=((Bi(I))+Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1)))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.GE.71.AND.I.LE.74)THEN !Sifão Pirangí
A(I)=-0.3696*(y(I)**3)+1.3888*(y(I)**2)+0.8088*y(I)-0.0081
P(I)=0.9396*(y(I)**3)-3.5215*(y(I)**2)+5.9914*y(I)+0.1002
Bi(I)=-0.8951*(y(I)**4)+4.4718*(y(I)**3)-8.5128*(y(I)**2)+
7.3159*y(I)+0.0392
Bim(I-1)=((Bi(I))+Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1)))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.75)THEN
A(I)=1.44*(y(I)**2)+4.94*y(I)+0.15
P(I)=3.49*y(I)+4.9567
Bi(I)=2.86*y(I)+4.96
Bim(I-1)=((Bi(I))+Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1)))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.GE.76.AND.I.LE.77)THEN
A(I)=1.62*(y(I)**2)+3.83*y(I)+0.05
P(I)=3.82*y(I)+3.81
Bi(I)=3.25*y(I)+3.8167
Bim(I-1)=((Bi(I))+Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1)))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.78)THEN
A(I)=1.7*(y(I)**2)+3.51*y(I)-0.06

```

```

P(I)=3.96*y(I)+3.48
Bi(I)=3.42*y(I)+3.5
Bim(I-1)=((Bi(I))+Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.79)THEN
A(I)=1.74*(y(I)**2)+4.29*y(I)
P(I)=4.02*y(I)+4.27
Bi(I)=3.48*y(I)+4.29
Bim(I-1)=((Bi(I))+Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.80)THEN
A(I)=1.46*(y(I)**2)+5.05*y(I)+0.02
P(I)=3.57*y(I)+5.0133
Bi(I)=2.96*y(I)+5.01
Bim(I-1)=((Bi(I))+Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.81)THEN
A(I)=1.64*(y(I)**2)+4.32*y(I)+0.1
P(I)=3.88*y(I)+4.28
Bi(I)=3.33*y(I)+4.2667
Bim(I-1)=((Bi(I))+Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.82)THEN
A(I)=1.54*(y(I)**2)+4.49*y(I)+0.09
P(I)=3.67*y(I)+4.4933
Bi(I)=3.08*y(I)+4.49
Bim(I-1)=((Bi(I))+Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.83)THEN
A(I)=1.56*(y(I)**2)+4*y(I)-0.04
P(I)=3.71*y(I)+3.9767
Bi(I)=3.12*y(I)+4
Bim(I-1)=((Bi(I))+Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.84)THEN
A(I)=1.6*(y(I)**2)+4.98*y(I)+0.06
P(I)=3.77*y(I)+4.9767
Bi(I)=3.19*y(I)+4.9867
Bim(I-1)=((Bi(I))+Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+P(I-1)))/2

```

```

Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.85)THEN
A(I)=1.44*(y(I)**2)+5.38*y(I)+0.17
P(I)=3.54*y(I)+5.35
Bi(I)=2.92*y(I)+5.34
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.86)THEN
A(I)=1.96*(y(I)**2)+3.54*y(I)+0.08
P(I)=4.39*y(I)+3.5567
Bi(I)=3.9*y(I)+3.55
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.87)THEN
A(I)=1.6*(y(I)**2)+4.38*y(I)-0.03
P(I)=3.78*y(I)+4.35
Bi(I)=3.21*y(I)+4.3633
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.GE.88.AND.I.LE.89)THEN
A(I)=1.44*(y(I)**2)+4.88*y(I)+0.23
P(I)=3.51*y(I)+4.8433
Bi(I)=2.88*y(I)+4.88
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.GE.90.AND.I.LE.95)THEN
A(I)=1.68*(y(I)**2)+4.8*y(I)+0.09
P(I)=3.9*y(I)+4.82
Bi(I)=3.36*y(I)+4.8
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.GE.96.AND.I.LE.98)THEN
A(I)=1.56*(y(I)**2)+4.82*y(I)+0.02
P(I)=3.72*y(I)+4.79
Bi(I)=3.14*y(I)+4.79
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.GE.99.AND.I.LE.100)THEN
A(I)=1.48*(y(I)**2)+5.2*y(I)-0.01
P(I)=3.61*y(I)+5.1633
Bi(I)=3.01*y(I)+5.1533

```

```

Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(IEQ.101)THEN
A(I)=1.66*(y(I)**2)+4.59*y(I)+0.08
P(I)=3.86*y(I)+4.5833
Bi(I)=3.31*y(I)+4.6
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(IEQ.102)THEN
A(I)=1.58*(y(I)**2)+4.75*y(I)+0.21
P(I)=3.69*y(I)+4.8133
Bi(I)=3.11*y(I)+4.8033
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(IEQ.103)THEN
A(I)=1.38*(y(I)**2)+3.61*y(I)-0.02
P(I)=3.4*y(I)+3.6
Bi(I)=2.74*y(I)+3.6267
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(IEQ.104)THEN
A(I)=1.42*(y(I)**2)+4.37*y(I)-0.05
P(I)=3.47*y(I)+4.3533
Bi(I)=2.84*y(I)+4.3667
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(IEQ.105)THEN
A(I)=1.52*(y(I)**2)+4.24*y(I)+0.05
P(I)=3.68*y(I)+4.2
Bi(I)=3.09*y(I)+4.1933
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(IEQ.106)THEN
A(I)=1.3*(y(I)**2)+5.09*y(I)+0.05
P(I)=3.29*y(I)+5.0867
Bi(I)=2.61*y(I)+5.0967
Bim(I-1)=((Bi(I))+(Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+(A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+(P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(IGE.107.AND.ILE.108)THEN

```

```
A(I)=1.42*(y(I)**2)+4.31*y(I)+0.11
P(I)=3.51*y(I)+4.2767
Bi(I)=2.89*y(I)+4.2733
Bim(I-1)=((Bi(I))+Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ELSEIF(I.EQ.Nz)THEN !Açude Pacajus
A(I)=1.42*(y(I)**2)+4.31*y(I)+0.11
P(I)=3.51*y(I)+4.2767
Bi(I)=2.89*y(I)+4.2733
Bim(I-1)=((Bi(I))+Bi(I-1)))/2
Am(I-1)=((A(I))+A(I-1)))/2
Pm(I-1)=((P(I))+P(I-1)))/2
Rh(I-1)=((Am(I-1))/(Pm(I-1)))
ENDIF
ENDDO
RETURN
END
```

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMEIN, M. (1966), Stream Flow Routing on Computer by Characteristics, Water Research, vol 2, nº 1

AMEIN, M. & CHU, H.L. (1975), Implicit Numerical Modeling of Unsteady Flows, Journal of the Hydraulics Division, HY6

AMEIN, M. & FANG, C.S. (1970), Implicit Flood Routing in Natural Channels, Journal of the Hydraulics Division, HY12

CHAUDHRY, M. H. (1993) Open Channel Flow. Prentice Hall, New Jersey, 481p

CHOW, V. T. (1973), Open Channel Hydraulics, McGraw-Hill Book Company, 680p.

CUNGE, J. A.; HOLLY, F. & VERWEY, A. (1980), Practical Aspects of Computational Rivers Hydraulics. Pitman Publ. Ltd, London

CUNHA, A. (1993) Métodos Numéricos: Para as Engenharias e Ciências Aplicadas, Campinas SP, Editora da UNICAMP, Cap.3, p. 77-95.

DOOGE, J.C.I.(1986), Theory of Flood Routing, cap 3 – River Flow Modelling and Forecasting, Netherlands, D.Reidel

ESPÍNDOLA, E. L. G.; SILVA, J. S. V.; MARINELLI, C. E.; ABDON, M. M. (2000), A Bacia Hidrográfica do Monjolinho: Uma Abordagem Ecológica e a Visão Interdisciplinar, São Carlos SP. RIMA Editora, 184p.

FORTUNA, A. O. (2000), Técnicas Computacionais para Dinâmica dos Fluidos: Conceitos Básicos e Aplicações, EDUSP, 426p.

FREAD, D.L. (1973), Technique for Implicit Dynamic in River with Tributaries. Water Resources Research, vol 9, nº4

FRENCH, R. H. (1986) Open Channel Hydraulics. McGraw-Hill International Editions, New York, 705p

GRIJSEN, J.G (1986), River Flow Simulation, cap 9 – River Flow Modelling and Forecasting, Netherlands, D.Reidel

GUANARATNAM, D.J. (1970), Numerical Solution of Unsteady Flow in Open Channels, Tese Doutorado – Massachusetts Institute of Technology, 261p

HENDERSON, F. M (1966), Open Channel Flow, Macmillan Publishing, Inc, New York, 522p.

HROMADKA II, T.V. et al (1985), Computer Methods in Water Resources, Lighthouse Publitions

JORGENSEN, S. E.(1986), Fundamentals of Ecological Modelling. Copenhagen, Elsevier Science Publishers B. V.

LAI, C. (1988), Comprehensive Method of Characteristics Models for Flow Simulation, Journal of the Hydraulics Engineering, vol 114, nº 9

LIGGETT, J.A. e CUNGE, J.A. (1975), Unsteady Flow in Open Channels, Cap 4 – Volume I – editado por K.Mahmood e V.Yevjevich, 484p.

LIGHTHILL, M.J. & WHITHAM, G.B.(1955), On Kinematic Waves I: Flood Movement in long Rivers, Proc, Royal Society (London),A229:281-316

PONCE, V.M. et al (1978), Applicability of Kinematic and Diffusion Models, Journal of the Hydraulics Division, HY7

PONCE, V.M. et al (1978), Convergence of Four-Point Implicit Water Wave Models, Journal of the Hydraulics Division, HY7

PORTO, R. M. (1999), Hidráulica Básica, EESC-USP São Carlos SP – Projeto Reenge, 519p.

QUEIROZ, O.M. (1991), Propagação de Cheias: Aplicação do Modelo Onda Cinemática, Dissertação de Mestrado EESC-USP, 85p.

RAGAN, R.M. (1966), Laboratory Evaluation of a Numerical Flood Routing Technique for Channels Subject to Lateral Inflow, Water Resources Research, vol 2, nº1

RANGA RAJU, K.G. (1981), Flow Through Open Channels, McGraw-Hill Publishing Company Limited, 330p.

RIGHETTO, A. M. (1998), Hidrologia e Recursos Hídricos, EESC-USP São Carlos SP – Projeto Reenge, 819p.

STREETER, V.L. (1975), Mecânica dos Fluidos, McGraw Hill do Brasil Ltda., São Paulo, 736p

STREETER, V.L. et al (1978), Fluid Transiente, New York: McGraw-Hill International Book. Co 384p

TUCCI, C.E.M. (1986), Modelos Matemáticos em Hidrologia e Hidráulica, Revista Brasileira de Engenharia, ABRH, Tomo 2/3. 139 p.

TUCCI, C.E.M. (1987), Modelos Determinísticos, cap.3 – Métodos Numéricos em Recursos Hídricos, Rio de Janeiro, ABRH

TUCCI, C.E.M. (1998), Modelos Hidrológicos, Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – ABRH, 669p

WENDLAND, E. & RÜBER, O. (1998), Hydrogeologische Modelle. Lehrstuhl für Hydrogeologie, Ruhr-Universität Bochum, 141p

WOOLHISER, D.A. & LIGGETT, J.A. (1967), Unsteady one-dimensional flow over a plane – the rising hydrograph. Water Resources Research, 3, nº3, 753-771

WROBEL, L.C. (1989), Métodos Numéricos em Recursos Hídricos, Rio de Janeiro – ABRH, cap.1

Caso 1: Canal do Monjolinho (Seções características – esc.gráfica)

Caso 1: Canal da Usina Hidroelétrica Monjolinho (Equações de Geometria)**SEÇÕES 01 e 02**

nº pares	y(m)	p(m)	a(m ²)	B(m)		tipo da equação	correlação
5	0,2	1,19	0,17	0,91	p(m)	linear	1,0000
	0,4	1,61	0,36	1,06	a(m ²)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	0,6	2,04	0,59	1,21	B(m)	linear	1,0000
	0,8	2,47	0,85	1,36			
	1,0	2,90	1,14	1,51

SEÇÕES 03, 04 e 05

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
5	0,2	0,93	0,11	0,80	p(m)	polinomial (3ª ordem)	0,9993
	0,4	1,37	0,29	0,98	a(m2)	polinomial (3ª ordem)	1,0000
	0,6	1,77	0,49	0,98	B(m)	polinomial (2ª ordem)	0,9668
	0,8	2,21	0,67	0,80			
	1,0	3,14	0,79	0,00

SEÇÃO 06

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
5	0,2	1,19	0,17	0,91	p(m)	linear	1,0000
	0,4	1,61	0,36	1,06	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	0,9999
	0,6	2,04	0,59	1,21	B(m)	linear	1,0000
	0,8	2,47	0,85	1,36			
	1,0	2,89	1,13	1,51

SEÇÕES 07, 08 e 09

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
4	0,2	1,68	0,20	1,39	p(m)	linear	0,9623
	0,4	2,52	0,50	1,60	a(m2)	linear	0,9918
	0,6	3,32	0,80	1,39	B(m)	polinomial (2ª ordem)	0,9823
	0,8	5,02	1,00	0,00

SEÇÃO 10

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
5	0,2	1,09	0,13	0,90	p(m)	linear	1,0000
	0,4	1,52	0,32	1,04	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	0,9999
	0,6	1,95	0,53	1,17	B(m)	linear	0,9998
	0,8	2,37	0,78	1,31			
	1,0	2,79	1,05	1,45

SEÇÃO 11

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
8	0,2	1,21	0,17	0,92	p(m)	linear	1,0000
	0,4	1,64	0,37	1,05	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	0,6	2,05	0,59	1,18	B(m)	linear	1,0000
	0,8	2,47	0,84	1,31			
	1,0	2,89	1,11	1,44			
	1,2	3,32	1,42	1,57			
	1,4	3,74	1,74	1,70

SEÇÃO 12

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
6	0,2	1,28	0,19	1,01	p(m)	linear	1,0000
	0,4	1,71	0,40	1,17	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	0,6	2,14	0,65	1,33	B(m)	linear	1,0000
	0,8	2,57	0,94	1,49			
	1,0	3,00	1,25	1,65			
	1,2	3,44	1,60	1,81

SEÇÃO 13

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
7	0,2	1,37	0,20	1,06	p(m)	linear	1,0000
	0,4	1,78	0,42	1,17	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	0,6	2,20	0,67	1,28	B(m)	linear	1,0000
	0,8	2,61	0,94	1,39			
	1,0	3,03	1,22	1,50			
	1,2	3,44	1,53	1,61			
	1,4	3,86	1,87	1,72

SEÇÃO 14

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
7	0,2	1,21	0,17	0,91	p(m)	linear	1,0000
	0,4	1,62	0,36	1,03	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	0,6	2,04	0,58	1,14	B(m)	linear	0,9999
	0,8	2,46	0,82	1,26			
	1,0	2,88	1,08	1,38			
	1,2	3,29	1,37	1,50			
	1,4	3,71	1,68	1,62

SEÇÃO 15

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
6	0,2	1,26	0,18	0,96	p(m)	linear	1,0000
	0,4	1,68	0,38	1,06	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	0,6	2,10	0,61	1,17	B(m)	linear	0,9998
	0,8	2,51	0,85	1,28			
	1,0	2,93	1,12	1,38			
	1,2	3,34	1,40	1,49

SEÇÃO 16

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
5	0,2	1,23	0,18	0,97	p(m)	linear	1,0000
	0,4	1,67	0,39	1,15	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	0,6	2,11	0,64	1,33	B(m)	linear	0,9999
	0,8	2,55	0,92	1,51			
	1,0	2,99	1,24	1,70

SEÇÕES 17, 18 e 19

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
6	0,2	1,22	0,17	0,96	p(m)	linear	1,0000
	0,4	1,66	0,38	1,13	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	0,6	2,09	0,63	1,30	B(m)	linear	1,0000
	0,8	2,53	0,90	1,47			
	1,0	2,96	1,21	1,64			
	1,2	3,40	1,56	1,81

SEÇÃO 20

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
7	0,2	1,22	0,17	0,94	p(m)	linear	1,0000
	0,4	1,66	0,38	1,09	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	0,6	2,09	0,63	1,24	B(m)	linear	1,0000
	0,8	2,53	0,90	1,39			
	1,0	2,96	1,21	1,54			
	1,2	3,40	1,56	1,69			
	1,4	3,78	1,84	1,84

SEÇÃO 21

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
7	0,2	1,50	0,23	1,20	p(m)	linear	1,0000
	0,4	1,91	0,48	1,31	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	0,6	2,33	0,75	1,43	B(m)	linear	0,9998
	0,8	2,74	1,05	1,55			
	1,0	3,16	1,37	1,66			
	1,2	3,58	1,71	1,78			
	1,4	4,00	2,08	1,89

SEÇÃO 22

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
6	0,2	1,46	0,22	1,18	p(m)	linear	1,0000
	0,4	1,89	0,48	1,35	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	0,6	2,32	0,76	1,50	B(m)	linear	0,9997
	0,8	2,75	1,08	1,67			
	1,0	3,18	1,43	1,82			
	1,2	3,61	1,81	1,98

SEÇÕES 23, 24 e 25

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
6	0,2	1,22	0,17	0,95	p(m)	linear	1,0000
	0,4	1,65	0,38	1,11	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	0,6	2,08	0,62	1,27	B(m)	linear	1,0000
	0,8	2,51	0,89	1,43			
	1,0	2,94	1,19	1,59			
	1,2	3,37	1,52	1,75

SEÇÃO 26

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
7	0,2	1,08	0,14	0,80	p(m)	linear	1,0000
	0,4	1,50	0,32	0,94	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	0,6	1,93	0,52	1,09	B(m)	linear	0,9999
	0,8	2,35	0,76	1,24			
	1,0	2,78	1,02	1,38			
	1,2	3,21	1,31	1,53			
	1,4	3,63	1,63	1,68

SEÇÃO 27

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
6	0,2	1,10	0,15	0,83	p(m)	linear	1,0000
	0,4	1,54	0,33	1,00	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	0,6	1,97	0,55	1,17	B(m)	linear	0,9999
	0,8	2,40	0,80	1,33			
	1,0	2,84	1,08	1,50			
	1,2	3,27	1,40	1,67

SEÇÃO 28

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
8	0,2	2,35	0,39	1,95	p(m)	linear	1,0000
	0,4	2,75	0,78	1,95	a(m2)	linear	1,0000
	0,6	3,15	1,17	1,95			
	0,8	3,55	1,56	1,95			
	1,0	3,95	1,95	1,95			
	1,2	4,35	2,34	1,95			
	1,4	4,75	2,73	1,95			
	1,6	5,15	3,12	1,95

SEÇÃO 29

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)	p(m) a(m2)	tipo da equação	correlação
11	0,2	3,25	0,57	2,85	p(m) a(m2)	linear	1,0000
	0,4	3,65	1,14	2,85		linear	1,0000
	0,6	4,05	1,71	2,85			
	0,8	4,45	2,28	2,85			
	1,0	4,85	2,85	2,85			
	1,2	5,25	3,42	2,85			
	1,4	5,65	3,99	2,85			
	1,6	6,05	4,56	2,85			
	1,8	6,45	5,13	2,85			
	2,0	6,85	5,70	2,85			
	2,2	7,25	6,27	2,85

SEÇÃO 30

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)	p(m) a(m2)	tipo da equação	correlação
11	0,2	3,81	0,68	3,41		linear	1,0000
	0,4	4,21	1,36	3,41		linear	1,0000
	0,6	4,61	2,05	3,41			
	0,8	5,01	2,73	3,41			
	1,0	5,41	3,41	3,41			
	1,2	5,81	4,09	3,41			
	1,4	6,21	4,77	3,41			
	1,6	6,61	5,46	3,41			
	1,8	7,01	6,14	3,41			
	2,0	7,41	6,82	3,41			
	2,2	7,81	7,50	3,41

Caso 2: Canal do Trabalhador (Seções características – esc.gráfica)

Caso 2: Canal do Trabalhador (Equações de Geometria)**SEÇÕES 01, 02, 03 e 04**

nº pares	y(m)	p(m)	a(m ²)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	5,87	2,33	5,61	p(m)	linear	1,0000
	1,0	7,77	5,53	7,22	a(m ²)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	9,66	9,54	8,84	B(m)	linear	1,0000

SEÇÕES 05 e 06

sifão macacos

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)	p(m)	tipo da equação	correlação
11	0,00	0,00	0,00	0,00	p(m)	polinomial (3ª ordem)	0,9968
	0,25	1,61	0,26	1,50	a(m2)	polinomial (3ª ordem)	1,0000
	0,50	2,32	0,69	2,00	B(m)	polinomial (4ª ordem)	0,9949
	0,75	2,89	1,24	2,29			
	1,00	3,42	1,83	2,44			
	1,25	3,92	2,45	2,50			
	1,50	4,43	3,07	2,44			
	1,75	4,95	3,67	2,29			
	2,00	5,53	4,21	2,00			
	2,25	6,24	4,65	1,50			
	2,50	7,85	4,91	0,00

SEÇÕES 07, 08, 09 e 10

nº pares	y(m)	p(m)	a(m ²)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	5,89	2,38	5,60	p(m)	linear	1,0000
	1,0	7,70	5,55	7,10	a(m ²)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	9,50	9,48	8,60	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 11

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	5,40	2,14	5,13	p(m)	linear	1,0000
	1,0	7,39	5,14	6,84	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	9,37	8,99	8,55	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 12

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,08	2,69	5,78	p(m)	linear	1,0000
	1,0	7,94	5,98	7,34	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	9,80	10,04	9,65	B(m)	polinomial (2ª ordem)	1,0000

SEÇÕES 13 e 14

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	7,02	2,81	6,75	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,76	6,54	8,17	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,50	10,98	9,59	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 15

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,25	2,64	5,99	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,21	6,06	7,66	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,16	10,31	9,34	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 16

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,69	2,77	6,39	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,50	6,34	7,90	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,31	10,67	9,41	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 17

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,82	2,91	6,51	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,64	6,55	8,04	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,46	10,95	9,56	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 18

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,86	2,97	6,56	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,70	6,63	8,10	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,53	11,06	9,64	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 19

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	13,10	6,01	12,82	p(m)	linear	1,0000
	1,0	15,12	12,86	14,58	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	17,15	20,59	16,34	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 20

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	7,37	3,31	7,06	p(m)	linear	1,0000
	1,0	9,23	7,23	8,62	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	11,08	11,93	10,18	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 21

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	10,97	4,88	10,67	p(m)	linear	1,0000
	1,0	12,77	10,59	12,17	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	14,57	17,05	13,66	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 22

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,52	2,68	6,25	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,49	6,23	7,95	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,46	10,63	9,65	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 23

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	7,29	3,24	6,94	p(m)	linear	1,0000
	1,0	9,15	7,09	8,50	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	11,03	11,74	10,10	B(m)	linear	0,9999

SEÇÃO 24

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,81	2,85	6,54	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,63	6,50	8,07	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,46	10,91	9,59	B(m)	linear	1,0000

SEÇÕES 25 e 26

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,17	2,46	5,90	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,06	5,81	7,51	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	9,96	9,97	9,12	B(m)	linear	1,0000

SEÇÕES 27, 28, 29, 30 e 31

sifão umburanas

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
	0,00	0,00	0,00	0,00	p(m)	polinomial (3ª ordem)	0,9968
	0,50	3,22	0,52	3,00	a(m2)	polinomial (3ª ordem)	1,0000
	1,00	4,64	1,38	4,00	B(m)	polinomial (4ª ordem)	0,9949
	1,50	5,78	2,48	4,58			
	2,00	6,84	3,66	4,88			
11	2,50	7,84	4,90	5,00			
	3,00	8,86	6,14	4,88			
	3,50	9,90	7,34	4,58			
	4,00	11,06	8,42	4,00			
	4,50	12,48	9,30	3,00			
	5,00	15,70	9,82	0,00

SEÇÃO 32

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	17,22	8,01	16,98	p(m)	linear	0,9995
	1,0	19,40	16,98	18,92	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	21,42	26,90	20,67	B(m)	linear	0,9991

SEÇÃO 33

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,72	2,88	6,42	p(m)	linear	0,9999
	1,0	8,57	6,48	7,98	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,36	10,84	9,47	B(m)	linear	0,9998

SEÇÕES 34 e 35

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	7,16	3,09	6,86	p(m)	linear	0,9998
	1,0	8,96	6,91	8,35	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,68	11,43	9,75	B(m)	linear	0,9997

SEÇÕES 36 e 37

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	7,78	3,44	7,54	p(m)	linear	1,0000
	1,0	9,54	7,58	8,99	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	11,31	12,43	10,44	B(m)	linear	1,0000

SEÇÕES 38 e 39

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,64	3,04	6,36	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,43	6,59	7,84	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,20	10,87	9,28	B(m)	linear	0,9999

SEÇÕES 40, 41 e 42

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	8,30	3,68	8,06	p(m)	linear	1,0000
	1,0	10,26	8,13	9,74	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	12,22	13,41	11,42	B(m)	linear	1,0000

SEÇÕES 43, 44 e 45

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,63	2,88	6,34	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,53	6,45	7,95	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,42	10,83	9,56	B(m)	linear	1,0000

SEÇÕES 46 e 47

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,25	2,63	5,95	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,05	5,98	7,44	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	9,85	10,08	8,94	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 48

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,11	2,71	5,82	p(m)	linear	1,0000
	1,0	7,99	6,02	7,42	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	9,88	10,13	9,01	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 49

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	5,81	2,29	5,54	p(m)	linear	1,0000
	1,0	7,67	5,45	7,10	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	9,52	9,40	8,67	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 50

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	7,45	3,18	7,15	p(m)	linear	1,0000
	1,0	9,18	7,10	8,56	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,91	11,74	9,97	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 51

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,10	2,47	5,83	p(m)	linear	1,0000
	1,0	7,87	5,75	7,29	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	9,64	9,76	8,75	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 52

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,49	2,82	6,14	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,15	6,21	7,45	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	9,80	10,27	8,77	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 53

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,84	3,02	6,51	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,48	6,60	7,81	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,12	10,83	9,11	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 54

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,38	2,98	5,98	p(m)	linear	1,0000
	1,0	7,92	6,26	7,14	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	9,45	10,12	8,29	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 55

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	7,44	3,50	6,96	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,82	7,22	7,91	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,20	11,42	8,86	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 56

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	7,17	3,19	6,90	p(m)	linear	1,0000
	1,0	9,03	7,04	8,47	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,89	11,66	10,03	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 57

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,31	2,56	6,03	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,16	5,96	7,58	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,01	10,14	9,13	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 58

nº pares	y(m)	p(m)	a(m ²)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,40	2,73	6,10	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,16	6,14	7,55	a(m ²)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	9,91	10,28	8,99	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 59

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,74	2,81	6,42	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,41	6,36	7,77	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,09	10,58	9,11	B(m)	linear	1,0000

SEÇÕES 60 e 61

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,41	2,72	6,09	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,11	6,10	7,46	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	9,80	10,17	8,83	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 62

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,50	2,76	6,20	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,34	6,25	7,74	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,18	10,50	9,29	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 63

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,66	2,90	6,38	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,52	6,48	7,96	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,35	10,85	9,49	B(m)	linear	0,9999

SEÇÃO 64

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,24	2,64	5,95	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,06	5,99	7,46	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	9,88	10,10	8,98	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 65

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,26	2,53	6,00	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,19	5,94	7,65	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,09	10,17	9,26	B(m)	linear	0,9999

SEÇÃO 66

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,35	2,72	6,07	p(m)	linear	0,9999
	1,0	8,26	6,16	7,69	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,12	10,40	9,26	B(m)	linear	0,9999

SEÇÃO 67

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,29	2,70	6,02	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,26	6,13	7,71	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,20	10,41	9,37	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 68

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,63	2,78	6,35	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,51	6,36	7,95	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,38	10,73	9,52	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 69

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	8,65	3,83	8,40	p(m)	linear	0,9994
	1,0	10,70	8,48	10,19	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	12,58	13,98	11,78	B(m)	linear	0,9988

SEÇÃO 70

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,73	2,89	6,45	p(m)	linear	0,9995
	1,0	8,66	6,53	8,10	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,45	10,95	9,58	B(m)	linear	0,9990

SEÇÕES 71, 72, 73 e 74

sifão pirangí

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
	0,00	0,00	0,00	0,00	p(m)	polinomial (3ª ordem)	0,9968
	0,25	1,61	0,26	1,50	a(m2)	polinomial (3ª ordem)	1,0000
	0,50	2,32	0,69	2,00	B(m)	polinomial (4ª ordem)	0,9949
	0,75	2,89	1,24	2,29			
	1,00	3,42	1,83	2,44			
11	1,25	3,92	2,45	2,50			
	1,50	4,43	3,07	2,44			
	1,75	4,95	3,67	2,29			
	2,00	5,53	4,21	2,00			
	2,25	6,24	4,65	1,50			
	2,50	7,85	4,91	0,00

SEÇÃO 75

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,70	2,98	6,39	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,45	6,53	7,82	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,19	10,80	9,25	B(m)	linear	1,0000

SEÇÕES 76 e 77

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	5,72	2,37	5,44	p(m)	linear	1,0000
	1,0	7,63	5,50	7,07	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	9,54	9,44	8,69	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 78

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	5,46	2,12	5,21	p(m)	linear	1,0000
	1,0	7,44	5,15	6,92	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	9,42	9,03	8,63	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 79

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,28	2,58	6,03	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,29	6,03	7,77	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,30	10,35	9,51	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 80

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,80	2,91	6,49	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,58	6,53	7,97	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,37	10,88	9,45	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 81

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,22	2,67	5,93	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,16	6,06	7,60	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,10	10,27	9,26	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 82

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,33	2,72	6,03	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,16	6,12	7,57	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,00	10,29	9,11	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 83

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	5,83	2,35	5,56	p(m)	linear	1,0000
	1,0	7,69	5,52	7,12	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	9,54	9,47	8,68	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 84

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,86	2,95	6,58	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,75	6,64	8,18	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,63	11,13	9,77	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 85

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	7,12	3,22	6,80	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,89	6,99	8,26	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,66	11,48	9,72	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 86

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	5,75	2,34	5,50	p(m)	linear	1,0000
	1,0	7,95	5,58	7,45	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,14	9,80	9,40	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 87

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,24	2,56	5,97	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,13	5,95	7,57	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,02	10,14	9,18	B(m)	linear	1,0000

SEÇÕES 88 e 89

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,60	3,03	6,32	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,35	6,55	7,76	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,11	10,79	9,20	B(m)	linear	1,0000

SEÇÕES 90, 91, 92, 93, 94 e 95

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,77	2,91	6,48	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,72	6,57	8,16	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,67	11,07	9,84	B(m)	linear	1,0000

SEÇÕES 96, 97 e 98

nº pares	y(m)	p(m)	a(m ²)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,65	2,82	6,36	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,51	6,40	7,93	a(m ²)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,37	10,76	9,50	B(m)	linear	1,0000

SEÇÕES 99 e 100

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,97	2,96	6,66	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,77	6,67	8,16	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,58	11,12	9,67	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 101

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,51	2,79	6,25	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,45	6,33	7,92	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,37	10,70	9,56	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 102

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,66	2,98	6,36	p(m)	linear	1,0000
	1,0	8,50	6,54	7,91	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,35	10,89	9,47	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 103

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	5,30	2,13	5,00	p(m)	linear	1,0000
	1,0	7,00	4,97	6,36	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	8,70	8,50	7,74	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 104

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,09	2,49	5,79	p(m)	linear	1,0000
	1,0	7,82	5,74	7,20	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	9,56	9,70	8,63	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 105

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,04	2,55	5,74	p(m)	linear	1,0000
	1,0	7,88	5,81	7,28	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	9,72	9,83	8,83	B(m)	linear	1,0000

SEÇÃO 106

nº pares	y(m)	p(m)	a(m ²)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,74	2,92	6,41	p(m)	linear	0,9999
	1,0	8,36	6,44	7,69	a(m ²)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	10,03	10,61	9,02	B(m)	linear	0,9999

SEÇÕES 107, 108 e 109

nº pares	y(m)	p(m)	a(m2)	B(m)		tipo da equação	correlação
3	0,5	6,04	2,62	5,73	p(m)	linear	0,9999
	1,0	7,77	5,84	7,14	a(m2)	polinomial (2ª ordem)	1,0000
	1,5	9,55	9,77	8,62	B(m)	linear	0,9998