



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL

TRABALHO DE LICENCIATURA

**PROPOSTA DE UMA FERRAMENTA DE CÁLCULO
PARA DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE
DESCARREGADOR EM LABIRINTO**

AUTOR

Irson Regélia Narciso Pedro

SUPERVISOR

Professor Doutor Dinis Juízo, Eng

Maputo, Julho de 2024



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA

CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL

TRABALHO DE LICENCIATURA

**PROPOSTA DE UMA FERRAMENTA DE CÁLCULO PARA DIMENSIONAMENTO
HIDRÁULICO DE DESCARREGADOR EM LABIRINTO**

AUTOR

Irson Regélia Narciso Pedro

SUPERVISOR

Professor Doutor Dinis Juízo, Eng

Maputo, Julho de 2024



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DO TRABALHO DE LICENCIATURA

Declaro que a estudante **Irson Regélia Narciso Pedro** entregou no dia ___ / ___ / 20___
as ___ cópias do relatório do seu Trabalho de Licenciatura com a referência:
_____intitulado: **Proposta de uma ferramenta de cálculo para
dimensionamento hidráulico de descarregador em labirinto.**

Maputo, ___ de _____ de 20___

A Chefe da Secretaria

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à memória do meu amado avô Narciso Pedro e da minha querida prima Larissa Adérito Muendane cujo apoio e amor sempre foram uma fonte de inspiração e força em minha jornada acadêmica. Sua presença é eternamente sentida e sua sabedoria continua a me guiar.

AGRADECIMENTOS

Primeiro, agradeço a Deus, fonte de toda inspiração e força, por guiar meus passos ao longo desta jornada de aprendizagem e realização. Sem sua graça e orientação, nada seria possível.

À Faculdade de Engenharia da UEM, agradeço sinceramente pela valiosa oportunidade de trilhar o caminho do conhecimento e do crescimento profissional.

Aos meus avós, Narciso Pedro, Maria Zaqueu e Filomena dedico este trabalho em reconhecimento à base sólida que me proporcionaram. Seu amor e ensinamentos foram fundamentais na minha formação.

Aos meus pais, Ludgério Narciso Pedro e Regélia Cesário, expresso minha gratidão por serem fontes inesgotáveis de inspiração e motivação. Suas palavras de incentivo e apoio constante foram a força que impulsionou meus passos.

Aos meus irmãos, Aider dos Santos, Cirlo Pedro, Cristiano dos Santos, e principalmente Narciso Gerson, meu gêmeo, compartilho este momento com carinho, a nossa conexão é um alicerce sólido que sustentou minha jornada.

Ao supervisor, Professor Dinis Juízo, e ao Prof. Clemêncio Nhantumbo, agradeço pela orientação valiosa, paciência e sabedoria compartilhadas ao longo deste percurso acadêmico.

Ao professor Maguirimussa da Escola Secundária 29 de Setembro da Maxixe, minha gratidão pela influência que teve na minha escolha profissional. Seu impacto foi determinante para trilhar este caminho.

Aos professores Alexandra Neves, Carlos Caupers, Daniel Balói, Dinis Juízo, Jorge Pindula, Omar Khan, Pedro Sing Sang, expresso minha admiração e gratidão pelas lições enriquecedoras e pelo conhecimento compartilhado.

Aos colegas e amigos: António Mavie, Cacilda Sónia, Dete Hans, Ernesto Tafula, Éric Faftine, Ivan Folige, Jorge Mabote, Kevin Bila, Layla Matavel, Luis Nhantumbo, Nilza Rai, Nunes Churana, Rai Ngale, Telúrio Mapsanganhe, Valdimiro Alberto, Yara Raviua, meu profundo agradecimento pela companhia, apoio mútuo e momentos compartilhados ao longo dessa jornada desafiadora.

Aos meus tios, primos, sobrinhos e todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para minha formação e realização acadêmica, meu mais sincero obrigado. Este trabalho é dedicado a cada um de vocês, com profunda gratidão e carinho.

RESUMO

Este trabalho aborda a elaboração de uma ferramenta de cálculo para o dimensionamento hidráulico de descarregadores de soleira labiríntica, visando proporcionar uma compreensão aprofundada e abrangente do processo. Numa abordagem introdutória destaca-se a importância dessas estruturas na gestão de fluxos de água e ressalta-se a complexidade inerente ao seu dimensionamento. A metodologia empregada é de natureza aplicada com objectivos exploratórios, visando desenvolver uma ferramenta nova. A pesquisa seguiu uma abordagem qualitativa fundamentando na pesquisa bibliográfica, com colecta e análise detalhada das curvas de vazão e estudo dos principais parâmetros hidráulicos. O objectivo principal da tese é de elaborar uma ferramenta de cálculo para dimensionamento hidráulico de descarregadores de soleira labiríntica.

No desenvolvimento, a dissertação explorou conhecimentos acerca do funcionamento do descarregador labiríntico e abordou os estudos e recomendações dos principais pesquisadores sobre o assunto. Posteriormente, foi apresentado o processo de modelação da ferramenta de cálculo e o seu guia de utilização. A ferramenta de cálculo possui a capacidade de gerar dimensionamentos com devido controlo de eficiência e viabilidade de custo, aplicando diferentes conhecimentos para garantir robustez e fiabilidade na ferramenta.

A dissertação chegou à conclusão de que o modelo matemático aplicado na ferramenta de cálculo mostrou-se eficaz, alinhando-se com a teoria e parâmetros da literatura. A análise das curvas de vazão destacou o ábaco de Magalhães & Melo como o mais robusto e prático. O parâmetro C_v provou ser crucial para a viabilidade económica, mostrando uma redução significativa nos custos. No entanto, o uso de equações empíricas resultou em soluções conservadoras e possíveis sobredimensionamentos. No entanto, foi capaz de gerar resultados e tendências que se alinham plenamente com a teoria, destacando o potencial diversificado do modelo. Sua contribuição representa um avanço significativo na engenharia hidráulica, oferecendo conhecimentos valiosos e promovendo a evolução dos projectos nessa área.

Palavras chave - Dimensionamento hidráulico; Soleira labiríntica; Curvas de vazão; ferramenta de cálculo; Parâmetros de dimensionamento.

ABSTRACT

This work addresses the development of a calculation tool for the hydraulic design of labyrinth weirs, aiming to provide a comprehensive and in-depth understanding of the process. An introductory approach highlights the importance of these structures in water flow management and underscores the inherent complexity of their design. The employed methodology applied in nature with exploratory objectives, aiming to develop an innovative tool. The research followed a qualitative approach based on bibliographic research, with detailed collection and analysis of discharge curves and the study of key hydraulic parameters. The primary objective of the thesis is to develop a calculation tool for the hydraulic design of labyrinth weirs.

During the development, the dissertation explored knowledge about the operation of labyrinth weirs and addressed the studies and recommendations of the main researchers on the subject. Subsequently, the process of modelling the calculation tool and creating its user guide was presented. The calculation tool has the capacity to generate designs with proper efficiency control and cost viability, applying diverse knowledge to ensure robustness and reliability in the tool.

The dissertation concluded that the mathematical model applied in the calculation tool proved to be effective, aligning with the theory and parameters found in the literature. The analysis of the discharge curves highlighted the abacus of Magalhães & Melo as the most robust and practical. The CV parameter proved to be crucial for economic viability, showing a significant reduction in costs. However, the use of empirical equations resulted in conservative solutions and possible over-dimensioning. Nonetheless, it was capable of generating results and trends that fully align with the theory, highlighting the model's versatile potential. Its contribution represents a significant advance in hydraulic engineering, offering valuable insights and promoting the evolution of projects in this field.

Keywords: Hydraulic design; Labyrinth weir; Discharge curves; Calculation tool; Design parameter

INDICE

DEDICATÓRIA	I
AGRADECIMENTOS	II
RESUMO	III
ABSTRACT	IV
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE QUADROS	XI
LISTA DE TABELA	XII
1 Introdução	1
1.1 Contextualização	1
1.2 Objectivo e Metodologia	2
1.2.1 Objectivo Geral	2
1.2.2 Objectivos específicos	2
1.2.3 Metodologia	2
1.3 Estrutura da dissertação	3
2 REVISÃO BIBLOGRÁFICA	4
2.1 Descarregadores de cheia	4
2.1.1 Tipos e classificação de descarregadores	5
2.2 Descarregador de cheias em canal de encosta	6
2.3 Descarregador em labirinto	7
2.3.1 Vantagens e desvantagens dos descarregadores em labirinto	8
2.4 Desenvolvimento Analítico	10
2.4.1 Derivação da Equação de descarga	11
2.5 Características geométricas	12
2.5.1 Formas de crista	12
2.5.2 Parâmetros principais dos descarregadores em labirinto	13
2.5.3 Tipos de perfil para crista	16

2.6	Interferência dos fluxos adjacentes	20
2.7	Aeração	22
2.8	Oscilação da veia líquida.....	24
2.9	Configuração e orientação do canal de descarga	25
2.10	Submersão	26
2.11	Dissipação de energia	27
2.12	Principais estudos feitos.....	27
2.12.1	Primeiras abordagens [1909-1955].....	28
2.12.2	Estudos Hay e Taylor [1968-1970]	28
2.12.3	. Darvas [1971]	29
2.12.4	Hinchliff, Houston e Lux [1984-1985].....	30
2.12.5	Magalhães e Lorena [1985-1989].....	32
2.12.6	Tullis, Amanian e Waldron [1987-1995].....	33
2.12.7	Melo, Ramos e Magalhães [2000-2002].....	34
2.12.8	Tullis, Young e Chandler [2005-2007]	34
2.13	Parâmetros de projecto	36
2.13.1	Afogamento (H_0/P).....	36
2.13.2	Razão de largura de módulo (w/P).	36
2.13.3	Razão de ampliação (l/w)	37
2.13.4	Razão de Espessura Relativa (P/t).....	37
2.13.5	Razão do ápice (A/w).	37
2.13.6	Proporção de Comprimento de Interferência (L_{de}/L_1)	38
3	MODELAÇÃO DA FERRAMENTA DE CÁLCULO PARA DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE DESCARREGADOR EM LABIRINTO.....	39
3.1	Procedimentos para o dimensionamento	39
3.1.1	Limitações do modelo.....	44
3.2	Apresentação da ferramenta de cálculo.	44
3.2.1	Descrição detalhada das planilhas	45

3.2.2 Exemplo de a aplicação.....	54
4 CONCLUSÃO	57
5 RECOMENDAÇÕES.....	59
6 BIBLIOGRAFIA	60
6.1 Referências bibliográficas.....	60
ANEXOS	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

A	metade do comprimento da parede perpendicular ao escoamento	[m]
α	ângulo que a parede longitudinal do descarregador faz com o sentido do escoamento	[°]
α_{max}	ângulo máximo que a parede longitudinal do descarregador faz com o sentido do escoamento	[°]
B	comprimento da parede longitudinal do descarregador em labirinto	[m]
C_d	coeficiente de vazão de um descarregador linear	[-]
C_r	coeficiente de perturbação	[-]
C_T	coeficiente de vazão do método de Tullis et al.	[-]
C_W	coeficiente de vazão do método de Darvas	[-]
C_x	coeficiente de vazão do método de Lux e Hinchliff	[-]
D	lado externo do vértice	[m]
ε	Eficácia	[-]
G	aceleração da gravidade	[m/s ²]
H	altura piezométrica.	[m]
H_T	carga total	[m]
H_j	carga de jusante de projecto	[m]
h_m	a profundidade do fluxo medida sobre a barragem	[m]
H_o	Carga hidráulica de operação	[m]
K	coeficiente de forma da crista	[-]
L	comprimento de um módulo da crista	[m]
L	Comprimento Efetivo do descarregador	[m]
L_1	Comprimento do Braço	[m]
L_2	Comprimento Efetivo do Braço	[m]
L_3	Comprimento total da Crista	[m]
L_d	comprimento de turbulência	[m]
l_d	comprimento de interferência	[m]
M	Razão de ampliação	[-]
N	número de módulos de um descarregador em labirinto	[-]
P	altura do descarregador	[m]
P_C	pressão na soleira	[N/m ²]
Q	caudal afluente	[m ³ /s]
Q_x	caudal escoado por módulo no método de Lux e Hinchliff	[m ³ /s]
Q_L	caudal escoado por um descarregador em labirinto de largura W	[m ³ /s]
Q_N	caudal escoado por um descarregador linear de largura W	[m ³ /s]
R	raio de curvatura do perfil da soleira	[m]
V	velocidade de escoamento afluente	[m/s]
W	largura de um módulo de um descarregador em labirinto	[m]

SIGLAS

ONU	Organização das Nações Unidas
NMC	Nível máximo de cheias
NPA	Nível de pleno armazenamento

PDF	Portable Document Format
PNG	Portable Network Graphic
USBR	United States Bureau of Reclamation
WES	Waterways Experiment Station

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Descarregador em labirinto da barragem de Brazos, Texas, USA	4
Figura 2- Descarregador de cheias de canal de encosta. (a) Planta esquemática; (b) Perfil esquemático.....	6
Figura 3- Derivação da equação de descarga em labirinto	11
Figura 4- Formas de descarregadores de labirinto	12
Figura 5- Configuração que descreve as diretrizes gerais dos parâmetros principais do descarregadores.....	13
Figura 6- Tipos de Crista de descarregadores em labirinto.....	16
Figura 7- Coeficiente de descarga para um perfil de quarto de volta. de Tullis, J.P, Nosratollah, A. e Waldron, D (1995).....	17
Figura 8- Definição das condições de fluxo de crista.	18
Figura 9- Coeficiente de descarga: perfil semicircular após Rouve , G., e Indlekofer , H., (1974).....	19
Figura 10- Perfil da crista Ogiva de Magalhães , AP, (1985). "Descarregador Labirinto do Aterro Sanitário.	19
Figura 11- Coeficiente de descarga para um perfil Lâmina vertente	20
Figura 12- Interferência da lâmina vertente em descarregador labirinto proposta por Indlekofer e rouvé (1975), apud falvey (2003).....	21
Figura 13- Dependência do comprimento de perturbação do ângulo da parede lateral.....	21
Figura 14- Representação gráfica dos efeitos de interferência	22
Figura 15- Configuração proposto por melo et al. (2002) para descarregadores labirinto com apenas um módulo.....	25
Figura 16- locação e orientação do descarregador labirinto proposta por Houston(1983).....	26
Figura 17- Planos de geometrias de descarregadores em labirinto testadas por Gentilini (1941) apud (Hager, Schleiss, Boes, & Pfister, 1998).	28

Figura 18- Parâmetros definidos por Tullis et al. (2007) para as condições de escoamento livre e submerso.....	35
Figura 19- Comparação entre as curvas de vazão	42
Figura 20- Extracto da tabela 1 da 1ª Planilha e Curva das áreas inundada gerada automaticamente.....	45
Figura 21- Extracto da tabela da Capacidade de armazenamento na planilha 1.	46
Figura 22- Extracto da tabela auxiliar a tabela do inicio da descarga, na planilha nº1	46
Figura 23 - Extracto da tabela do Inicio da descarga na planilha nº1	46
Figura 24- Extracto da planilha nº2	47
Figura 25 - Extracto da planilha nº 3	47
Figura 26 - Extracto das tabelas a esquerda planilha nº 4	48
Figura 27 - Extracto da tabela para determinação do caudal de projecto na planilha nº 4.....	49
Figura 28 - Extracto do Hidrograma de projecto na planilha nº 4	49
Figura 29 - Extracto da tabela auxiliar e Curva auxiliar na planilha nº 5	50
Figura 30- Extracto da tabela principal na planilha nº 5	51
Figura 31 - Extracto da planilha nº 6	53
Figura 32 - Extracto da planilha nº 7	54
Figura A.2- 1- Curva de Hay & Taylor (1970) para soleira triangular	A.2-1
Figura A.2- 2- Curva de Hay & Taylor (1970) para soleira trapezoidal.....	A.2-2
Figura A.2- 3- Curva de Darvas (1970) (adaptado).....	A.2-3
Figura A.2- 4- Curva de Magalhães e Lorena (1989)	A.2-4
Figura A.2- 5- Curva de Lux & Hinchliff (1985) para soleira triangular	A.2-5
Figura A.2- 6- Curva de Lux & Hinchliff (1985) para soleira trapezoidal.....	A.2-6
Figura A.2- 7 - Curva de Tullis (1995)	A.2-7
Figura A.2- 8 - Magalhães & Melo (2002)	A.2-8
Figura A.4- 1 - Fluxograma ilustrativo ao dimensionamento	A.4-1
Figura A.5- 1 - SECÇÃO INUNDADA: ESCALA (1:25000)	A.5-1
Figura A.5- 2 - Perfil transversal da barragem	A.5-2
Figura A.5- 3 - Vista em planta da Barragem	A.5-3

Figura A.5- 4 - Corte longitudinal do canal de descarga incluindo a bacia e dissipação e o canal de restituição.....	A.5-4
Figura A.5- 5 - Detalhe do dimensionamento descarregador WES	A.5-5
Figura A.6- 1 - Ilustração da PLANILHA N°1.....	A.6-1
Figura A.6- 2 - Curva A(h) gerada inicialmente	A.6-2
Figura A.6- 3 - Curva dos volumes armazenados h(S)	A.6-7
Figura A.6- 4 - Curva das áreas inundadas A(h).....	A.6-7
Figura A.6- 5 - Curva das áreas inundadas A(h).....	A.6-7
Figura A.6- 6 - Curva dos volumes armazenados acima do NPA	A.6-7
Figura A.6- 7 - Perfil transversal na planilha n° 3	A.6-8
Figura A.6- 8 - Perfil longitudinal.....	A.6-9
Figura A.6- 9 - Ilustração da planilha n° 4	A.6-10
Figura A.6- 10 - Curva gerada pela tabela auxiliar.....	A.6-12
Figura A.6- 11 - Curva do amortecimento de cheias.	A.6-14
Figura A.6- 12 - Curva do coeficiente de descarga	A.6-14
Figura A.6- 13 - Ilustração da planilha n° 6.....	A.6-17
Figura A.6- 14 - Formatações e fórmulas na planilha n°6	A.6-18
Figura A.6- 15 - Ilustração da planilha dos resultados	A.6-19
Figura A.6- 16 - Ilustração da demonstração geométrica dos resultados na unidade em metro.	A.6-20
Figura A.6- 17 - Formatações e fórmulas da planilha n° 7.....	A.6-21

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação dos descarregadores de cheia (adaptado de Quintela, 1990).	5
Quadro A.3- 1 - Funções de ajuste às curvas do ábaco de Hay e Taylor (1970)	A.3-1
Quadro A.3- 2 - Funções de ajuste às curvas do ábaco de Darvas (1971).....	A.3-1
Quadro A.3- 3 - Funções de ajuste às curvas do ábaco de Magalhães e Lorena (1989).....	A.3-1
Quadro A.3- 4 - Funções de ajuste às curvas do ábaco de Lux e Hinchliff (1985)	A.3-2

Quadro A.3-5 - Funções de ajuste às curvas do ábaco de Tullis (1995).....A.3-2

Quadro A.3-6 - Funções de ajuste às curvas do ábaco de Magalhães e Melo (2002)

.....A.3-2

LISTA DE TABELA

Tabela A1-1- Descarregadores em labirinto no mundo.....	A.6-1
Tabela A.6- 1 - Tabela dados da curva das áreas inundadas	A.6-2
Tabela A.6- 2 - Capacidade dos armazenamento	A.6-3
Tabela A.6- 3 - Tabela do inicio da descarga	A.6-4
Tabela A.6- 4 - Formatações da tabela n 1	A.6-5
Tabela A.6- 5 - Fórmulas e formatações da tabela do inicio da descarga	A.6-5
Tabela A.6- 6 - Fórmulas e formatações da tabela da capacidade de armazenamento.....	A.6-6
Tabela A.6- 7 - Tabela do perfil transversal.....	A.6-8
Tabela A.6- 8 - Tabela do perfil longitudinal	A.6-9
Tabela A.6- 9 - Tabela auxiliar da planilha nº 4	A.6-9
Tabela A.6- 10 - Formatações na tabela auxiliar da planilha nº 4	A.6-9
Tabela A.6- 11 - Formatações e fórmulas aplicada na tabela auxiliar do hidrograma de cheias	A.6-11
Tabela A.6- 12 – Formatações e fórmulas aplicada na tabela inicial da planilha nº4	A.6-11
Tabela A.6- 13 - Formatações e fórmulas aplicada na gerada pela curva $I(\Delta t)$	A.6-11
Tabela A.6- 14 - Formatações e fórmulas aplicada na tabela da determinação do caudal de projecto	A.6-11
Tabela A.6- 15 - Tabela auxiliar do método do Puls	A.6-12
Tabela A.6- 16 - Tabela principal do método de Puls	A.6-13
Tabela A.6- 17 - Formatações e fórmulas da tabela auxiliar	A.6-15
Tabela A.6- 18 - Formatações e fórmulas da tabela auxiliar	A.6-16

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Os descarregadores em estruturas como barragens e valas tem uma função crucial na dissipação de energia e na descarga de água. Estas estruturas tem um impacto económico significativo para o custo geral da obra. A opção por um tipo de descarregador e a sua concepção devem ser analisadas de forma particular para cada caso, tomando em consideração os aspectos referidos, bem como os da segurança, de modo a obter uma solução adequada aos condicionalismos existentes e economicamente aceitável. (Pinheiro, 2007)

Os descarregadores com soleira em labirinto são um tipo de descarregadores de cheias que, recentemente, tem ganho importância. Este tipo de descarregador tem se tornado objecto de interesse para a investigação científica e se mostram mais promissores numa altura em que a reabilitação de infraestruturas hidráulicas começa a ganhar importância em relação à construção de novos empreendimentos. Segundo o relatório de (Harvey, 2021) da ONU¹, a grande parte das grandes barragens tem o seu tempo de vida útil reduzido devido as mudanças climáticas, o que indica a necessidade de intervenção para reverter esta tendência. As mudanças climáticas têm contribuído com o aumento significativo dos caudais, nalguns casos levam a rotura dos descarregadores ou inundações a jusante devido a capacidade de descarga que no processo de dimensionamento não eram previstos.

Os projectos actuais procuram viabilizar soluções cada vez mais económicas, e a utilização de descarregadores em labirinto tem uma vantagem comparativa em obras de pequena e média envergadura, por apresentar maior capacidade de descarga em relação ao descarregador convencional, mantendo-se a mesma sobre-elevação.

Em Moçambique, estudos do género são escassos, em operação apenas há evidência de existência de um descarregador de soleira labiríntica na estação de tratamento de Infulene, e não há muita informação específica sobre o seu funcionamento hidráulico.

Considerando as informações mencionadas anteriormente, fica evidente a importância de conduzir pesquisas que possam esclarecer e organizar o procedimento

¹ ONU : ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS

de dimensionamento hidráulico dos descarregadores de soleira labiríntica, contribuindo para o crescimento da comunidade académica de Moçambique.

1.2 Objectivo e Metodologia

1.2.1 Objectivo Geral

Elaborar uma proposta de ferramenta de cálculo para o dimensionamento hidráulico de descarregadores em forma de labirinto.

1.2.2 Objectivos específicos

- Desenvolver uma ferramenta condicionada pelos parâmetros de projecto definidos pela literatura no dimensionamento hidráulico.
- Desenvolver uma ferramenta que racionalize o máximo dos custos obtidos.
- Realizar uma análise comparativa entre as curvas de vazão.
- Promover este tipo de solução em projectos futuros que envolvem a descarga hidráulica.

1.2.3 Metodologia

Para a consecução destes objectivos, a metodologia adoptada quanto à natureza foi pesquisa aplicada, uma vez que será necessário aplicar os conhecimentos de hidráulica e hidrologia na concepção da ferramenta com o objectivo de dimensionar descarregadores em labirinto. A abordagem da pesquisa foi quantitativa e quanto ao procedimento técnico consistiu na revisão bibliográfica baseada na literatura disponível (livros, artigos científicos e recomendações). Este processo culminou na elaboração dos passos para a modelagem da ferramenta de dimensionamento, incluindo os cálculos matemáticos necessários. Do ponto de vista dos objectivos, a pesquisa foi exploratória, pois busca explorar e compreender um tema pouco aplicado em estudos de pesquisa.

No desenvolvimento da ferramenta de cálculo, foi concebida nas planilhas em Microsoft excel, foram considerados os dados hidrológicos e topográficos relevantes para o dimensionamento preciso dos descarregadores. A ferramenta foi programada para realizar cálculos hidráulicos, levando em conta os parâmetros de projecto previstos pela literatura.

A metodologia incluiu a colecta e análise dos ábacos de vazão, dentre as quais foram seleccionadas para análise as curvas com alguma aplicação prática e aprovação científica, nomeadamente, Hay & Taylor, Darvas, Magalhães & Lorena, Lux & Hinchliff, Tullis e Melo, obtidas nos artigos publicados pelos autores dos ábacos além da recolha de procedimentos para o dimensionamento de obras de natureza hidráulica, dados orçamentários e dados hidrológicos para gerar uma ferramenta robusta e eficiente, capaz de racionalizar custos e promover soluções hidráulicas eficazes em projectos futuros que envolvam a descarga de água

1.3 Estrutura da dissertação

Este relatório está subdividido essencialmente em seis (6) capítulos:

No **capítulo 1**, são apresentadas as considerações iniciais, incluindo uma visão geral do projecto, os objectivos a serem alcançados e a metodologia utilizada para atingir esses objectivos.

No **capítulo 2**, é reservada a revisão bibliográfica sobre o dimensionamento de descarregadores em labirinto, abordando conceitos, vantagens, características, principais parâmetros de dimensionamento e estudos relevantes, com uma abordagem de diferentes fontes bibliográficas.

No **capítulo 3**, é detalhado o processo de modelagem da ferramenta de cálculo, bem como a apresentação detalhada da ferramenta de cálculo hidráulico desenvolvida nesta dissertação. Foi abordado um exemplo de aplicação para ilustrar de forma prática um dimensionamento.

As conclusões da dissertação são apresentadas no **capítulo 4**, no **capítulo 5** são apresentadas as recomendações e nos capítulos **6 e 7** contêm a bibliografia e os anexos, respectivamente.

2 REVISÃO BIBLOGRÁFICA

2.1 Descarregadores de cheia

A gestão da água e o transporte são um componente crítico da civilização. À medida que a infraestrutura envelhece e o desenvolvimento continua, a necessidade de sistemas hidráulicos estrutura continua. No que diz respeito aos descarregadores, verifica-se que muitos necessitam de reabilitação ou substituição devido à maior ênfase na segurança, inspeção de barragens e aumento dos caudais máximos prováveis de cheias. (Crookston, 2010)

Em qualquer construção que envolva retenção de água, devem ser previstos meios que permitam a passagem do excesso de água, de modo a evitar o alargamento e o enfraquecimento da estrutura da barragem. (Taylor, 1968)

Um descarregador é um dispositivo simples que tem sido usado há séculos para regular a descarga á montante das lâminas de água e para medir vazões, foram implantados em canais, rios, lagoas e reservatórios. (Crookston, 2010). A **Figura 1**, abaixo, indica uma descarregador com soleira em labirinto com 6 módulos.



Figura 1- Descarregador em labirinto da barragem de Brazos, Texas, USA

Fonte: disponível em <https://www.fox44news.com/wp-content/uploads/sites/82/2019/11/Brazos-River-Dam1.jpg>

Os descarregadores de cheia apresentam diferentes tipos e constituições, em função das barragens em que se inserem e das condições topográficas e hidráulicas existentes.

2.1.1 Tipos e classificação de descarregadores

São apresentados critérios de classificação para descarregadores em barragens: um relacionado à localização em relação a cheias e outro à orientação do fluxo e presença de dissipação de energia a jusante. Cada tipo é associado a cenários de aplicação e controle do escoamento. O segundo critério identifica descarregadores suscetíveis a adotar o esquema de orientação e dissipação mencionado.

No **Quadro 1**, apresenta-se um resumo dos principais tipos de descarregadores em função das suas características.

Quadro 1- Classificação dos descarregadores de cheia (adaptado de Quintela, 1990).

Critério	Classificação	Aplicabilidade	Controlo de escoamento
(A) Localização	A.1. Sobre a barragem	Barragem de betão	Descarga livre, por sifão ou controlada por comportas
		Barragens de aterro (descarregadores não convencionais)	Descarga livre.
	A.2. Orifícios através da barragem	Barragens de betão.	Descarga controlada por comportas.
	A.3. Canal de encosta	Barragem de qualquer tipo. Independente da estrutura da barragem.	Descarga livre ou controlada por comportas
	A.4. Poço, vertical ou inclinado	Barragem de aterro ou de enrocamento (poço, seguido de galeria sob a barragem). Barragem de qualquer tipo (galeria escavada).	Descarga livre ou controlada por comportas.
	A.5. Fusível	Qualquer barragem (de emergência, lateral à barragem).	Descarga livre.
(B) Guiamento da lâmina líquida e dissipação de energia	Classificação	Características	
	B.1. Queda livre e obra de dissipação de energia	Com ou sem sobrelevação do nível natural do rio. Localização e controlo segundo A.1 ou A.2.	
	B.2. Queda livre e dissipação de energia no leito	Com ou sem sobrelevação do nível natural do rio. Localização e controlo segundo A.1 ou A.2.	
	B.3. Queda guiada e trampolim de saída com dissipação no leito	Com ou sem protecção do leito, com ou sem sobrelevação do nível natural do rio. Localização e controlo segundo A.1, A.2, A.3 e A.4.	
	B.4. Queda guiada e obra de dissipação de energia	Localização e controlo segundo A.1, A.2, A.3 e A.4	

2.2 Descarregador de cheias em canal de encosta

A solução de descarregador de cheias em canal de encosta é bastante frequente em barragens de aterro, e muito especialmente nas de pequena e média envergadura. Este tipo de descarregador é constituído por uma soleira descarregadora, que controla o escoamento, por um canal, com secção transversal, habitualmente rectangular, implantado ao longo da encosta escolhida e por uma obra de dissipação de energia. (Pinheiro, 2007)

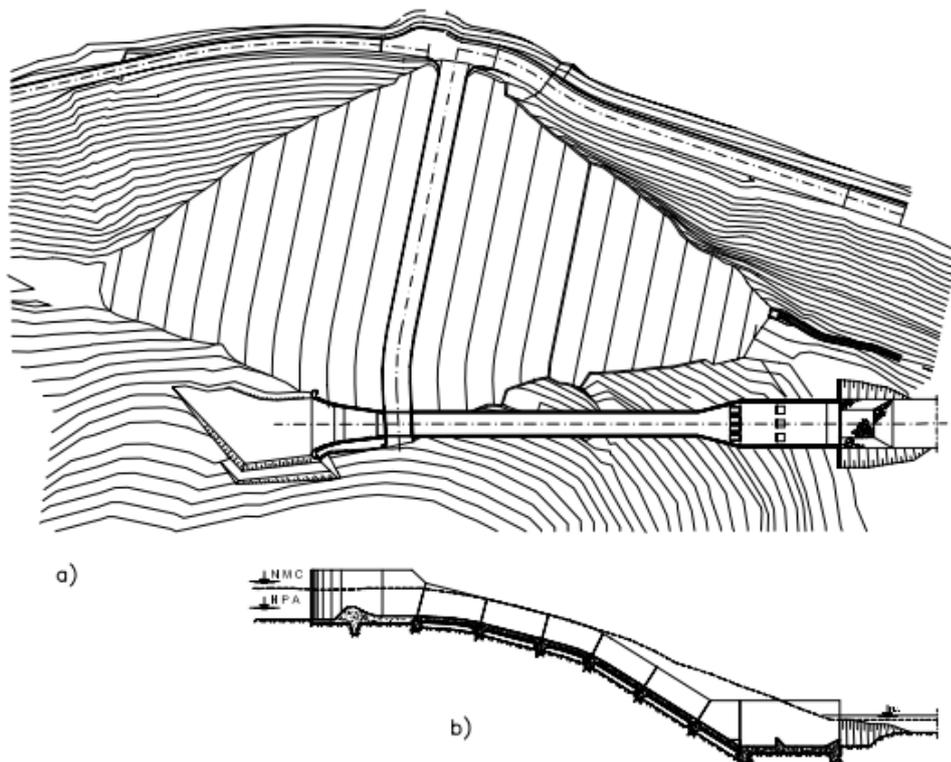


Figura 2- Descarregador de cheias de canal de encosta. (a) Planta esquemática; (b) Perfil esquemático.
Fonte: (Pinheiro, 2007, p. 11)

Existem diversos tipos de descarregadores de soleira de encosta, cada um com suas características e aplicações específicas em engenharia hidráulica e em sistemas de controle de água. Alguns exemplos incluem:

- **Descarregadores em Lâmina Livre:** Este tipo de descarregador não possui obstáculos em sua saída, permitindo que a água escoe livremente sem restrições.
- **Descarregadores de Soleira Retangular:** são soleiras de formato retangular instaladas nas encostas de canais ou barragens para controlar o

escoamento de água. Podem ter comportas ou comportamento livre, dependendo da configuração.

- **Descarregadores em Labirinto:** estes descarregadores têm uma configuração geométrica intrincada que ajuda a dissipar a energia da água, minimizando erosões nas encostas. São comuns em barragens e canais.

- **Descarregadores em Bico de Pato:** possuem uma configuração que se assemelha ao bico de um pato, o que ajuda a controlar o escoamento em situações de baixa carga. São eficazes para manter um fluxo uniforme.

- **Descarregadores em Soleira Inclinada:** São soleiras com uma inclinação que direciona o fluxo de água ao longo da encosta, ajudando a evitar erosão.

- **Descarregadores de soleira normal;** esses descarregadores têm um perfil específico que permite medir ou controlar o escoamento de água, sendo comumente usados para monitorar fluxos em rios, canais e barragens.

Cada tipo de descarregador é projectado para atender a diferentes requisitos hidráulicos e condições específicas de aplicação. A escolha do tipo de descarregador dependerá das características do local, das necessidades de escoamento e das características da água que será controlada.

2.3 Descarregador em labirinto

Descarregadores em labirinto têm sido de interesse de engenheiros e pesquisadores por muitos anos devido ao seu comportamento hidráulico. Um descarregador em labirinto proporciona um aumento no comprimento da crista para uma determinada largura de canal, aumentando assim a capacidade de fluxo para uma determinada elevação de água a montante. Assim, os descarregadores em labirinto demonstram a capacidade de sustentar um nível de profundidade a montante mais estável, o que resulta numa redução de área de superfície livre quando comparadas aos descarregadores lineares. (Crookston, 2010)

De acordo com o Taylor (1968), descarregador em labirinto é uma estrutura linear que é dobrada em planta para aumentar o comprimento da crista para um determinado canal ou largura de descarregador.

De acordo com Lencastre (2001), descarregador em labirinto é uma soleira de parede delgada, em que a crista apresenta, em planta, um traçado em linha quebrada, repetindo em geral módulos ou módulos de forma poligonal. Por consequência,

apresenta um maior desenvolvimento de crista do que descarregador normal que ocuparia a mesma largura.

Um descarregador utilizando o formato em labirinto demonstra a capacidade de efectuar o escoamento de volumes substanciais de água em taxas relativamente mais elevadas quando contrastado com as estruturas tradicionais de descarregadores lineares de igual largura. Este desempenho hidráulico superior e sua flexibilidade geométrica possibilitaram a implementação dos descarregadores em labirinto em uma variedade de contextos, incluindo canais, rios, lagoas e reservatórios. Sua aplicação abrange diversas funções, como controle de vazão na origem, dissipação de energia, aeração do fluxo e facilitação de descargas controladas.

À medida que a ênfase na segurança das barragens aumentou, muitos descarregadores precisam ser reabilitados para aumentar sua capacidade sem alterar o volume de armazenamento na albufeira. No entanto, para muitos descarregadores, a largura do canal de acesso ou a rampa a jusante não podem ser ampliada para aumentar o comprimento da crista. (Falvey, 2003)

Os Descarregadores de labirinto se revelam apropriados para a reabilitação de estruturas de descarga em situações onde a infraestrutura apresenta sinais de envelhecimento, questões pertinentes à integridade da barragem surgem, as limitações associadas à margem livre se fazem presentes e as revisões das vazões máximas prováveis indicam a necessidade de ampliar a capacidade do sistema de descarga.

Além disso às estruturas de controle de fluxo, os descarregadores em labirinto também são eficazes estruturas de controle de aeração, dissipadores de energia e estruturas de queda. (Crookston, 2010)

Em Moçambique, há evidências da existência de apenas um descarregador de soleira labiríntica em operação, localizado no canal de Infulene. No anexo (A.1-1) esta compilado uma lista abrangente dos casos conhecidos até o momento de descarregadores com soleira em labirinto.

2.3.1 Vantagens e desvantagens dos descarregadores em labirinto

Embora os descarregadores em labirinto sejam usadas para aumentar a capacidade do descarregador para uma determinada largura de canal a jusante, essa não é a única finalidade para elas, como tem vantagem de:

1- **Eficiência hidráulica:** os descarregadores em labirinto são projetados para otimizar o fluxo de água, resultando em uma maior eficiência hidráulica e capacidade de descarga em comparação com estruturas convencionais.

2- **Controle de vazão:** eles permitem um controle preciso da vazão de água, o que é crucial para gerenciar fluxos de água em situações diversas, como períodos de chuvas intensas ou secas.

3- **Menor requisito de espaço:** os descarregadores em labirinto geralmente ocupam menos espaço em relação a outras estruturas de descarregamento, o que pode ser benéfico em locais com restrições de espaço.

4- **Versatilidade geométrica:** sua geometria flexível pode ser adaptada para atender a diferentes condições hidráulicas e topográficas, permitindo uma maior adaptação às características do local.

5- **Dissipação de energia:** eles têm a capacidade de dissipar a energia da água, reduzindo o risco de erosão e danos a jusante da estrutura.

6- **Aeração do fluxo:** os descarregadores em labirinto frequentemente facilitam a entrada de ar na água em processo, o que pode beneficiar a qualidade da água e a vida aquática.

7- **Reabilitação de infraestruturas antigas:** são uma opção atraente para reabilitar estruturas de descarregamento envelhecidas, proporcionando uma actualização eficaz sem a necessidade de reconstrução completa.

8- **Segurança da barragem:** a capacidade aprimorada de controle de vazão pode contribuir para melhorar a segurança da barragem, ajudando a evitar cenários de sobrecarga e ruptura.

9- **Compatibilidade Ambiental:** eles podem ser projectados de maneira a minimizar o impacto ambiental, considerando as necessidades da vida aquática e do ecossistema circundante.

Desvantagem:

Apesar de oferecerem diversas vantagens em termos de eficiência hidráulica e controle de vazão, é importante considerar também essas desvantagens e desafios ao decidir pela sua utilização em projectos de engenharia hidráulica, como;

1- **Complexidade de Projecto e Fabricação:** a geometria e a configuração dos descarregadores em labirinto podem ser complexas, exigindo um projecto detalhado e fabricação cuidadosa para garantir o desempenho adequado.

2- Necessidade de Manutenção: a configuração intrincada dos descarregadores em labirinto pode tornar a manutenção mais desafiadora, exigindo inspeções regulares e intervenções específicas.

3- Sensibilidade a Sedimentos: a presença de sedimentos e detritos na água pode afetar o desempenho dos descarregadores em labirinto, reduzindo a eficiência e exigindo limpezas frequentes.

4- Possíveis Problemas de Cavitação: dependendo das condições hidráulicas, os descarregadores em labirinto podem estar sujeitos a problemas de cavitação, que podem prejudicar a estrutura.

5- Requisitos de Espaço Lateral: embora ocupem menos espaço em relação a algumas estruturas, os descarregadores em labirinto podem requerer uma certa área lateral, o que pode ser um desafio em locais com restrições de espaço.

6- Custo Inicial: devido à complexidade do projecto e fabricação, os descarregadores em labirinto podem ter custos iniciais mais elevados em comparação com estruturas mais simples.

7- Necessidade especialização: a concepção e instalação de descarregadores em labirinto podem requerer conhecimentos especializados em hidráulica e engenharia de recursos hídricos.

8- Impacto Ambiental: Dependendo da configuração e localização, os descarregadores em labirinto podem ter impactos ambientais negativos, como interrupção de habitats aquáticos ou alteração do fluxo natural da água.

2.4 Desenvolvimento Analítico

O fluxo que passa por uma descarregador em labirinto é difícil de descrever matematicamente com precisão. Como o escoamento que passa por um descarregador labiríntico é tridimensional e passa por uma seção de escoamento crítico, uma derivação matemática deve levar em conta: energia, quantidade de movimento, continuidade, linhas de corrente não paralelas, pressão sob a intercepção dos fluxos adjacentes, a dinâmica do ar cavidade atrás do lâmina da veia líquida (incluindo a ausência de um), interferência de jactos ou fluxos de lâmina líquida em colisão, submersão local, efeitos de tensão superficial, efeitos de viscosidade, geometria do descarregador e forma da crista. Consequentemente, os pesquisadores normalmente aplicam uma equação de

descarga de descarregador com coeficientes determinados empiricamente, que são determinados a partir de resultados experimentais obtidos de modelagem física.

2.4.1 Derivação da Equação de descarga

A equação é derivada assumindo: fluxo unidimensional estável, um fluido ideal (não compressível, não viscoso, sem tensão superficial), pressões atmosféricas atrás da veia líquida, assume pressões hidrostáticas e linhas de fluxo horizontais e paralelas em a crista. Com essas suposições, a equação (1) de conservação da energia e a equação (2) de continuidade são as seguintes:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 \quad (1)$$

$$Q = v_1 y_1 = \int_0^H v_2 L dh \quad (2)$$

Onde: p é a pressão manométrica, γ é a unidade de peso da água, v é uma velocidade, z é a elevação acima de um dado arbitrário, y é uma profundidade e h é a profundidade da linha de corrente até a superfície da água.

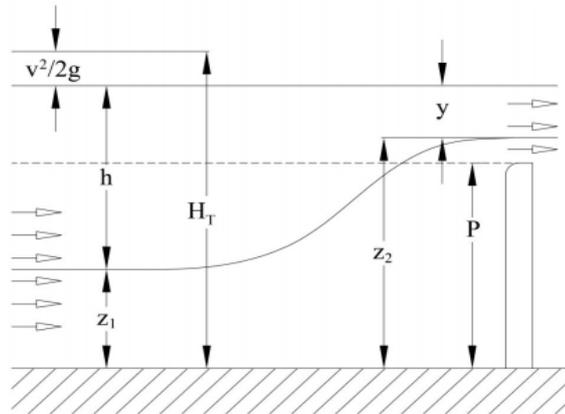


Figura 3- Derivação da equação de descarga em labirinto

Aplicando a equação (1) do ponto 1 ao ponto 2 resulta na equação (3); simplificando e reorganizando para resolver para v_2 produz a equação (4).

$$h + P + \frac{v_1^2}{2g} = h + P - y + \frac{v_2^2}{2g} \quad (3)$$

$$v_2 = \sqrt{2g \left(y + \frac{v_1^2}{2g} \right)} \quad (4)$$

Substituindo a equação (4) na equação (2) e integrando produz a equação (5).

$$Q = \frac{2}{3}L\sqrt{2g} \left(\left(h + \frac{v_1^2}{2g} \right)^{3/2} - \left(\frac{v_1^2}{2g} \right)^{3/2} \right) \quad (5)$$

Devido às suposições feitas na derivação (fluido ideal, vazão de lâmina líquida na horizontal, etc.), um coeficiente de descarga é adicionado à equação (5) para corrigir a vazão para corresponder aos resultados experimentais. Além disso, uma pequena simplificação é comumente feita, o que resulta na equação em (6) Observe que H se refere a $h+V^2/2g$ e $V = v_1$.

$$Q = \frac{2}{3}LC_d\sqrt{2g} H^{3/2} \quad (6)$$

2.5 Características geométricas

As características de escoamento dos descarregadores de tipo labirinto são predominantemente influenciadas pela altura da descarregador (P), a profundidade do fluxo a montante da descarregador (h), a largura da descarregador (W), o comprimento desenvolvido do labirinto (L) e sua configuração geométrica. Conseqüentemente, a vazão pode ser formulada como:

$$Q = f(h/P, L/W, Forma) \quad (7)$$

2.5.1 Formas de crista

A forma de um labirinto pode ser retangular, trapezoidal ou triangular. As dimensões dessas várias formas são definidas na **Figura 4**.

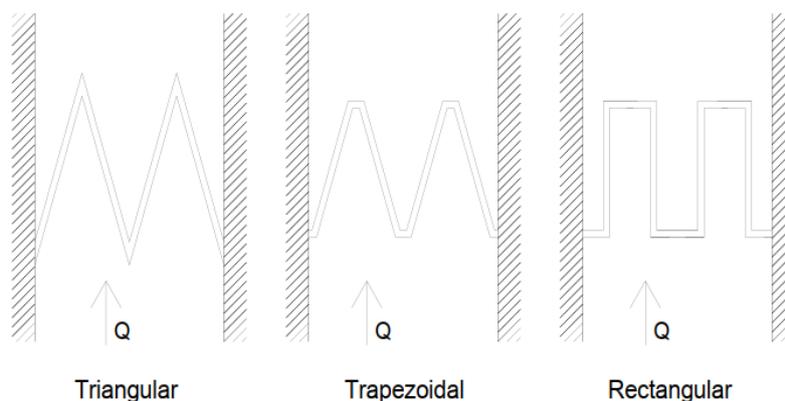


Figura 4- Formas de descarregadores de labirinto

O formato trapezoidal é o mais utilizado devido às razões de natureza construtiva e hidráulica. (Falvey, 2003)

2.5.2 Parâmetros principais dos descarregadores em labirinto

(Amaniam, Tullis, & Waldron, 1995) apresentam uma configuração (**Figura 5**) e define as diretrizes gerais dos parâmetros principais dos descarregadores labirinto:

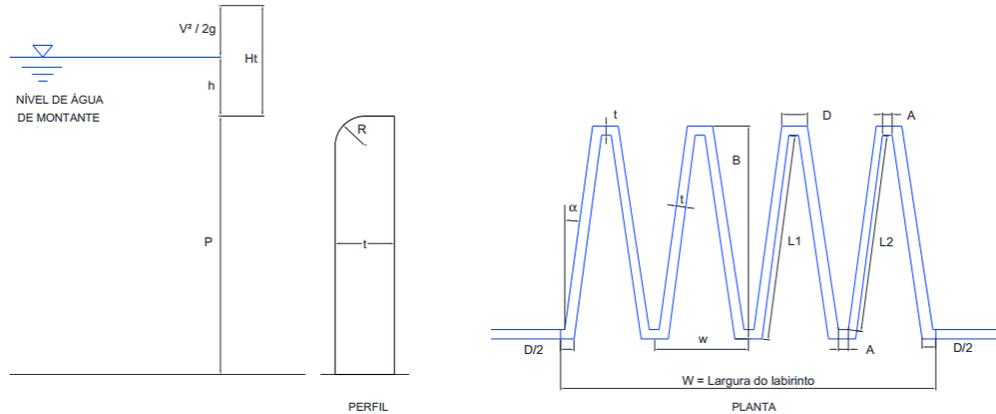


Figura 5- Configuração que descreve as diretrizes gerais dos parâmetros principais do descarregadores

Fonte: (Amaniam, Tullis, & Waldron, 1995, p. 248)

Altura do Descarregador (P):

Refere-se à diferença entre a altitude da crista e a altitude da superfície externa, situada a montante do dispositivo de descarga. Esse parâmetro desempenha um papel significativo nas perdas de energia ao longo do canal de aproximação e também exerce impacto sobre a capacidade de escoamento do próprio dispositivo de descarga.

Espessura da parede da crista (t):

É estabelecido mediante uma avaliação estrutural que considera as forças hidráulicas envolvidas, e está sujeito às particularidades da altura da crista e às circunstâncias específicas do local de instalação. Tullis et al. (1995) recomenda que este parâmetro seja equivalente a um sexto da altura da crista ($t = P/6$).

Raio da Crista (R):

É o raio de curvatura da crista do descarregador, a curvatura da crista tem o potencial de influenciar directamente no coeficiente de descarga. Tullis et al. (1995) recomenda que este parâmetro seja equivalente a uma dose de um doze avos da altura da crista ($t = P/12$).

Ângulo entre as cristas adjacentes (α):

Trata-se do ângulo que se forma entre a inclinação em relação ao eixo do canal e o próprio eixo do descarregador. Esse ângulo pode variar dentro da faixa de 6° a 35°. No entanto, para otimizar tanto o comprimento como a eficácia do descarregador, o que resulta em uma maior eficiência e menores custos, é recomendável seleccionar um valor entre 8° e 16°.

Lado interno do vértice ou ápice (A):

Idealmente, esse valor deve ser minimizado, uma vez que uma redução excessiva pode impactar negativamente a capacidade do descarregador, resultando na diminuição do comprimento eficaz da crista em labirinto. Recomenda-se que este parâmetro esteja situado entre uma e duas vezes a espessura da parede da crista ($t < A < 2t$), onde "t" representa a espessura da parede.

Lado externo do vértice ou ápice (D):

É obtido através da seguinte expressão:

$$D = A + \left[2 \times t \times \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\alpha}{2} \right) \right] \quad (8)$$

Número de módulos (N):

Em descarregadores em labirinto, o número de módulos refere-se à quantidade de segmentos ou unidades repetitivas que compõem o perfil do labirinto. Cada módulo consiste em uma seção completa do labirinto, com cristas e vales que contribuem para o aumento da eficiência hidráulica do descarregador. O número de módulos é um parâmetro crítico no projeto, pois influencia diretamente a capacidade de descarga e a eficiência do sistema. A escolha do número de módulos deve ser equilibrada com o espaço disponível e os requisitos de descarga, garantindo que o labirinto funcione de forma otimizada para maximizar o escoamento da água durante eventos de cheia.

Comprimento efetivo do descarregador (L):

É em função do número de módulos, do lado interno do ápice e do comprimento efetivo do braço do descarregador:

$$L = 2 \times N \times (A + L_2) \quad (9)$$

Comprimento do Descarregador na direção do escoamento (B):

É função do comprimento efetivo (L), do número de módulos (N), do ângulo (α) e da espessura (t):

$$B = \left\{ \frac{L}{2 \times N} + \left[t \times \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\alpha}{2} \right) \right] \right\} \times \cos \alpha + t \quad (10)$$

Comprimento do Braço (L_1):

É função do comprimento do descarregador na direção do escoamento (B), da espessura (t) e do ângulo (α):

$$L_1 = \frac{B - t}{\cos \alpha} \quad (11)$$

Comprimento Efetivo do Braço (L_2):

É função do comprimento do braço (L_1), da espessura (t) e do ângulo (α):

$$L_2 = L_1 - \left[t \times \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\alpha}{2} \right) \right] \quad (12)$$

Comprimento Total da Crista (L_T):

É função do número de módulos (N), do comprimento do braço (L_1) e dos lados interno (A) e externo do ápice (D):

$$L_T = N \times [D + A + (2 \times L_1)] \quad (13)$$

Comprimento de um módulo (l):

É função do comprimento do total efetivo (L) e o nº de módulos:

$$l = \frac{L}{n} \quad (14)$$

Largura de um módulo (w):

É função do comprimento do braço (L_1), do ângulo (α) e dos lados interno (A) e externo (D) do ápice:

$$W = (2 \times L_1 \times \operatorname{sen} \alpha) + D + A \quad (15)$$

Largura total do canal (W):

É função do número de módulos (N) e da largura de módulo (w).

$$W = N \times w \quad (16)$$

Carga sobre a crista (h):

Refere-se a altura da lâmina de água medida verticalmente acima da crista do descarregador. A carga total (H_t) é a soma da altura da lâmina de água h sobre a crista do descarregador e a energia cinética associada ao fluxo de água.

$$H_t = h + \frac{v^2}{2 \times g} \quad (17)$$

2.5.3 Tipos de perfil para crista

As cristas em descarregadores de labirinto variam desde um perfil de crista afiado até os chamados perfis de ogiva. A **Figura 6** mostra os tipos de perfis de crista mais utilizados na maioria das barragens com descarregadores em labirinto.

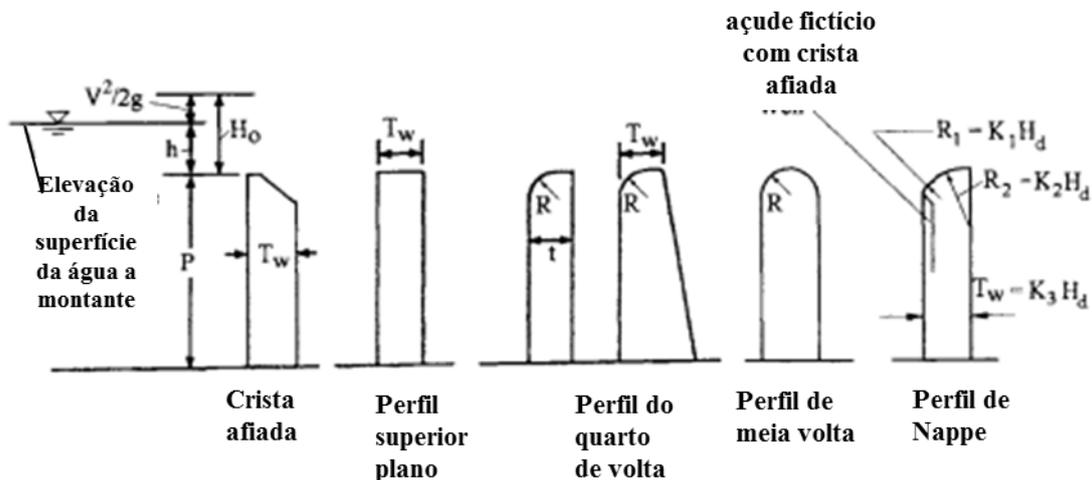


Figura 6- Tipos de Crista de descarregadores em labirinto

Fonte: (Falvey, 2003, p. 31)

De acordo com o Falvey (2003), é muito importante conhecer o comportamento do coeficiente de descarga em cada tipo de perfil da crista, principalmente para estruturas que operam com pequenas cargas. Esses coeficientes podem ser estimados através das seguintes equações, de acordo com cada tipo de perfil.

a) Crista afiada e perfil superior plano

Para um descarregador linear, a vazão é dada em termos de carga na barragem por:

$$Q = \frac{2}{3} \times C_d \times L \times h^{3/2} \times \sqrt{2 \times g} \quad (18)$$

em que C_d é dado pelo coeficiente de Rehbock:

$$C_d = 0.605 + 0.08 \times \frac{h}{p} + \frac{1}{h(mm)} \quad (19)$$

Esta forma da equação de descarga é útil quando o descarregador deve ser usado como um dispositivo de medição. Neste caso, é medida a lâmina de veia líquida a montante sobre o descarregador. A equação (18) fornece a descarga diretamente.

b) Perfil do quarto de volta

Tullis et al. (1995) realizaram testes com perfil de quarto de volta. Os resultados foram apresentados usando a Equação (18). O coeficiente de vazão para o perfil de quarto de volta é mostrado na **Figura 7**.

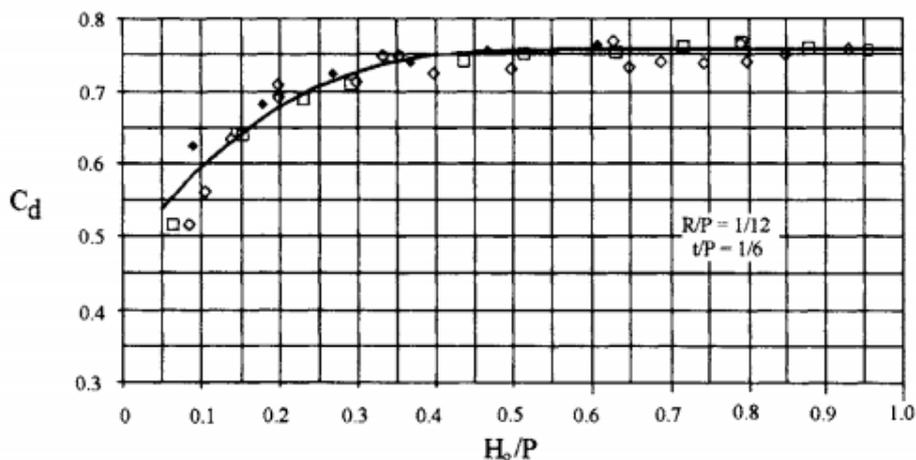


Figura 7- Coeficiente de descarga para um perfil de quarto de volta. de Tullis, J.P, Nosratollah, A. e Waldron, D (1995).

Fonte: (Amaniam, Tullis, & Waldron, 1995, p. 251)

Esta curva é para um raio igual a 1/12 da altura da barragem, e a espessura da parede é 1/6 da altura da barragem. (Falvey, 2003)

c) Perfil de meia volta

Segundo Falvey (2003), o coeficiente de descarga para o perfil semicircular é influenciado pelo fluxo sobre a crista. Quatro condições de fluxo são possíveis: pressão, atmosférico, sub-atmosférico e cavidade. Matematicamente, estes são definidos como a pressão na crista com o coeficiente em que P_c = a pressão na crista; e Y_o = a profundidade da água na crista.

$$\beta = \frac{\frac{P_c}{\gamma}}{\gamma_o} \quad (20)$$

As várias condições são assim $\beta > 0$, pressão; $\beta = 0$, atmosférico; e $\beta < 0$, sub-atmosférico ou cavitário. Essas condições são mostradas na **Figura 8**.

O fluxo de pressão é análogo à descarga sobre uma crista perfil tipo ogiva com uma altura inferior à altura de projecto. A pressão em toda a crista é positiva (acima da atmosférica). (Falvey, 2003)

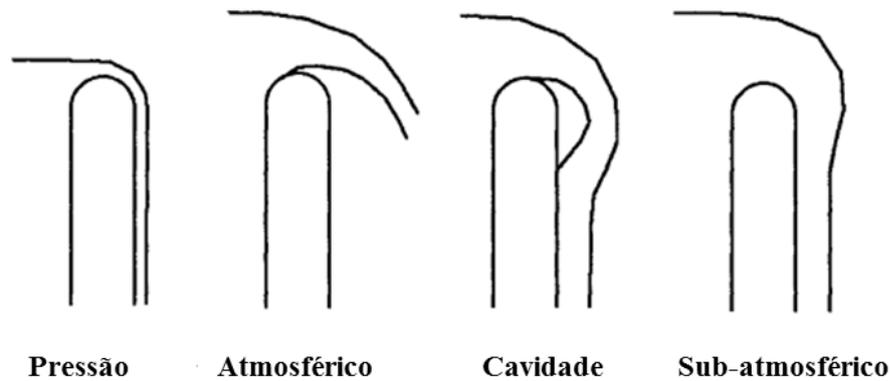


Figura 8- Definição das condições de fluxo de crista.
 Fonte: (Falvey, 2003, p. 34)

À medida que a carga aumenta, chega-se a um ponto em que a carga na crista é atmosférica. O fluxo atmosférico é análogo à carga de projecto em uma crista ogiva. Em cargas mais altas, a pressão na crista torna-se sub-atmosférico. Se o fluxo a jusante for arejado, a pressão na crista se tornará atmosférica, e o jato saltará livre da crista, como mostrado na **Figura 8**. Entre esses dois extremos, pode se formar uma bolsa de ar ou cavidade de ar fechada. Isso é chamado de fluxo de cavidade. O fluxo da cavidade é geralmente instável, ou seja, dependendo do nível da água a jusante, o fluxo da cavidade fará a transição entre as condições atmosféricas e sub-atmosféricas. (Falvey, 2003)

Indlekofer e Rouve (1975), mediram coeficientes de descarga para perfis semicirculares. Seus resultados são expressos em função de H_o/R , conforme mostrado na **Figura 9**. A fronteira entre fluxo de pressão e fluxo sub-atmosférico ou arejado ocorre com um valor de H_o/R de aproximadamente 1,3.

O coeficiente de descarga dado pela equação (21) deve ser função do raio de curvatura, da altura do descarregador e da altura da carga hidráulica. Matematicamente, a relação é:

$$C_d = f\left(\frac{H_0}{R}, \frac{H_0}{P}\right) \quad (21)$$

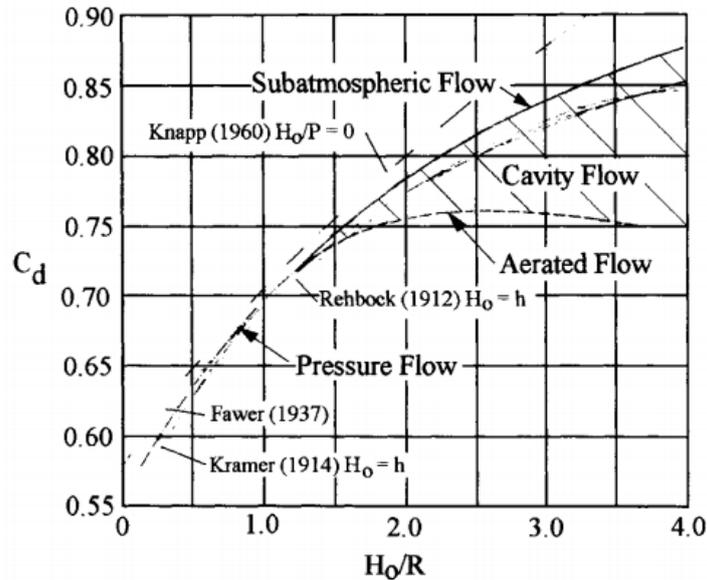


Figura 9- Coeficiente de descarga: perfil semicircular após Rouve , G., e Indlekofer , H., (1974)
 Fonte: (Falvey, 2003, p. 35)

d) Perfil de ogiva

Segundo Falvey (2003), o perfil ogival de crista é definido pela parte inferior de um descarregador imaginário com crista pontiaguda na face a montante. A área abaixo pode ser preenchida com betão sem afetar o fluxo. A pressão na crista permanece atmosférica, mesmo se substituída por betão. Modelos com cristas afiadas foram usados para criar gráficos de cristas ogivais. A pressão na crista de betão é atmosférica somente sob certa carga montante. Alturas abaixo da altura de projecto resultam em pressão positiva; acima, em pressão negativa. Isso é menos relevante se só a seção até a crista for betonada.

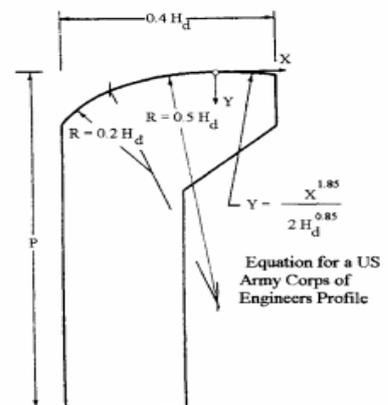


Figura 10- Perfil da crista Ogiva de Magalhães , AP, (1985). "Descarregador Labirinto do Aterro Sanitário.
 Fonte: (Falvey, 2003, p. 39)

Uma lei de potência fornece o perfil a jusante da crista. O US Bureau of Reclamation (1974) *apud* Falvey (2003), recomenda a seguinte relação:

$$Y = \frac{X^{1.85}}{2 \times H_d^{0.85}} \quad (22)$$

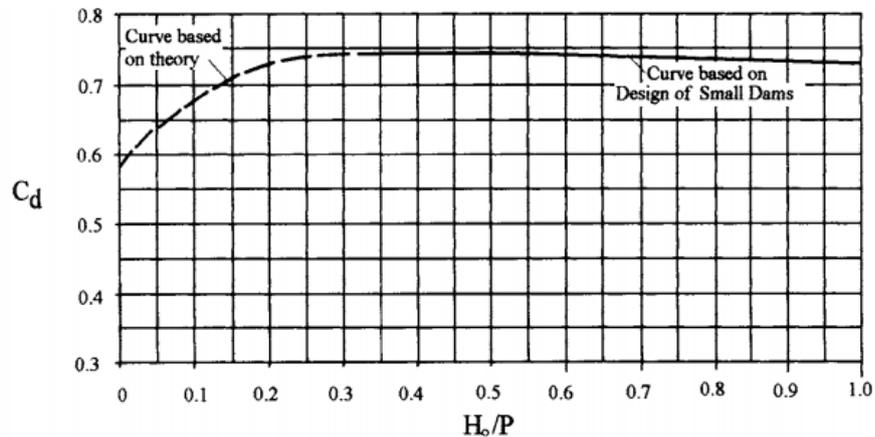


Figura 11- Coeficiente de descarga para um perfil Lâmina vertente
 Fonte: (Falvey, 2003, p. 38)

Segundo US Bureau of Reclamation (1974) *apud* Falvey (2003), o fornece a descarga para um perfil de ogiva como, neste caso, o coeficiente de descarga é dimensional. O coeficiente é equivalente a:

$$Q = CLH_0^{3/2} \quad (23)$$

2.6 Interferência dos fluxos adjacentes

De acordo com Falvey (2003), o escoamento em descarregadores labirinto apresenta uma natureza complexa devido à interferência dos jatos no vértice de montante da crista.

A interferência dos fluxos adjacentes refere-se à sobreposição ou interação das lâminas líquidas que escoam em diferentes trechos de um canal ou estrutura hidráulica. Isso ocorre quando as lâminas da veia líquida provenientes de diferentes partes do fluxo se encontram ou se sobrepõem, resultando em perturbações e interferências no padrão do escoamento. Para grandes vazões, os jatos vindos dos módulos adjacentes se chocam e formam uma lâmina vertical não arejada, o que diminui o coeficiente de descarga do descarregador, tornando-o menos eficiente. Essa interferência aumenta com a redução do ângulo entre as cristas (α), especialmente com o aumento da carga

sobre a crista. Como resultado, para a maioria dessas estruturas, a parte inferior da veia líquida é arejada apenas para baixas cargas de operação.

Os estudos relevantes foram realizados por Indlekofer e Rouvé (1975), onde abordaram a influência da interferência da lâmina líquida. O grau e a área de interferência são funções da carga sobre a crista do descarregador (H_t), da altura da crista (P), do ângulo (α) e do comprimento do braço do descarregador (L_1), conforme ilustrado na **Figura 12**.

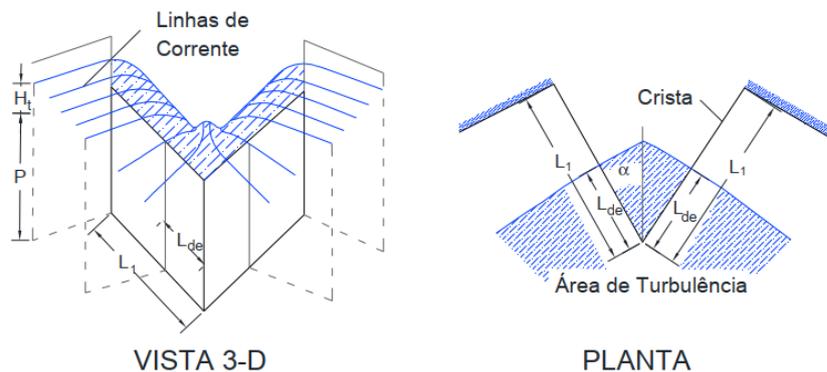


Figura 12- Interferência da lâmina líquida em descarregador labirinto proposta por Indlekofer e rouvé (1975), apud Falvey (2003).

Fonte: (Falvey, 2003, p. 19)

O comprimento da perturbação, L_{de} é a extensão da crista sobre a qual a descarga é afetada pela interferência. O comprimento efetivo, L_{de} é a extensão do descarregador sobre a qual o coeficiente de descarga é igual a zero. O escoamento sobre o comprimento restante ocorre com um coeficiente de descarga igual ao de um descarregador de soleira retilínea. O comprimento efetivo da perturbação é principalmente uma função do ângulo, conforme mostrado na **Figura 13**. (Falvey, 2003)

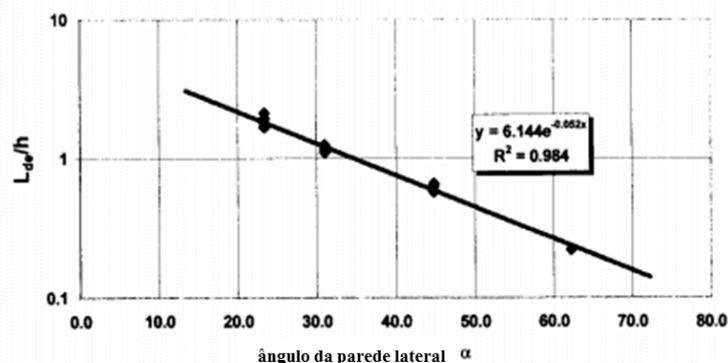


Figura 13- Dependência do comprimento de perturbação do ângulo da parede lateral.

Fonte: (Falvey, 2003, p. 22)

A equação (24) representa a relação experimental entre o comprimento da perturbação e o ângulo da parede lateral, mostrando sua diminuição exponencial.

A curva experimental pode ser aproximada por:

$$\frac{L_d}{H} = 6.1 \times e^{-0.052\alpha} \quad (24)$$

A **Figura 14** representa um labirinto com um, dois, quatro e oito módulos, respectivamente. Com oito módulos, a razão de interferência, L_d/L_1 , é igual a 0,5, e a interferência afeta fortemente na descarga. À medida que o número de módulos diminui, a taxa de interferência torna-se menor, diminuindo assim a percentagem de interferência. (Falvey, 2003)

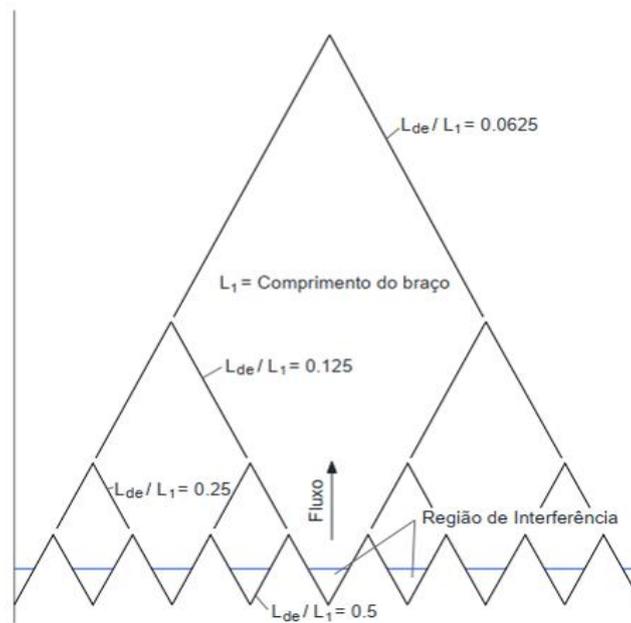


Figura 14- Representação gráfica dos efeitos de interferência
 Fonte: (Falvey, 2003, p. 23)

2.7 Aeração

A aeração na superfície da água refere-se à presença ou ausência de uma cavidade de ar atrás do fluxo no processo de descarga, podendo ser utilizadas estruturas que artificialmente arejam a superfície, criando condições ventiladas. Com o aumento das preocupações com a qualidade da água, é crucial considerar o comportamento dos descarregadores labirinto quanto à aeração ou falta dela. O fluxo turbulento durante a descarga tem a capacidade de levar o fluxo a montante em direção a condições de saturação. Se o fluxo a montante estiver supersaturado, o movimento da água irá

desgasificar a água; inversamente, se o fluxo a montante não estiver saturado ou tiver alta demanda de oxigênio, a água que se move irá arrastar ar.

Devido ao comprimento maior dos descarregadores labirinto em relação aos rectos, espera-se que os descarregadores de soleira labiríntica sejam dispositivos eficazes na melhoria da qualidade da água (Falvey, 2003). Lux e Hinchliff (1985) definiram quatro fases básicas de escoamento com o aumento da carga:

Totalmente arejada: ocorre sob condições de carga reduzida a montante, permitindo que o escoamento flua livremente sobre a crista, com impacto mínimo da espessura da camada líquida e do nível de água a jusante na estrutura.

Parcialmente arejada: à medida que a carga aumenta, o nível de água a jusante sobe, dificultando a aeração abaixo da superfície líquida e diminuindo o coeficiente de descarga. Esta fase marca o início da interferência da superfície líquida, com formação de bolsões de ar ao longo da parede do labirinto.

Transição: com maior carga a montante, a superfície líquida é suprimida em vários pontos ao longo da crista, e os bolsões de ar se fragmentam em pequenas bolhas que causam instabilidades. Esta fase é caracterizada pela alternância entre arrastamento de ar não contínuo e escoamento consistente, refletindo na curva de descarga.

Afogado: ocorre quando o fluxo forma uma camada não aerada devido à espessura da superfície líquida e ao nível de água a jusante, resultando na submersão do descarregador labirinto.

Falvey (2003) enfatiza a importância de considerar o comportamento aerado ou não aerado dos descarregadores labirinto no projecto das estruturas, especialmente diante das preocupações com a qualidade da água. Wormleaton e Tsang (2000) realizaram estudos comparativos entre descarregadores de soleira rectangular e labiríntica, concluindo que os descarregadores labirinto com crista rectangular são mais eficientes em termos de aeração, especialmente em altas vazões. Em contraste, estruturas com crista triangular mostram maior interferência da superfície líquida e redução na eficiência de aeração com o aumento da taxa de vazão.

A aeração artificial pode estabilizar as pressões atrás da superfície líquida, ajudando na estabilização de uma superfície instável. Pilares de arejamento, colocados

no topo da crista, são uma forma comum de aeração artificial. Hinchliff e Houston (1984) recomendam a colocação desses pilares a aproximadamente 10% do comprimento da parede lateral do ápice a jusante, baseando-se em estudos em barragens como Ute e Hyrum.

Embora os pilares de arejamento possam reduzir o coeficiente de descarga, estudos como o de Emiroğlu et al. (2016) indicam que essa redução é geralmente pequena, em torno de 4%, quando comparada aos descarregadores não modificados. Este aspecto deve ser considerado no projecto para balancear os benefícios da aeração com possíveis reduções na capacidade de descarga.

2.8 Oscilação da veia líquida

Para uma pequena profundidade de água sobre um descarregador labirinto com um quarto de volta ou uma crista afiada, a lâmina líquida é arejada, resultando em vibrações e formação de ondas ao longo de sua trajectória. Com o aumento da profundidade do fluxo, a lâmina líquida se torna mais espessa, cessando a vibração e suprimindo a aeração da parte inferior, o que leva à formação de uma bolsa de ar abaixo da crista. Esta condição, conhecida como fluxo de transição, alterna entre fluxo arejado e não arejado, e é acompanhada por flutuações no nível da água a jusante (Falvey, 2003).

A vibração da veia líquida pode causar ruídos desagradáveis e flutuações de pressão nas paredes laterais do labirinto, como observado na barragem de Avon, Austrália, onde o ruído afectava os residentes próximos (Falvey, 2003). Naudascher e Rockwell (1994) apud Falvey (2003) atribuem essas vibrações à aeração inadequada sob a lâmina líquida, sendo a altura de queda um parâmetro significativo. Instabilidades de fluxo tridimensional sobre a crista amplificam frequências específicas, causando vibrações mesmo em jactos totalmente arejados.

Hinchliff e Houston (1984) recomendam a utilização de pilares inseridos sobre a crista do descarregador com o intuito de diminuir a ocorrência de vibrações e reduzir a formação de ondas. Uma solução sugerida pelo Falvey (2003) para eliminar a vibração é o fornecimento de saídas de ar dentro das paredes laterais do descarregador labirinto.

2.9 Configuração e orientação do canal de descarga

Segundo FALVEY (2003), a proposta do canal de descarga é transportar o escoamento do descarregador até o leito original do rio. Para acelerar o escoamento e prevenir a submersão do descarregador, esse canal é inserido ou feito em local que apresenta certa declividade, e qualquer mudança na disposição ou no alinhamento pode causar a formação de ondas supercríticas.

Alguns projectistas consideraram o uso de muros de guia entre as paredes a jusante para acelerar o fluxo para longe do labirinto. Portanto, o efeito destes muros também deve ser considerado.

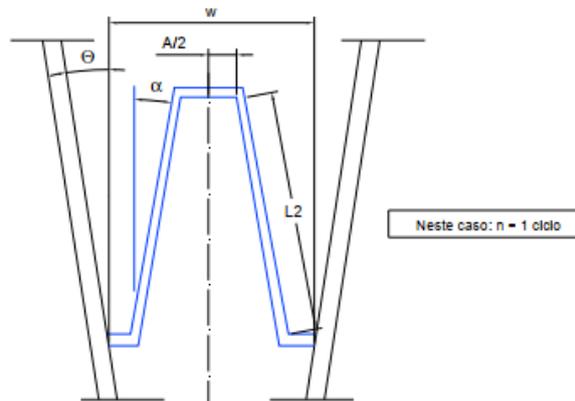


Figura 15- Configuração proposto por melo et al. (2002) para descarregadores labirinto com apenas um módulo.

Falvey (2003) recomenda que o canal de descarga seja inserido em um local com devida inclinação, diminuindo a tendência de submersão e melhorando a aeração da crista do descarregador.

Houston (1983) conduziu um estudo da Barragem de Hyrum onde o programa de teste incluiu várias orientações e posicionamentos do descarregador labirinto em relação ao canal de descarga do reservatório (normal, inverso, nivelado e parcialmente projetado) do descarregador labirinto de dois módulos. Exemplos de configurações de módulo linear e quatro orientações e posicionamentos gerais de descarregador em labirinto são apresentados na **Figura 16**.

Houston (1983) verificou que a capacidade da estrutura aumenta quando o labirinto é projetado para dentro do reservatório, a descarga é 20% maior, se comparada às estruturas posicionadas na entrada do canal. Entretanto, essa condição está aliada a

posição invertida do labirinto. Em seu trabalho, HOUSTON (1983), verificou experimentalmente que a posição invertida é menos eficiente.

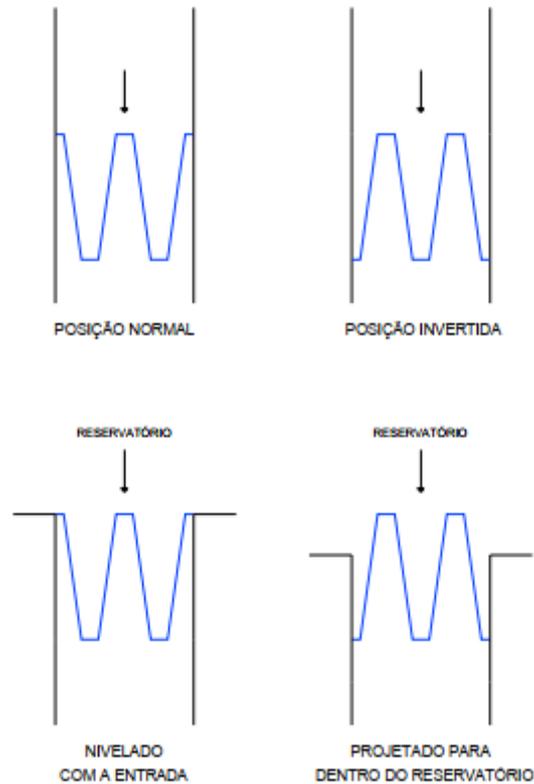


Figura 16- locação e orientação do descarregador labirinto proposta por Houston(1983)

2.10 Submersão

A submersão de descarregadores em labirintos ocorre quando o nível da água no espaço entre os descarregadores excede a elevação da crista, diminuindo a vazão sobre o descarregador. A submersão (h_d), é descrita pela altura da água residual acima da crista do descarregador. Para descarregadores de crista acentuada, a vazão submersa (Q_s) é determinada pela equação de Villemonte, que relaciona a vazão com a altura da água a montante e a queda a jusante na crista do descarregador.

$$Q_s = Q \left[1 - \left(\frac{h_d}{h} \right)^{1.5} \right]^{0.385} = Q \left[1 - \left(\frac{h_d P}{P h} \right)^{1.5} \right]^{0.385} \quad (25)$$

em que:

- Q a vazão, determinada a partir da carga hidráulica de montante, h
- h_d = a carga hidráulica jusante na crista do descarregador.

Taylor (1968) descobriu que o efeito da submersão em descarregadores labirintos, com a elevação da água a jusante igual à elevação da crista do descarregador, nenhum efeito foi observado na curva de projecto, quando nível piezométrico a jusante se torna mais elevada do que a crista é que a descarga começa a diminuir. Taylor (1968) mostra que, à medida que a submersão aumenta, o fluxo sobre o descarregador diminui e observou que a equação de Villemonte descreve bem os efeitos da submersão para valores altos de h/P .

A configuração do canal a jusante também influencia significativamente o desempenho do descarregador labirinto. A interferência de Lâmina, um canal inclinado a jusante, em vez de um canal plano, pode reduzir a interferência efetiva por um fator de 2.5, mesmo quando a crista está longe de estar submersa.

2.11 Dissipação de energia

O estudo de LOPES et al. (2006) investiga a energia específica residual em descarregadores em labirinto. MAGALHÃES e LORENA (1994) *apud* LOPES et al. (2006), realizaram experimentos no LNEC com descarregadores labirinto de crista trapezoidal e perfil tipo WES, em um canal horizontal e retangular. Medindo a vazão e a altura do escoamento a montante e a jusante, desenvolveram um ábaco para estimar a energia específica residual. Comparando os resultados do ábaco com ensaios em modelos reduzidos das Barragens de Teja e Koudiat, notaram-se diferenças devido à dificuldade de medir a altura do escoamento a jusante com precisão. A equação (26) de regressão obtida ($r = 0.998$) valida os resultados experimentais.

$$\frac{H_0}{H_j} = 0.571 + 0.254 \times \ln\left(\frac{H}{P}\right) + 0.199 \times \ln \times \left(\frac{l}{w}\right) \quad (26)$$

Lopes et al (2006), em seu estudo também concluiu que os descarregadores em labirinto são ótimos dissipadores de energia, dispensando tendo vantagens econômicas incluem a redução da necessidade de bacias de dissipação, o que resulta em menor volume de escavação e custos reduzidos de construção e manutenção.

2.12 Principais estudos feitos

A evolução do estudo dos descarregadores em labirinto ao longo do tempo revela um desenvolvimento progressivo que tem sido impulsionado por avanços na compreensão das complexidades hidráulicas e geométricas dessas estruturas. Desde a abordagem empírica de Murphy os estudos pioneiros de Gentilini que destacaram a

necessidade de abordagens empíricas, até as investigações contemporâneas que incorporam simulações numéricas de alta precisão, a jornada de pesquisa tem se caracterizado por um aprofundamento constante.

A cronologia da pesquisa sobre os descarregadores em labirinto é destacada a seguir, por meio da contribuição de diversos pesquisadores renomados:

2.12.1 Primeiras abordagens [1909-1955]

Segundo Schleiss et al. (1998), o italiano Bruno Gentilini, em 1941, foi um dos primeiros a destacar as vantagens dos descarregadores de soleira em labirinto, Gentilini investigou várias configurações de descarregadores com crista padrão aguda em diferentes ângulos entre cristas (α), detalhados na **Figura 17**. Ele projectou uma estrutura com comprimento efetivo de crista mais de três vezes superior ao de um descarregador recto, descarregando $17 \text{ m}^3/\text{s}$ no jusante. Para acomodar o espaço estreito na seção de transbordamento, Murphy organizou sete módulos de 3 m de comprimento e 1,5 m de largura, resultando em um comprimento total da crista de 60 m em um canal de 18 m de largura. Testes indicaram que a descarga foi praticamente idêntica à de um de soleira recta padrão de comprimento equivalente.

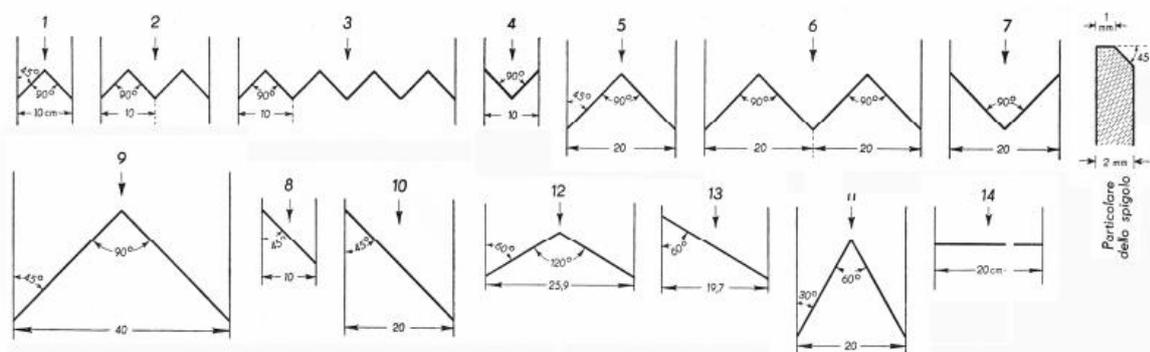


Figura 17- Planos de geometrias de descarregadores em labirinto testadas por Gentilini (1941) apud (Hager, Schleiss, Boes, & Pfister, 1998).

Fonte: (Hager, Schleiss, Boes, & Pfister, 1998, p. 3)

2.12.2 Estudos Hay e Taylor [1968-1970]

Nessim Hay e Geoffrey Taylor realizaram estudos experimentais e teóricos sobre descarregadores em labirinto com várias geometrias de crista plana, incluindo formas trapezoidais, triangulares e retangulares. Taylor (1968) focou-se nos parâmetros que influenciam o fluxo sobre descarregadores labirinto, determinando variáveis cruciais como a ampliação do fluxo (Q_L/Q_N), razão ampliação (l/w), razão de afogamento (h/P),

razão de aspecto vertical (w/P), ângulo da parede lateral (α), e o número de módulos (N). Os seus experimentos incluíram descarregadores com altura de crista variando de 12,88 cm a 18,03 cm, testando várias configurações em um canal de teste controlado.

Os resultados dos testes de Taylor mostraram que o parâmetro (Q_L/Q_N) tende a diminuir com o aumento da razão entre a profundidade do fluxo e a altura da crista (h/P). Este comportamento deve-se à interferência do fluxo dos módulos adjacentes, que se torna significativa com o aumento da profundidade do fluxo, reduzindo assim a capacidade de cada módulo. Adicionalmente, verificou-se que a eficácia do desempenho do descarregador diminui com o aumento da ampliação do comprimento (l/w), sendo que os melhores resultados foram observados com valores de l/w próximos a 2, onde o descarregador labirinto atua quase como um descarregador recto.

Outra conclusão importante foi que a razão de aspecto vertical (w/P) não afeta significativamente o desempenho do descarregador para valores de $w/P \geq 2,5$ em geometrias triangulares e $w/P \geq 2,0$ em geometrias trapezoidais., o número de módulos (N) não impacta significativamente o valor de Q_L/Q_N .

No entanto, desaconselharam o uso de descarregadores labirinto em condições submersas ou com um nível de água a jusante alto que removeria a cavidade de aeração atrás do escoamento, baseado na eficiência hidráulica. Devido ao melhor desempenho das formas planas triangulares e trapezoidais, Hay & Taylor (1970) recomendou o uso destas geometrias para projectos futuros, fornecendo gráficos de projecto específicos para estas configurações são mostrados nos anexos **A2-1** e **A2-2**.

2.12.3. Darvas [1971]

Louis A. Darvas em Darvas (1971) concordou em parte com a análise de Hay e Taylor sobre os parâmetros determinantes da capacidade de fluxo dos descarregadores labirinto, como L/W , w/P , a e h/P . No entanto, ele criticou o método indirecto de apresentação do desempenho, especialmente o uso de um presumível descarregador linear para calcular a ampliação do fluxo. Darvas propôs simplificar o cálculo, excluindo o descarregador linear e promovendo um gráfico de projecto mais directo, onde o coeficiente de descarga do descarregador labirinto " C_w " é gerado em relação à ampliação do comprimento (l/w) para diferentes valores constantes da razão entre profundidade de fluxo e altura da crista (h/P).

Os estudos de Darvas (1971) basearam-se em modelos hidráulicos tridimensionais dos descarregadores do labirinto de Avon e Woronora, conduzidos no Laboratório Hidráulico do Metropolitan Water Sewerage and Drainage Board (MWS&DB) em Sydney, Austrália. Ele demonstrou que seus resultados estavam em consonância com os de Hay e Taylor (1970). Os testes de Darvas foram realizados com as seguintes condições: a ampliação do comprimento (L/W) variou de 1 a 8, a razão afogamento (H/P) foi de 0,2 a 0,6, o ângulo da parede lateral máximo ($\alpha_{\text{máx}}$) foi maior que 0,80 vezes o ângulo normal, a proporção vertical (w/P) foi maior que 2,0 e houve fluxo livre sobre o descarregador. A forma testada foi um plano trapezoidal com um leito de canal horizontal e uma crista de um quarto de círculo.

Darvas propôs uma forma alternativa de apresentar o desempenho do descarregador labirinto, utilizando um gráfico de projecto directo e uma equação de descarga empírica (27).

$$C_w = \frac{Q}{W \times h^{1.5}} \quad (27)$$

Onde C_w - coeficiente de descarga de Darvas, este coeficiente tem as unidades de $\text{ft}^{0.5}/\text{sec}$.

Este gráfico de projecto, baseado coeficiente de descarga de Darvas mostra “ C_w vs. l/w ”, incluindo curvas de projecto h/P para descarregadores de labirinto trapezoidal com $w/P \geq 2$. Os dados de suporte para este método de projecto são limitados a cristas de formato normal, de um quarto de círculo, e baseiam-se em estudos de modelos físicos das barragens de Avon e Woronora.

Magalhães (1983) através da conversão de unidades para Q_L (m^3/s) e a utilização de um coeficiente de vazão adimensional (μ_w), um novo ábaco (anexo) foi definido com base no ábaco apresentado no anexo **A.2.3**

A vazão é calculada com a seguinte lei:

$$Q = \mu_w \times W \times h^{3/2} \times \sqrt{2g} \quad (28)$$

2.12.4 Hinchliff, Houston e Lux [1984-1985]

Segundo Houston (1984), o Departamento do Interior Bureau of Reclamation (USBR) dos EUA conduziu estudos hidráulicos detalhados em diversos descarregadores

labirinto, revisando e ampliando os trabalhos de Hay e Taylor. No descarregador da barragem de Ute, as principais críticas foram o uso inadequado da medição de profundidade e a limitação das curvas de projecto a valores de h/P de até 0,5. Testes em modelos de alumínio revelaram que a forma triangular proporcionava maior fluxo do que a trapezoidal e que a inclusão de pilares arejamento na crista melhorava a aeração e reduzia a pressão negativa. Esses estudos resultaram em curvas de projecto modificadas, permitindo que o descarregador de 14 módulos na barragem de Ute passasse a vazão máxima desejada, ao contrário do design original de 10 módulos.

Estudos de adicionais de Houston (1984), no descarregador auxiliar da barragem de Hyrum confirmaram que boas condições de entrada (abordagem curva) são mais importantes para a eficiência do que a orientação do descarregador. Na barragem de Carty, verificou-se que a capacidade de fluxo em profundidades elevadas era significativamente inferior aos valores extrapolados das curvas de Hay e Taylor. Houston (1984) consolidou essas descobertas, destacando a importância das definições de carga a montante e alinhando as diretrizes de projecto com as curvas de Hay e Taylor.

Lux e Hinchliff (1985) discutiram o projecto e a construção de descarregadores labirinto, baseando-se em estudos hidráulicos realizados pelo USBR e outros pesquisadores como Taylor e Darvas. Eles destacaram que os principais fatores que influenciam o desempenho de um descarregador labirinto são a forma do plano, a vazão máxima e a altura de projecto. Na fase de projecto, geralmente a vazão máxima e a altura manométrica já estão definidas, tornando crucial a escolha da geometria do labirinto para obter o melhor desempenho. Lux e Hinchliff (1985) apresentaram um gráfico de projecto onde o coeficiente de descarga é gerado em relação à razão entre a carga hidráulica total e a altura da crista (H/P), para vários valores constantes da ampliação do comprimento l/w . Sua equação para a descarga de um módulo é dada por:

$$Q = C_x \times \left(\frac{w/P}{w/P + k} \right) \times w \times N \times H_0 \times \sqrt{g \times H_0} \quad (29)$$

onde:

- k = uma constante de forma; 0,18 para formas triangulares e 0,1 para formas trapezoidais;

A equação de descarga deles mostrou que o uso de uma crista arredondada aumentava o coeficiente de descarga em comparação com uma crista acentuada. Lux e Hinchliff também discutiram o projecto estrutural e as considerações de construção baseadas na experiência do USBR com a Barragem de Ute, enfatizando a análise de estabilidade de um módulo labirinto, incluindo pressões de contracto, deslizamento e suporte de fundação.

Esta equação não aplica quando parâmetro $w/P \leq 2,0$. As curvas de Lux e Hinchliff (1985) são dadas no anexo **A.2-4** e **A.2-5** e é para formas planares triangulares e trapezoidais.

2.12.5 Magalhães e Lorena [1985-1989]

Magalhães e Lorena (1989) investigaram o projecto hidráulico de descarregadores labirinto, com base em estudos experimentais conduzidos no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). No artigo de Magalhães (1985), foram apresentados os resultados de estudos de modelos hidráulicos para as barragens de Harrezza, Dungo e Keddara, realizados no LNEC entre 1980 e 1984, durante esses experimentos, os pesquisadores observaram discrepâncias significativas entre as vazões reais e as previsões teóricas feitas por modelos anteriores, como os de Hay e Taylor e Darvas. No caso do Descarregador Labirinto da Barragem de Harrezza, foi observado que, para $H/P \geq 0,54$, a vazão real foi 17% menor que a prevista pelas curvas de Hay e Taylor, e de Darvas, destacando a importância de testes de modelos hidráulicos para validar projectos de descarregadores labirintos.

Em resposta a essas discrepâncias, os pesquisadores desenvolveram um novo método de projecto que inclui um coeficiente de descarga adimensional, coeficiente de Magalhães e Lorena, C_P , derivado de estudos anteriores de Darvas (1970). Este novo coeficiente, C_P , foi ajustado para dados experimentais coletados pelo LNEC, proporcionando uma maneira mais precisa de calcular a vazão de descarregadores labirinto, especialmente sob condições variáveis de carga. Magalhães e Lorena revisaram a fórmula tradicional de cálculo de vazão, incorporando o coeficiente de descarga de Darvas, C_w , e adaptando-o para unidades de medida específicas utilizadas nos estudos hidráulicos.

Magalhães & Lorena (1989): propuseram um novo ábaco de projecto, veres no anexo **A.2-6**, para estimar o valor do coeficiente de descarga (C_p) calculado em função

da ampliação do comprimento (l/w), válido para: $0,1 \leq Ht/P \leq 1,0$; $2 \leq l/w \leq 5$; $w/P \geq 2,5$, que a lei é definida por:

$$C_p = \frac{Q_L}{W \times \sqrt{2g} \times H^{1.5}} \quad (30)$$

2.12.6 Tullis, Amanian e Waldron [1987-1995]

A pesquisa sobre descarregadores labirínticos por Tullis et al. (1995), revolucionou a configuração e a otimização dessas estruturas hidráulicas complexas. A abordagem desenvolvida integra uma análise detalhada dos fatores que afetam o desempenho do descarregador, começando com a definição do coeficiente de descarga, de Tullis, C_T , conforme derivado da equação (31) do estudo original. Este coeficiente, crucial para a eficiência operacional do descarregador, é determinado com base na pesquisa de Amanian (1987), Waldron (1994), e no modelo específico para Standley Lake por Tullis (1993).

$$Q_L = C_T \times L \times \frac{2}{3} \times \sqrt{2g} \times H^{1.5} \quad (31)$$

No Utah Water Research Laboratory (UWRL), uma série de experimentos foram conduzidos para avaliar o coeficiente de crista de descarregadores labirínticos. Os estudos de Amanian (1987) e Waldron (1994) investigaram várias configurações de descarregadores labirínticos, utilizando um descarregador padrão de 1,0 m de largura e diferentes formas de crista (pontaguda, plana, quarto de volta e meia volta). Esses estudos variaram a altura do descarregador (entre 152-229 mm), o ângulo entre paredes do labirinto (de 6° a 35°) e a espessura da parede, entre outros parâmetros. A razão (H/P) foi identificada como um fator crítico, onde valores acima de 0,9 podem comprometer a eficiência do labirinto.

Além disso, o estudo ressaltou a importância da aeração da superfície da água na veia líquida, que afecta diretamente o coeficiente de crista e, conseqüentemente, a capacidade do descarregador. Descarregadores labirínticos são mais suscetíveis a aeração em comparação com descarregadores lineares, e isso deve ser levado em consideração durante o projecto para garantir que os coeficientes de crista estimados sejam aplicáveis às condições reais de operação. O ábaco de projecto preparado por Tullis et al. (1995) veda no anexo **A.2-7**.

2.12.7 Melo, Ramos e Magalhães [2000-2002]

O estudo realizado por Melo et al. (2002) investiga a influência do ângulo formado pelos muros do canal convergente (θ) na curva de descarga de descarregadores labirinto com crista de apenas um módulo. Os autores afirmam que, além dos parâmetros geométricos do descarregador, as características hidráulicas podem ser significativamente afetadas pelas condições de aproximação do escoamento, devido à complexidade do processo. Este ocorre em zonas de geometria assimétrica, resultantes dos efeitos das margens, e apresenta velocidade de escoamento significativa, pois os canais de aproximação são pouco profundos por razões econômicas. Embora esses parâmetros tenham sido previamente identificados na literatura, não haviam sido quantificados de forma adequada.

Utilizando os valores de k_θ em função de H/P e θ , Melo et al. (2002) corrigiram a equação proposta por Magalhães & Lorena (1989). Os resultados foram apresentados graficamente, sendo válidos para labirintos com crista de um módulo. Foi observada uma redução na capacidade de descarga da estrutura em condições de afogamento por jusante, especialmente para $Ht/P > 0,44$ e $\theta > 30^\circ$, onde a vazão será dada por:

$$Q = k_\theta \times C_p \times W \times \sqrt{2g} \times H^{1.5} \quad (32)$$

O estudo considera o parâmetro k_θ uma correção válida ao coeficiente de descarga do descarregador, contribuindo para a segurança ao incorporar a convergência dos muros. O ábaco de projecto preparado por Melo et al (2002), vedes no anexo **A.2-8**.

2.12.8 Tullis, Young e Chandler [2005-2007]

O estudo realizado por Tullis et al. (2007) desenvolveu novas relações adimensionais para a carga submersa em descarregadores labirinto e lineares com crista de perfil chanfrado. Os autores destacam que as vantagens dos descarregadores labirinto, amplamente discutidas na literatura, permitem uma gama de aplicações, inclusive em condições de submersão. Eles observam que descarregadores labirinto de baixa carga operacional, instalados em canais levemente inclinados ou em locais com restrições no canal de jusante, como vegetação densa, podem enfrentar condições de submersão.

Nos experimentos de Tullis et al. (2007), foram testados três tipos de descarregadores labirinto com crista de perfil chanfrado, determinando-se dois novos coeficientes adimensionais: um relacionando a carga total de jusante e montante para

condições de escoamento livre (H_d/H_0) e outro determinando o fator de amplificação da carga de montante (H^*/H_0) em condições de submersão como exemplifica a **Figura 18**.

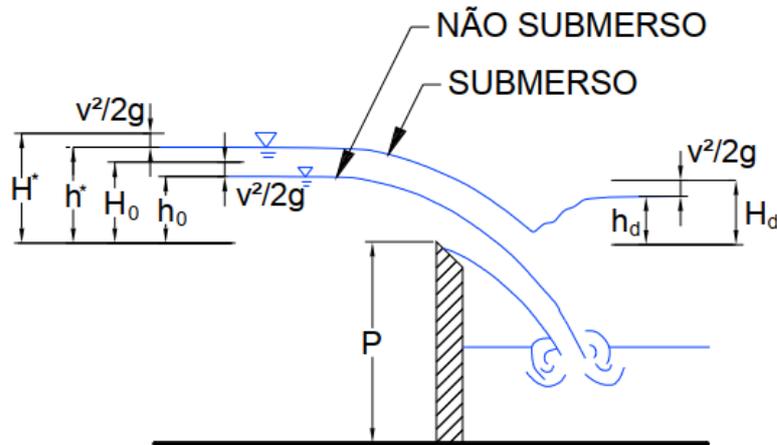


Figura 18- Parâmetros definidos por Tullis et al. (2007) para as condições de escoamento livre e submerso.

Os testes cobriram várias faixas de vazão e níveis de submersão, e a variação dos perfis de crista foi considerada pequena. O fator de redução da vazão foi calculado e comparado com a equação de Villemonte, confirmando que a submersão afeta menos os descarregadores labirinto do que os lineares.

Os resultados de Tullis et al. (2007) indicaram que à medida que o nível de submersão (H_d/H_0) se aproxima de zero, o descarregador labirinto opera com condições de escoamento livre, onde a carga montante é minimamente afetada. Com o aumento da submersão, o nível da água a jusante se eleva próximo ao nível montante, reduzindo a eficácia do descarregador labirinto como estrutura de controle. O estudo revelou que variações nos ângulos α de 7° , 8° e 20° resultaram em pequenas diferenças nos efeitos de submersão, aproximando o desempenho dos descarregadores labirinto dos lineares quando α se aproxima de 90° . Os autores concluíram que novos parâmetros adimensionais são necessários para representar com precisão a relação entre vazão e carga de descarregadores labirinto submersos.

$$\frac{H^*}{H_0} = 0.332 \times \left(\frac{H_d}{H_0}\right)^4 + 0.2008 \times \left(\frac{H_d}{H_0}\right)^2 + 1; \quad 0 \leq \frac{H_d}{H_0} \leq 1.53 \quad (33)$$

$$\frac{H^*}{H_0} = 0.9379 \times \left(\frac{H_d}{H_0}\right) + 0.2174; \quad 1.53 \leq \frac{H_d}{H_0} \leq 3.5 \quad (34)$$

$$\frac{H^*}{H_0} = 1; \quad 3.5 \leq \frac{H_d}{H_0} \quad (35)$$

2.13 Parâmetros de projecto

Estudos de pesquisa publicados desenvolveram vários parâmetros de projecto para auxiliar os engenheiros na otimização e projecto de barragens de labirinto. A secção a seguir discute a influência de cada parâmetro na capacidade de descarga de uma barragem de labirinto, incluindo quaisquer estudos ou conclusões importantes encontradas na literatura publicada.

Diretrizes gerais para seleção de parâmetros

2.13.1 Afogamento (H_0/P).

O afogamento é uma medida adimensional que compara a carga total em relação à elevação da crista da barragem ($H_0 = h + V^2/2g$), dividida pela altura da barragem, H_0/P . Como o coeficiente de descarga tende a diminuir com o aumento da altura manométrica, as barragens de labirinto são mais apropriadas quando essa altura é reduzida. (Crookston, 2010)

Esta razão é usada frequentemente como eixo em gráficos que representam o desempenho hidráulico de descarregadores em labirinto. Vários pesquisadores, incluindo Hay e Taylor e Lux, recomendaram limites superiores para H_0/P com base em resultados experimentais que demonstraram queda na eficiência hidráulica. Lux (1989) sugere uma razão máxima de 0.45 a 0.50, enquanto Tullis et al (1995), propõem um limite de 0,9 baseado em resultados experimentais.

2.13.2 Razão de largura de módulo (w/P).

A razão de largura de módulo (w/P), conhecida como razão de aspecto vertical, é uma consideração crucial nos estudos de descarregadores em labirinto. Magalhães e Lorena (1989) sugerem que essa relação, que mede a largura do módulo do descarregador em relação à altura da parede, deve ser superior a 2,5 para minimizar a interferência da lâmina líquida. Outras recomendações de projeto foram propostas por Amaniam, Tullis e Waldron (1995), que sugerem valores entre 3,0 e 4,0 para w/P . Lux e Hinchliff (1989) inicialmente recomendaram valores entre 2,0 e 2,5 para orientar os projetos iniciais de descarregadores em labirinto.

Falvey (2003), com base em pesquisas sobre interferência na lâmina líquida, contestou a influência significativa dessa razão na interferência na veia líquida, substituindo esse critério pelo conceito de comprimento de perturbação. Este parâmetro

foi posteriormente considerado menos relevante, conforme evidenciado pelo estudo de Paxson & Savage (2006). Eles discutiram a influência de w/P no desempenho hidráulico dos descarregadores labirinto, destacando que valores mínimos de 2 a 3 são recomendados por métodos como os de Lux e Tullis, embora pesquisas indiquem que valores menores ainda podem ser eficazes. Utilizando simulações computacionais, mostraram que na Barragem Dog River, ao reduzir w/P de 2,5 para 1,5, houve um aumento de 14,19% no desempenho do descarregador.

2.13.3 Razão de ampliação (l/w)

A razão de ampliação (l/w), onde l é o comprimento de crista um módulo da crista do descarregador em labirinto e w é a largura da abertura de descarga de um módulo, é um parâmetro fundamental que influencia o desempenho hidráulico dessas estruturas. Essa razão tem sido objecto de estudos e observações detalhadas visando entender sua influência sobre a eficiência dos descarregadores em labirinto.

Ao longo dos anos, diferentes pesquisadores contribuíram para estabelecer recomendações e limites para a razão de ampliação. Tullis et al. (1995) sugeriram valores entre 3,0 e 4,0 para otimizar o desempenho dos descarregadores em labirinto, Taylor (1968) acordo com sua pesquisa, para minimizar a interferência da lâmina líquida, a razão de aspecto vertical (l/w) deve ser maior que 2. Por sua vez, Magalhães e Lorena (1989) propuseram um valor mínimo de 2.5 para essa relação, enquanto Lux e Hinchliff (1989) estabeleceu um limite superior de 2.0.

2.13.4 Razão de Espessura Relativa (P/t).

Na prática, a espessura mínima de parede necessária seria determinada a partir de um projecto estrutural e análise das paredes do descarregador. A orientação hidráulica foi dada com base nas geometrias dos modelos físicos testados. (Amaniam, Tullis, & Waldron, 1995) apresenta $P/t = 6$, modelos testados por Willmore (2004) correspondem a $P/t = 8$.

2.13.5 Razão do ápice (A/w).

A se refere ao comprimento do ápice interno de uma barragem de labirinto, conforme mostrado na **Figura 5**. Os vértices são comumente usados para facilitar a construtibilidade de descarregador de labirinto de betão (cofragem e colocação da armadura). Do ponto de vista hidráulico, estruturas com uma transição suave no ápice a montante (por exemplo, descarregador de labirinto triangular, descarregador de teclas

de piano) são ligeiramente mais eficientes do que a transição abrupta tipicamente encontrada em descarregador de labirinto trapezoidais. Por outro lado, há pouca diferença de desempenho em relação aos ápices a jusante devido à presença de um vórtice circulante ou zona de estagnação (Crookston, 2010)

A interferência aumenta com o aumento da razão do ápice. No entanto, considerações de construção frequentemente ditam o uso de uma largura de ápice finita. Valores da razão do ápice menores que 0,08 não terão um efeito significativo no desempenho de um descarregador em labiríntico (Falvey, 2003)

Segundo o (Amaniam, Tullis, & Waldron, 1995), os métodos de projecto tamanhos A como $t \leq A \leq 2t$. A/w é o resultado da optimização de L , α e N em uma área de descarregadores disponível e os requisitos estruturais da barragem.

2.13.6 Proporção de Comprimento de Interferência (L_{de}/L_1)

A Proporção de Comprimento de Interferência (L_{de}/L_1) é um parâmetro crucial no dimensionamento de descarregadores de soleira, que analisa a razão entre o comprimento da interferência da lâmina vertente (L_{de}) e o comprimento do braço (L_1). Esse indicador desempenha um papel significativo na eficácia do descarregador, uma vez que influencia directamente a magnitude da interferência dos fluxos adjacentes, um fenómeno que pode comprometer a eficiência do processo de descarga. Valores mais baixos de L_{de}/L_1 indicam uma maior interferência de fluxos adjacentes, podendo levar a perdas de energia e problemas operacionais.

A equação (36) de Indlekofer e Rouve (1975) é usada em vez de equações sugeridas com base em estudos de modelos de descarregador labirínticos. Quando a investigação sobre interferência em aterros labirínticos estiver concluída, essa equação será substituída por uma mais precisa.

A razão entre o comprimento da perturbação e o comprimento da parede lateral, L_{de}/L_1 , deve ser menor ou igual a 0,3. Isso pode ser escrito como:

$$\frac{L_{de}}{L_1} = \frac{h}{L_1} \times 6.1 \times e^{-0.052\alpha} \leq 0.3 \quad (36)$$

3 MODELAÇÃO DA FERRAMENTA DE CÁLCULO PARA DIMENSIONAMENTO HIDRAÚLICO DE DESCARREGADOR EM LABIRINTO

Neste capítulo, será detalhado o modelo da ferramenta de cálculo automático proposto para dimensionar os descarregadores de soleira em labirinto. A ferramenta de cálculo foi desenvolvida com base nos conceitos e princípios explicados anteriormente, buscando simplificar e agilizar o processo de dimensionamento.

A ferramenta de cálculo será desenvolvida com o objectivo principal de dimensionar hidraulicamente um descarregador em labirinto que seja económico e eficiente. Este é um grande desafio, dado as características do fluxo e as condicionantes permanentes do meio ambiente e financeiras envolvidas.

Como característica, a ferramenta de cálculo será uma ferramenta flexível e adaptável às diferentes condições do fluxo, além de ser de fácil manuseio. Ele observará todos os parâmetros e condições propostas por estudos realizados por diversos pesquisadores que já obtiveram comprovação prática e resultados positivos.

3.1 Procedimentos para o dimensionamento

O projecto para o descarregador de uma barragem é acoplado ao projecto da barragem, estudos geológicos, topográficos para implantação do descarregador são importantes. A partir destes estudos é possível obter dados relevantes para o dimensionamento do descarregador.

Os materiais necessários:

- Carta topográfica ou DEM's aplicado em Software (Qgis, ArcGis)
- Curva IDF da região seleccionada
- Curvas de vazão do descarregador

Os passos a seguir para o dimensionamento das estruturas de descarga hidráulica em labirinto são:

1º Procedimento: Obtenção da curva das áreas inundadas e volumes acumulados.

A partir da carta topográfica, obtém-se a área inundada entre as curvas de nível que fazem com secção da descarga. Recolhendo as cotas de cada curva de nível e a

área que permeia a secção drenante, cria-se a curva da área inundada. Com o auxílio da ferramenta *Trendline* do Microsoft Excel, obtém-se a equação $A(h)$, que é utilizada para a posterior integração e obtenção da curva dos volumes armazenados $S(h)$.

2º Procedimento: Perfil transversal e longitudinal

Com a obtenção das cotas de cada curva de nível na secção de descarga e a distância entre as curvas de nível na secção de coroamento, obtém-se o perfil transversal. Com o software QGIS², recorrendo à ferramenta *fTool*, obtém-se os pontos das coordenadas na secção de descarga. O mesmo procedimento é realizado para obter o perfil longitudinal, recolhendo as cotas e o comprimento do curso de água.

3º Procedimento: Obtenção da curva do Hidrograma de cheias.

Primeiro, calcula-se o risco hidrológico a partir da estimativa do período de retorno das cheias e da vida útil do descarregador. Em seguida, calcula-se o tempo de concentração, que é determinado pelo menor tempo obtido através das fórmulas de Témez e Kirpich. A estimativa do caudal de pico pode ser realizada aplicando diversos métodos: estatísticos, empíricos e cinemáticos. Entre estes, a equação de Francou-Rodier é a mais recomendada para a região austral africana e é apropriada para pequenas barragens. Calcula-se o tempo de pico e o tempo de base; com esses dados, obtém-se o hidrograma de cheias.

4º Procedimento: Seleção da curva de vazão

As leis de vazão propostas por diferentes autores, abordadas no presente trabalho estabelecem relações matemáticas entre a vazão e as características geométricas do descarregador em labirinto e outros parâmetros relevantes. Serão consideradas as seguintes leis de vazão:

- Ábaco de Hay & Taylor: para descarregadores em forma triangular e trapezoidal
- Ábaco de Darvas: para descarregadores em forma trapezoidal
- Ábaco de Lux e Hinchliff: para descarregadores em forma triangular e trapezoidal
- Ábaco de Magalhães e Lorena: para descarregadores em forma trapezoidal
- Ábaco de Tullis: para descarregadores em forma triangular

² QGIS - Quantum Geographic Information System

- **Ábaco de Magalhães e Melo:** para descarregadores em forma trapezoidal

Para a aplicação automática dessas leis de vazão, foi necessário realizar um trabalho preliminar de parametrização das curvas, que estavam disponíveis digitalmente nos artigos publicado pelos autores dos ábacos. As curvas obtidas foram aproximadas para uma função $Y=f(x)$, como podem ser consultadas no anexo **A.3-1** e **A.3-2**

Os quadros com as funções de ajuste das curvas dos ábacos estão apresentados nos anexos **A.3-1** até **A.3-2**.

A selecção da melhor curva de vazão é um aspecto fundamental do processo. Essa escolha foi sustentada em revisões de artigos científicos e estudos próprios. Um estudo conduzido por Lopes et al. (2006) comparou diversos métodos para estimar o coeficiente de descarga, excluindo o método de Hay e Taylor devido à incompatibilidade com os dados experimentais utilizados. Cassidy et al. (1985) observaram que o método de Hay e Taylor superestimava a vazão em 20% a 25% para altas cargas operacionais. Lopes et al. (2006) constataram que os métodos de Magalhães e Lorena, Lux & Hinchliff e Tullis fornecem resultados similares (diferenças menores que 10%) para $Ht/P > 0,1$. Em contraste, os resultados de Darvas foram 11% a 25% maiores, devido ao uso da carga piezométrica em vez da carga total, corroborando com Magalhães e Lorena (1989) que indicaram valores 15% a 25% menores que os de Darvas. Falvey (2003) realizou um estudo analisando as curvas de vazão, concluindo uma concordância com os estudos de Lopes et al. (2006), indicando uma similaridade em torno de 4% entre as curvas de Lux, Magalhães e Tullis.

Estudos comparativos das curvas desenvolvido pelo variando a vazão em função do parâmetro H/P , verificaram que o desvio padrão médio em relação à média da curva de Magalhães foi o menor, 3,9%, seguido pelas abordagens de Lux com 4,5% e Tullis com 7,8%. As abordagens de Hay e Taylor apresentaram desvios menores em 18%, enquanto as de Darvas foram maiores em 23% como foi ilustrado um diagrama comparativo na **Figura 19**.

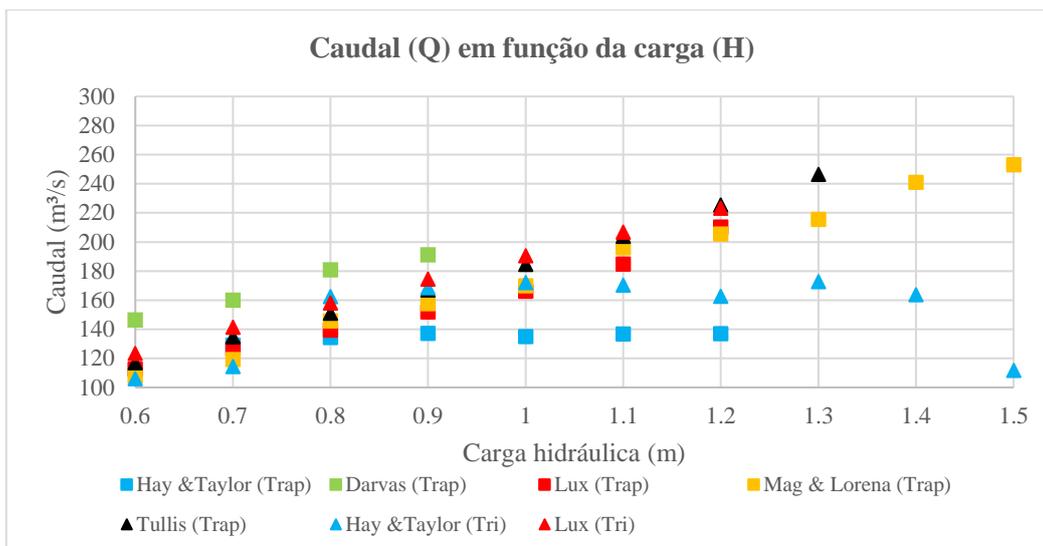


Figura 19- Comparação entre as curvas de vazão

Com base nestes argumentos adoptou-se a curva de Magalhães e Melo (adaptação da curva de Magalhães e Lorena) pelos seguintes motivos:

1. As curvas Darvas e Hay & Taylor mostraram diferenças significativas em relação às outras curvas de vazão, apresentando discrepâncias notáveis quando comparadas à vazão real em situações de carga elevada
2. A curva de Melo e Magalhães tem a aprovação do LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Portugal), conferindo credibilidade e validação técnica. Os parâmetros de projecto e termos técnicos são aplicáveis na legislação moçambicana, facilitando a conformidade regulatória e a aprovação do projeto.
3. A similaridade com outras curvas de projecto, como as de Tullis e Lux, indica uma concordância das curvas de Melo e Magalhães com outros ábacos renomados.
4. A inclusão dos muros convergentes é uma técnica eficaz para aumentar o caudal escoado, auxiliando no controle do fluxo e na maximização da capacidade de escoamento dos descarregadores.

5º Procedimento: Obtenção do Caudal de projecto do descarregador e Carga hidráulica de definição (H_0)

O procedimento aplicado para a obtenção do caudal e carga hidráulica de projecto baseia-se no método de Puls, que utiliza conceitos de amortecimento de cheias.

O método de Puls é uma técnica de roteamento hidrológico utilizada para modelar o comportamento de reservatórios ou bacias hidrográficas. Ele se baseia na conservação

de massa, considerando a variação de volume armazenado, a entrada e a saída de fluxo ao longo do tempo. Este método é útil para prever as respostas hidrológicas e hidráulicas em sistemas de armazenamento e controle de cheias.

Este método desconsidera a ocorrência de precipitação na albufeira, assim como evaporação e outras perdas durante o período da cheia. O erro introduzido por esta simplificação geralmente é pequeno, uma vez que essas variáveis correspondem a volumes de água relativamente pequenos, dado que as cheias têm duração curta.

O método de Puls baseia-se na equação simplificada do balanço hídrico na albufeira:

$$I_t + I_{t+\Delta t} + \frac{2S_t}{\Delta t} - O_t = \frac{2S_{t+\Delta t}}{\Delta t} + O_{t+\Delta t} \quad (37)$$

em que:

- I_t e $I_{t+\Delta t}$ - Caudal afluyente
- O_t e $O_{t+\Delta t}$ - Caudal descarregado
- S_t e $S_{t+\Delta t}$ - Volume armazenado

Para obter o caudal máximo descarregado e a carga hidráulica de projeto, seguir-se-á uma abordagem iterativa, adotando valores dos parâmetros H_o , W , l/w , P e θ . Com a aplicação do método de Puls, ao final do cálculo, obteve-se os hidrogramas $h(t)$, $S(t)$, $O(t) = Q_d(t)$ e $cd(Q)$, bem como o volume de encaixe da cheia, caudal máximo descarregado e o nível máximo atingido. Quando a cheia considerada é a cheia de projeto, o nível máximo atingido é o NMC e a vazão máxima descarregada é o Q_p (caudal de projeto do descarregador). A carga hidráulica de operação (H_o) deve ser confirmada se verificar positivamente as condições de afogamento, com $0.2 \leq H/P \leq 0.6$, e de cavitação, com $H_{NMC}/H < 1.4$. Caso contrário, o processo deverá ser repetido para garantir a segurança e a eficiência do projeto.

6º Procedimento: Dimensionamento

O dimensionamento é realizado considerando a situação mais crítica, que é o pico de cheia, utilizando fórmulas previamente demonstradas na tese para calcular cada parâmetro. Durante o processo de dimensionamento, é crucial verificar os parâmetros de dimensionamento e o custo estimado. Parâmetros como H/P , α , a/w , l/w , L_d/l_1 e w/P devem estar dentro dos limites definidos pela literatura especializada.

Para o cálculo do custo, foram considerados os seguintes itens: custo da parede do descarregador, muro de convergência, custo da soleira, pilares de arejamento. Será feita uma comparação de custos com um descarregador retilíneo de capacidade máxima de descarga equivalente. Será desenvolvido um parâmetro C_T que avalia o rácio entre o custo do descarregador em labirinto em relação ao de soleira normal com comprimento equivalente ao caudal de descarga. Este processo assegura não apenas a eficiência hidráulica do descarregador, mas também sua viabilidade econômica dentro dos parâmetros estabelecidos.

O fluxograma ilustrativo do processo de dimensionamento vide em anexo **A.4-1**.

3.1.1 Limitações do modelo

O modelo de dimensionamento do descarregador em labirinto apresenta várias limitações significativas. Por basear-se em equações e modelos empíricos, não considera aspectos dinâmicos importantes como tensão superficial, perda de carga, fluxo turbulento e escoamento bidirecional. Além disso, a ferramenta de cálculo tende a adoptar uma abordagem conservadora, o que pode resultar na exclusão de soluções mais económicas. A falta de integração de variáveis dinâmicas e complexas limita a precisão do modelo, podendo levar a sobredimensionamento ou subdimensionamento que influenciam a eficiência e os custos do projecto.

3.2 Apresentação da ferramenta de cálculo.

A ferramenta de cálculo foi concebida utilizando a programa Microsoft Excel, e é uma ferramenta de cálculo automatizado e está organizado em sete planilhas: “**Curvas de Armazenamento**”, “**Perfil transversal**”, “**Perfil longitudinal**”, “**Hidrograma de cheias**”, “**Método de Puls**”, “**Dimensionamento**” e “**Resultados**”.

A planilha tem células coloridas para facilitar ao utilizador ao introduzir os dados sendo que:

- As células alaranjadas  → São introduzidos os valores adoptados.
- As células amareladas  → São introduzidos os valores recomendados
- As células brancas  → são células bloqueadas, visto que esta contido previamente uma fórmula ou formatação
- As células em azul  → indica a necessidade copiar a célula e colar mantendo a formatação noutra célula em azul indicada.

A planilha contém notas e indicações para facilitar a utilizador ao dimensionar de forma correcta. As formatações e fórmulas aplicada em cada planilha vide em anexo A.6-5, A.6-6, A.6-9, A.6-11, A.6-15, A.6-18 e A.6-21.

3.2.1 Descrição detalhada das planilhas

3.2.1.1 1ª Planilha

A primeira planilha possui 3 tabelas principais: "**Dados das Cotas e Áreas Inundadas**", "**Capacidade de Armazenamento**" e "**Início da Descarga**".

Os dados são inseridos na primeira tabela, respeitando as unidades pré-estabelecidas. A partir dos dados inseridos, a curva da área inundada (A(h)) é gerada automaticamente como se observa na **Figura 20**.

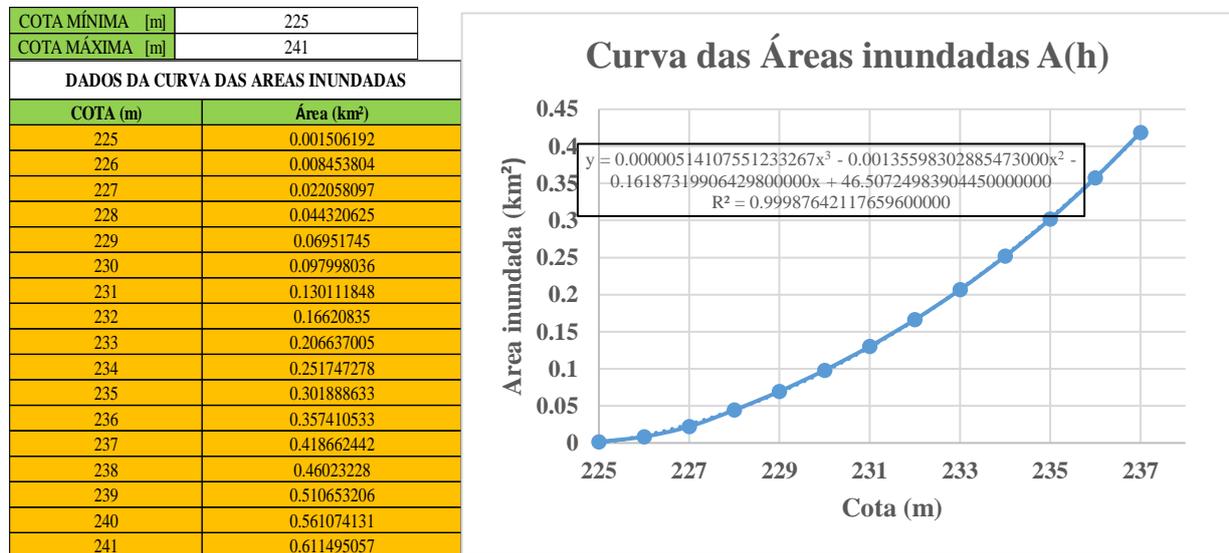


Figura 20- Extracto da tabela 1 da 1ª Planilha e Curva das áreas inundada gerada automaticamente.

O usuário deve copiar a equação da curva A(h) e substituí-la na Tabela da "Capacidade de Armazenamentos", na célula "**D32**". Onde a função da célula "**D32**" é configurada para ter o valor da célula "**B32**" como o valor de x.

Em seguida, o usuário devera aplicar a integral da equação da curva A(h) e substitui na célula "**E32**", onde a função da célula "**E32**" também é configurada para ter o valor da célula "**B32**" como x.

Após esses passos, a planilha automaticamente gera a curva dos volumes armazenados h(S) e a área inundada h(A). A equação obtida destas curvas é útil no processo da obtenção do NPA utilizando o método de simulação hidrológica.

CURVA DA CAPACIDADE DE ARMANENAMENTO				
Cota [m]	Carga de hidraulica (m)	A(km²)	Vi (Mm³)	Volumes acumulados(Mm³)
225	0	0.000000	4512.221358	0
225.1	0.1	0.000097	4512.221323	0
225.2	0.2	0.001034	4512.221379	2.084E-05
225.3	0.3	0.002013	4512.221531	0.000172868
225.4	0.4	0.003035	4512.221783	0.000424948
225.5	0.5	0.004099	4512.222139	0.00078132
225.6	0.6	0.005206	4512.222604	0.001246226
225.7	0.7	0.006355	4512.223182	0.001823911
225.8	0.8	0.007546	4512.223877	0.002518624
225.9	0.9	0.008781	4512.224693	0.003334618
226	1	0.010057	4512.225634	0.004276145
226.1	1.1	0.011376	4512.226705	0.005347465
226.2	1.2	0.012738	4512.227911	0.006552837
226.3	1.3	0.014143	4512.229255	0.007896527
226.4	1.4	0.015590	4512.230741	0.009382801
226.5	1.5	0.017080	4512.232374	0.011015929

Figura 21- Extracto da tabela da Capacidade de armazenamento na planilha 1.

Após essa etapa, existe uma tabela auxiliar a terceira tabela na qual são inseridos os valores profundidade do fluxo correspondente NPA e é calculada a cota restante acima do NPA secção do descarregador. O NPA deve ser introduzido na célula colorida em laranja como pode ser observado na **Figura 22**.

NPA [m]	h máx [m]
11.8	4.2

Figura 22- Extracto da tabela auxiliar a tabela do inicio da descarga, na planilha nº1

A tabela “**Inicio da descarga**” é a tabela onde é gerada a equação $S(h)_{NPA}$ das cotas acima do NPA. Para a tabela ser gerada de forma automática, o utilizador deverá copia as células pintada a azul (“**D34:F34**”) na tabela “**Capacidade de armazenamento**”, ilustrada na **Figura 21**, e colar (mantendo a formatação da fonte) nas células em azul (“**D208:F208**”), ilustrada na **Figura 23**, da tabela “**Inicio da descarga**”.

INICIO DA DESCARGA						
Cota [m]	Altura (h)	A(km²)	Vi (Mm³)	Volumes acumulados(Mm³)	Altura h (m)	Volumes acumulados(Mm³)
236.8	11.8	0.405113	4514.002939	1.781580897	0	0.000000
236.9	11.9	0.411214	4514.043755	1.82239685	0.1	0.040816
237	12	0.417361	4514.085183	1.863825188	0.2	0.082244
237.1	12.1	0.423553	4514.127229	1.905870505	0.3	0.124290
237.2	12.2	0.429792	4514.169895	1.948537404	0.4	0.166957
237.3	12.3	0.436077	4514.213189	1.991830487	0.5	0.210250
237.4	12.4	0.442408	4514.257112	2.035754361	0.6	0.254173
237.5	12.5	0.448785	4514.301672	2.080313635	0.7	0.298733

Figura 23 - Extracto da tabela do Inicio da descarga na planilha nº1

3.2.1.2 2ª Planilha

Na segunda planilha “**Perfil transversal**” são inseridos os dados capturados pelo *ftool* na secção transversal da barragem do Software QGIS. Os dados são inseridos na células alaranjadas como são ilustradas na **Figura 24**.

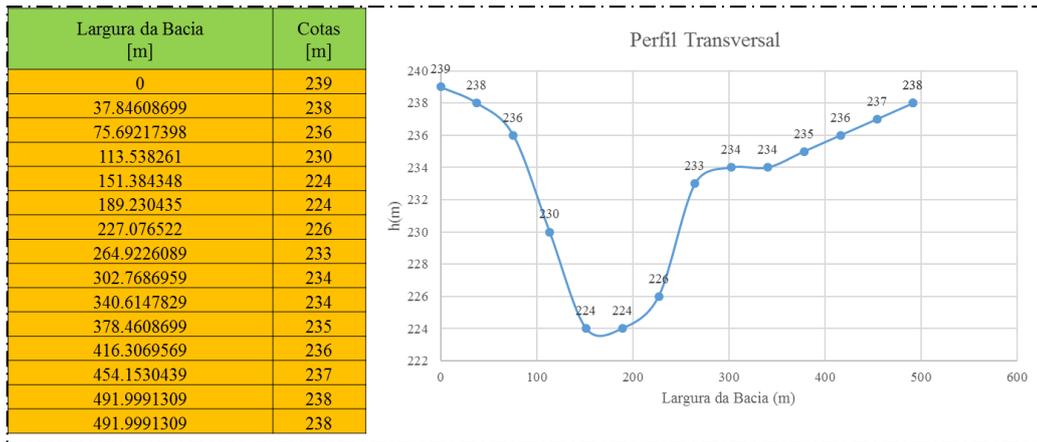


Figura 24- Extracto da planilha nº2

3.2.1.3 3ª Planilha

Na terceira planilha, ilustrada, na **Figura 25**, denominada "**Perfil Longitudinal**", são apresentadas duas tabelas. Na primeira tabela à esquerda, são inseridos os dados obtidos pelo software QGIS utilizando a ferramenta *ftool*, ao percorrer o curso de água a montante do descarregador da barragem. Alternativamente, também é possível realizar medições utilizando diversas ferramentas do Google Earth. Os dados são inseridos nas células destacadas em laranja para facilitar sua identificação e organização.

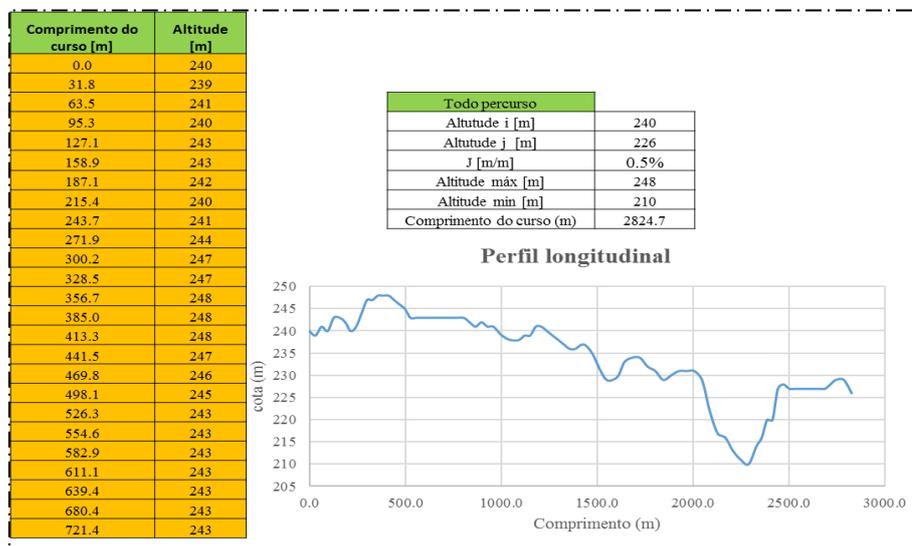


Figura 25 - Extracto da planilha nº 3

3.2.1.4 4ª Planilha

A planilha "**Hidrograma de Cheias**", ilustrada na **Figura 26**, determina o caudal de cheia e os dados da curva $I(\Delta t)$. Para auxiliar nesse processo, a primeira série de tabelas à esquerda calcula o risco hidrológico, tempo de concentração e intensidade de precipitação. Na primeira tabela são inseridos o período de retorno e vida útil da

barragem para calcular o risco hidrológico, enquanto na segunda tabela o tempo de concentração é calculado aplicando as fórmulas de Tepéz e Kirpich. A célula "F14" automaticamente recebe o menor tempo de concentração entre os dois métodos selecionados.

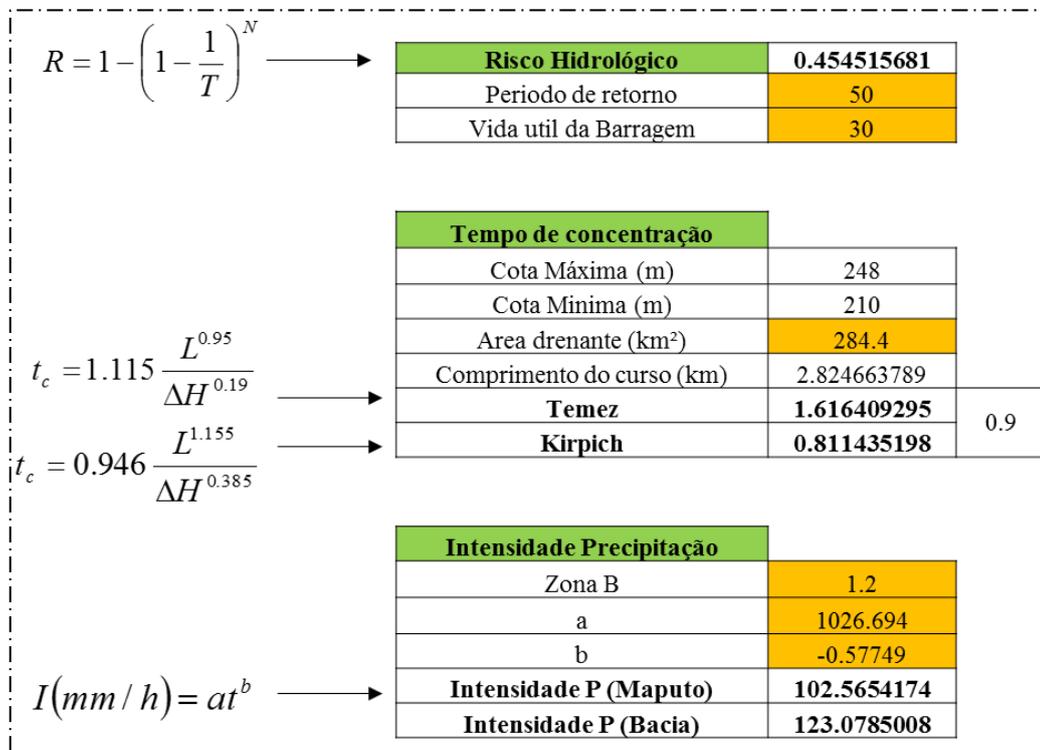


Figura 26 - Extracto das tabelas a esquerda planilha nº 4

Na terceira tabela, são introduzidos o coeficiente relativo à zona, os coeficientes "a" e "b" para calcular a intensidade de precipitação para a duração e período de retorno escolhidos, com base nas curvas IDF(Intensidade-Duração-Frequência).

Nas tabelas nomeadas "caudal de projecto" são calculados os máximos caudais de cheia utilizando diferentes métodos: estatístico, empírico e cinemático. As fórmulas de Myer, Francou-Rodier, Iskowski, Racional e Giandotti foram consideradas. No entanto, a fórmula de Francou-Rodier é a mais recomendada para este tipo de barragem, sendo amplamente aplicada na região austral africana. O caudal escolhido é introduzido na célula alaranjada "L36" como podemos observar na Figura 27.

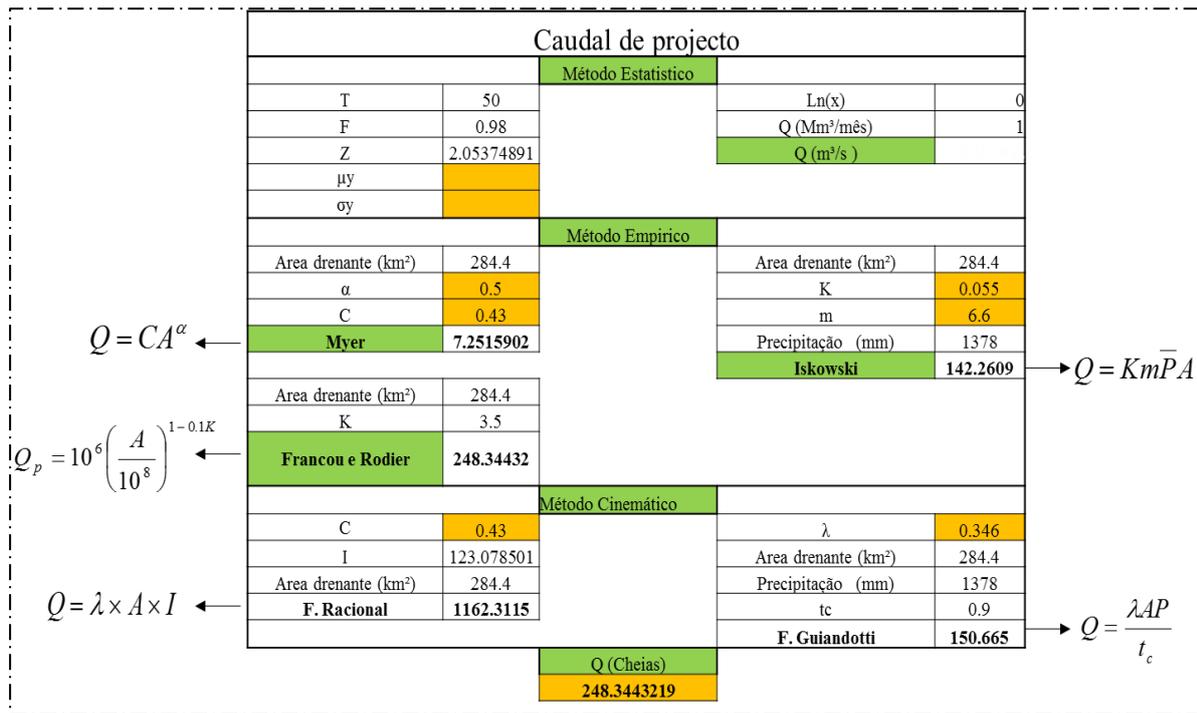


Figura 27 - Extracto da tabela para determinação do caudal de projecto na planilha nº 4

Nas tabelas mais à direita, na primeira são calculados o tempo de base e o tempo de pico segundo Hipólito & Vaz (2003), sendo iguais a $2.47tc$ e $0.405tc$, respectivamente. A variação do tempo Δt deve estar entre $1/6$ e $1/24$ do tempo de pico, e este valor é introduzido na célula alaranjada "T8" como se pode observar na Figura 28.

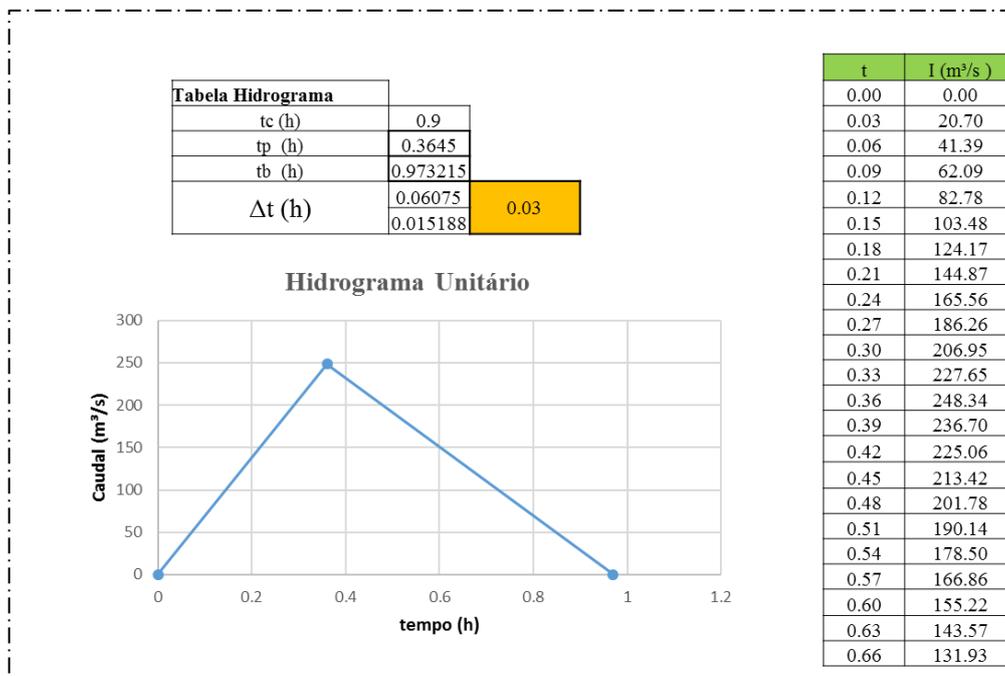


Figura 28 - Extracto do Hidrograma de projecto na planilha nº 4

3.2.1.5 5ª Planilha

A planilha "**Método de Puls**" será aplicada o método de Puls para determinar a máxima vazão descarregada, carga hidráulica de projecto. A planilha é composta por 4 tabelas. Na primeira tabela são adotados os dados da carga hidráulica de projecto (H_o) (recomendado abaixo de 1 metro), largura total do descarregador (W), altura do descarregador (P), abertura do muro de convergência (θ) (0 a 70°, recomendado 30°) e l/w (1-5, recomendado 3). Na tabela auxiliar abaixo, é proposta para gerar a equação da curva auxiliar $h(S/\Delta t + O)$, na célula alaranjada "**G10**", como pode observar na **Figura 29**. A equação $S(h)_{NPA}$ será introduzida na célula referida substituindo o x por "**E10**". A curva e a equação $h(S/\Delta t + O)$ são geradas automaticamente.

Na tabela principal, serão introduzidos a equação $h(S/\Delta t + O)$, na célula alaranjada "**R10**" mostrada **Figura 30**, e a equação $S(h)_{NPA}$ na célula "**T9**". Na célula em amarelo "**R9**", deve-se manter o valor nulo após a substituição dos valores. A partir da tabela, serão geradas as curvas $S(t)$ e $l(t)$ vs $Q(t)$ e $h(t)$.

A tabela acima da tabela principal apresenta os resultados principais do método de Puls: o volume de encaixe, o caudal máximo descarregado, carga máxima prevista acima do descarregador (NMC), o coeficiente de descarga (μ) e o parâmetro de convergência do muro do canal (K_θ), Carga hidráulica de projecto (H_o) e carga hidráulica jusante (H_j) e submersão (H^*), eficiência (Q_L/Q_N) e se verifica as condições de afogamento.

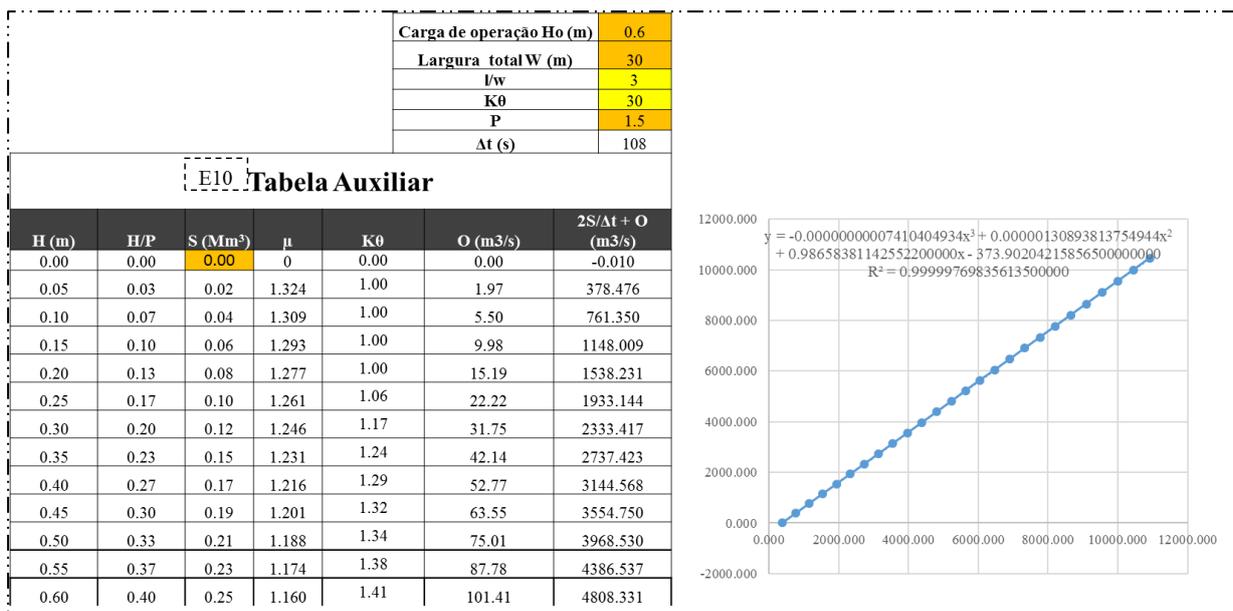


Figura 29 - Extracto da tabela auxiliar e Curva auxiliar na planilha nº 5

CAVITAÇÃO			AFOGAMENTO								
Ho/Hmáx	Volume de Encaixe (Mm³)	Qd max (m³/s)	NMC	H/P	μ	K θ	Ho (m)	Hj (m)	H* (m)	QI (m³/s)	26.4326923
1.06	0.27	108.6516099	0.633	0.422022965	1.33931823	1.419429718	0.60	0.342299506	1.118169646	EFICIÊNCIA QL/QN	4.110501061
										W recto (m)	123

t (h)	I _t (m³/s)	I _{t+Δt} (m³/s)	H (m)	H/P (m)	S (Mm³)	μ	K θ	O _t (m³/s)	2S/Δt - O (m³/s)	2S _{(t+Δt)/Δt + O_(t+Δt)}
0.00	0.00	20.70	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	20.69
0.03	20.70	41.39	0.004	0.003	0.00	1.34	1.00	0.05	30.93	93.02
0.06	41.39	62.09	0.014	0.009	0.01	1.34	1.00	0.28	101.31	204.79
0.09	62.09	82.78	0.028	0.019	0.01	1.33	1.00	0.83	209.90	354.76
0.12	82.78	103.48	0.047	0.032	0.02	1.33	1.00	1.82	355.38	541.64
0.15	103.48	124.17	0.072	0.048	0.03	1.32	1.00	3.35	536.43	764.08
0.18	124.17	144.87	0.100	0.067	0.04	1.31	1.00	5.52	751.69	1020.73
0.21	144.87	165.56	0.133	0.089	0.05	1.30	1.00	8.38	999.80	1310.23
0.24	165.56	186.26	0.170	0.113	0.07	1.29	1.00	11.98	1279.44	1631.26
0.27	186.26	206.95	0.211	0.140	0.09	1.27	1.00	16.37	1589.32	1982.53

Figura 30- Extracto da tabela principal na planilha nº 5

A condição de cavitação ($H_{NMC}/H < 1.4$) e afogamento (H/P), deve estar entre 0.2 e 0.6, e são verificadas nas células “P3” e “T3”, ficará formata de cor verde se a condição for favorável caso contrario a cor será encarnada. Caso não verificarem, deverá aumentar a largura W ou a altura do descarregador P e repetindo o procedimento.

3.2.1.1 6ª Planilha

A planilha “Dimensionamento” é composta por cinco tabelas correspondentes às seguintes informações: “Dados do projeto”, “Dados adotados”, “Parâmetros calculados”, “Verificação dos parâmetros de dimensionamento” e “Custo prévio”. Essas tabelas contêm os dados necessários para o dimensionamento dos descarregadores de soleira em labirinto.

Na primeira tabela os dados da vazão de projecto e carga de operação são inseridos automaticamente. Na tabela de “Dados adoptados” são inseridos os dados do número de módulos (N) e do ângulo entre cristas (α), de 8° a 16°, nas células alaranjadas como se pode verificar na **Figura 31**.

Na tabela dos parâmetros calculados, são dimensionadas todas as características (parâmetros básicos): espessura da parede da crista (t), lado interno do vértice (A), lado externo do vértice (D), comprimento de um ciclo (l), largura de um ciclo (w), comprimento do braço (L₁), comprimento efetivo do braço (L₂), comprimento total da crista (L₃), comprimento do descarregador na direção do escoamento (B), comprimento efetivo do descarregador (L), comprimento de interferência (L_d), número de pilares de arejamento (n_P) e os raios de curvatura da soleira ogival (R₁ e R₂).

Na Tabela da “**verificação dos parâmetros de dimensionamento**”, são verificados todos os parâmetros condicionam o dimensionamento. As condições impostas para cada um dos parâmetros do projecto são:

- $L_b/b < 30\%$
- $A/w < 0.08$
- $2 < w/P < 4$
- $0.2 < Hd/P < 0.6$
- $8^\circ < \alpha < 16^\circ$

A tabela “**Custo prévio**” auxilia na racionalização ou redução dos custos. O cálculo do custo é feito considerando apenas o custo do betão, os preços estimados foram obtidos a partir de geradores de orçamento disponível no site <https://mocambique.geradordeprecos.info/>.

C_v é o parâmetro de verificação do custo, e este parâmetro nos dará o grau de viabilidade para a construção do descarregador. Para o custo, serão considerados os custos da parede do descarregador, do muro de convergência e dos pilares de arejamento. Não será incluído o custo das armaduras, visto que o objetivo não é fornecer um orçamento completo da obra, o que exigiria um projeto mais extenso, envolvendo movimento de terras, custo operacional, entre outros fatores.

O projecto se considera viável se o custo para o descarregador em labirinto for menor em 70% do custo para descarregador linear com largura equivalente á máxima descarga. Seguindo esta recomendação ajudará a reduzir o máximo os custos, visto que um dos principais critérios para escolha deste tipo de descarregador são os ganhos das vantagens económicas.

Se os parâmetros de projecto não estarem dentro dos limites estabelecidos recomenda-se:

- Se $L_b/b > 30\%$; → aumente o ângulo entre as cristas adjacentes (α)
- Se $A/w > 0.08$; → reduz o número de módulos. (N)
- Se $w/P \notin [2; 4]$; → aumente o número de módulos (N)
- Se C_T não verificar; → reduz o número de módulos (N) e o ângulo entre cristas adjacentes (α)

Caso os parâmetros do descarregador não estejam dentro dos limites pré-definidos, o utilizador deve ajustar iterativamente a largura (W) ou a altura (P) do descarregador. A operação em baixa carga hidráulica é ideal, pois amplia a eficiência do fluxo, reduz as tensões superficiais e diminui a velocidade do fluxo, aproveitando as vantagens da configuração em labirinto.

Dados de Entrada			
Sigla	Valor	Unidades	
Caudal de Projecto	Qp	108.6516099	[m]
Carga de Operação	Ho	0.60	[m]

Dados Adoptados			
Sigla	Valor	Unidades	
Largura total de descarregador	W	30	[m]
Numero de módulos	N	5	
Razão de Ampliação	I/w	3	
Abertura dos muros do Canal	K9	30	[°]
Ângulo entre cristas	α	12	[°]
Razão de largura de ciclo	P	1.5	[m]

Parâmetros Calculados			
SOLEIRA TRAPEZOIDAL			
Sigla	Valor	Unidades	
Altura do descarregador	P	1.5	[m]
Espessura da parede da crista	t	0.25	[m]
Lado interno do vértice	A	0.25	[m]
Lado externo do vértice	D	0.7	[m]
Comprimento de um ciclo	I	18.0	[m]
Largura de um ciclo	w	6.0	[m]
Comprimento do Braço	I1	9.1	[m]
Comprimento Efetivo do Braço	I2	8.9	[m]
Comprimento Total da Crista	LT	95.7	[m]
Comprimento do Descarregador na direção do escoamento	B	9.1	[m]
Comprimento efetivo do descarregador	L	90.0	[m]
Comprimento de Interferência	Ld	2.0	[m]
Raio da crista de oviga principal (R1)	R1	0.3	[m]
Raio da crista oviga inicial (R2)	R2	0.1	[m]
Número de pilares de arreamento	n°P	9	

Verificação dos Parâmetros de dimensionamento				
Sigla	Valor	Unidade	Verificação	
Proporção de Comprimento de Interferência	Ld/L1	22%	[%]	OK
Ângulo entre cristas	α	12.0	[°]	OK
Relação de âpice	A/w	0.041666667		OK
Razão da Largura do Ciclo	w/P	4		OK
Razão de Carga a montante	Ho/P	0.4		OK

Custo prévio						
Unidade	Sigla	QUANTIDADE	Preço por unidade	Custo		Verificação
				FORMA EM LABIRINTO	FORMA eq. LINEAR	
Volume de Betão nas Paredes	VPAREDE [m³]	35.8911946	6210	222,884.32 MZN	287,169.88 MZN	OK
Volume de Betão na soleira	VMURO [m³]	3.92598226	6210	24,380.35 MZN	21,114.00 MZN	
Volume de Betão na soleira	VSOLEIRA [m³]	78.81964521	6210	487,607.00 MZN	1,735,782.58 MZN	
Volume de Betão das pilares de arreamento	VPILAR [m³]	0.5625	6210	3,493.13 MZN	4,786.16 MZN	
Conduta de ar	VCAR [m]	95.4	603	57,526.20 MZN	77,615.16 MZN	
CUSTO TOTAL	CT			795,890.99 MZN	2,126,467.79 MZN	

Figura 31 - Extracto da planilha nº 6

3.2.1.2 6ª Planilha

Na planilha “**Resultados do modelo**”, composta por três tabelas principais, são apresentados os resultados detalhados do modelo desenvolvido. A primeira tabela abrange todos os resultados de natureza hidráulica, fornecendo informações cruciais como o caudal máximo descarregado, a carga hidráulica de operação e outros parâmetros hidráulicos relevantes calculados durante o dimensionamento do descarregador. A segunda tabela, de pré-viabilidade, resume os resultados da análise realizada para determinar se é viável utilizar o dimensionamento proposto. Aqui são considerados aspectos como custo, eficiência operacional.

A última tabela apresenta um resumo completo de todos os parâmetros dimensionados pelo modelo. Isso inclui as dimensões físicas do descarregador. A visualização prévia do descarregador em planta e em perfil, gerada automaticamente pelo modelo, proporciona ao usuário uma compreensão visual imediata do projeto finalizado, facilitando a revisão e a tomada de decisões durante o processo de desenvolvimento do projeto, a **Figura 32** ilustra a planilha de resultados.

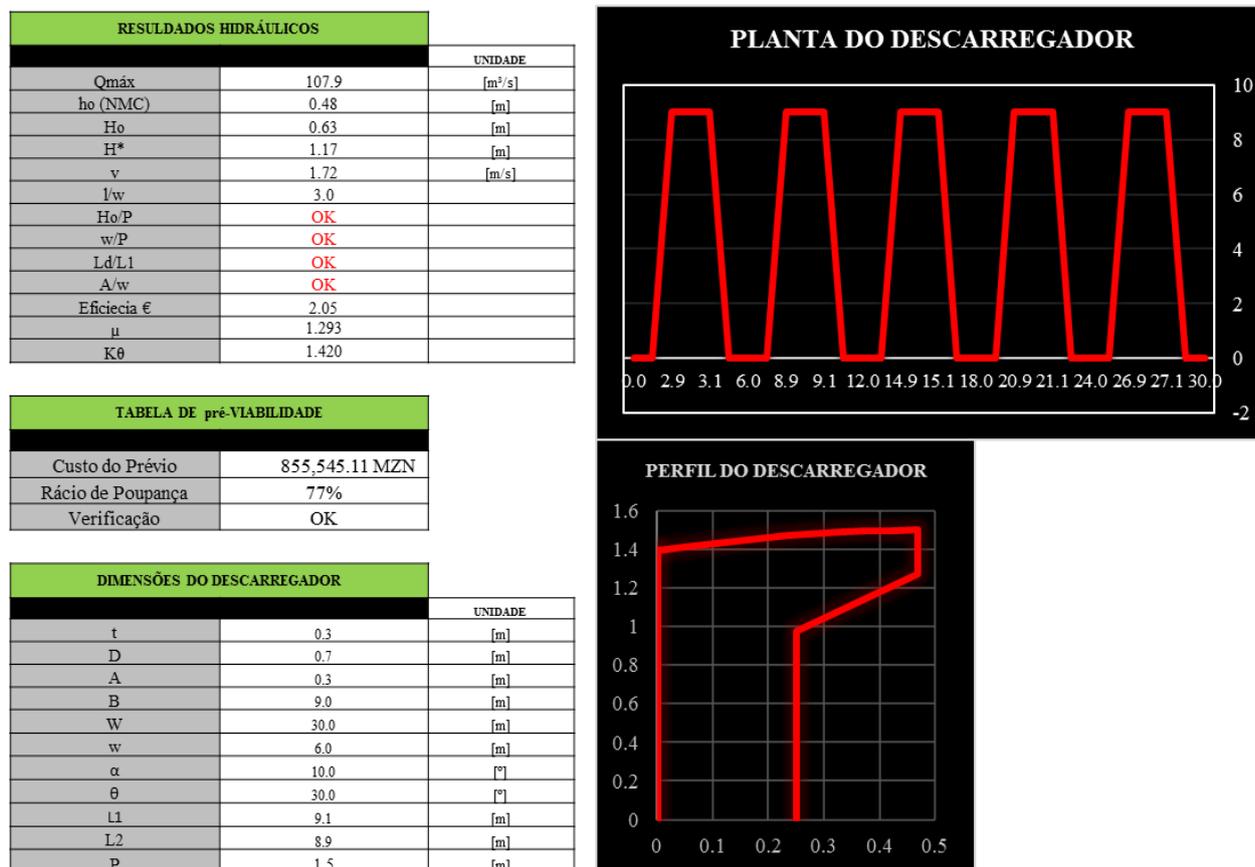


Figura 32 - Extracto da planilha nº 7

3.2.2 Exemplo de a aplicação.

No presente capítulo, será abordado um exemplo de aplicação da ferramenta de cálculo. O caso analisado será o projecto de construção de uma pequena barragem de terra no rio Nhamacurra, realizado no âmbito da disciplina de Obras Hidráulicas, na Faculdade de Engenharia da UEM, no curso de Engenharia Civil, no ano de 2021, do qual o autor desta dissertação fez parte. A bacia hidrográfica do rio Nhamacurra, localizada no distrito de Munhamade e afluente do rio Licungo, abrange uma área de 2.065,82 km², com um perímetro de 237,592 km e um comprimento de 118,18 km.

No projecto em causa, foi proposta a construção de uma barragem com o objectivo de dinamizar as actividades socioeconómicas da região e abastecendo uma população futura de 56.000 habitantes na vila, além de uma área agrícola de 409 hectares. Para suprir esta necessidade, foi necessário armazenar cerca de 2,5 milhões de metros cúbicos, correspondente ao nível de pleno armazenamento (NPA) de 11,8 metros.

O estudo detalhado do rio Nhamacurra incluiu a selecção da secção óptima e a análise de séries históricas de caudais. Curvas $A(h)$ foram desenvolvidas com base nas curvas de nível disponíveis, visando maximizar os benefícios na bacia hidrográfica escolhida. A barragem proposta é composta por dois descarregadores: um descarregador de cheias com soleira espessa em WES e uma descarga de fundo. O descarregador de máxima descarga previsto no projecto possui uma capacidade de 44,52 metros cúbicos por segundo e uma carga de operação 0.7 metros. Como característica do descarregador, a largura é de 30 metros, a altura é de 0,7 metros e a largura da soleira é de 1,2 metros entre outras características vide em anexo A.5-1 a A.5-5.

Nesta dissertação, foi proposta a aplicação da ferramenta de cálculo para dimensionar um descarregador de soleira delgada em labirinto, substituindo a soleira existente. A expectativa é aumentar a capacidade de descarga, otimizando o processo de escoamento. Os dados úteis para a entrada no dimensionamento foram:

- NPA – 11,8 m;
- Largura do descarregador (W) – 30 m
- Área drenante – 284,4 m²;
- Carga operação- 0.6m

Planilha nº 1

Na 1ª tabela foram adicionadas as cotas e áreas inundadas que permeiam a região na secção de descarga. A partir destes dados, foi possível gerar a equação das áreas inundadas $A(h)$, útil para gerar a equação dos volumes acumulados. A partir disso, foi gerada a equação dos volumes armazenados acima do NPA, vide em anexo A.6-2.

Planilha nº 2, Planilha nº 3 Planilha nº 4

A partir das curvas de nível, foi possível extrair os dados tanto das cotas na secção da descarga como do rio drenante a montante. Como consequência, obteve-se a largura da secção de descarga no rio e o comprimento do curso do rio drenante. Com as

coordenadas, tendo como início a secção da descarga, foi possível aplicar estes valores no modelo e gerar o perfil transversal e longitudinal, vide em anexos A.6-8 e A.6-9. Aplicando todo o roteamento de cheias, obteve-se um caudal máximo de cheias de 248,38 m³/s, vide nos anexos A.6-10. e A.6-11.

Planilha nº 5

Mantendo a razão l/w em 3 e k_{θ} em 30°, a largura do descarregador (W) foi condicionada a 30 m. Seguindo uma abordagem iterativa até alcançar uma condição óptima com a altura do descarregador em 1,5 metros, alcançou-se a máxima descarga de 108.65 m³/s com uma elevação máxima na crista de 0,633 m. A carga operacional pré-definida aprovou quanto as condições de afogamento e cavitação, os anexos (A.6-12 até A.6-16) ilustram todo o procedimento.

Planilha nº 6 e Planilha nº 7

Para o dimensionamento, seguiu-se uma abordagem iterativa até alcançar a condição óptima. Foram definidos 5 módulos de comprimento 18 metros e uma inclinação de 12° entre as cristas adjacentes. Todos os parâmetros principais foram calculados, como ilustrado no anexo A.6-17. Na 7ª planilha, observam-se todos os dados calculados pela ferramenta, incluindo o perfil transversal e longitudinal do descarregador. Os anexos A.6-20 e A.6-21. ilustram o procedimento.

Observações:

Analisando as duas situações de descarga, foi possível observar que o caudal máximo descarregado é superior ao dobro do caudal gerado pela soleira espessa em WES, com uma elevação ligeiramente inferior. Esta solução mostrou-se vantajosa ao proporcionar um aumento significativo no caudal para a mesma largura, demonstrando maior eficiência e capacidade de escoamento.

A utilização de um descarregador de soleira delgada em labirinto melhorou a eficiência hidráulica, otimizando a passagem da água e reduzindo a necessidade de estruturas adicionais para controle de cheias. A configuração em labirinto promove maior aeração do fluxo, ajudando a reduzir erosão e cavitação, prolongando a vida útil da estrutura. Comparada à soleira espessa em WES, a nova solução é mais simples e econômica, exigindo menos material e menores esforços de escavação e fundação, resultando em uma significativa redução nos custos de construção.

4 CONCLUSÃO

Ao longo deste estudo, explorou-se de maneira abrangente e detalhada o funcionamento e comportamento do fluxo em descarregadores em labirinto, com o objectivo de propor uma ferramenta sólida e eficaz para o seu dimensionamento da estrutura de descarga. A modelagem e implementação da ferramenta permitiram dimensionar descarregadores em labirinto calculando suas dimensões principais, verificando todas as condições propostas pela literatura técnica.

O modelo matemático apresentado demonstrou eficácia na geração de resultados alinhados com a teoria, produzindo soluções dentro dos parâmetros estabelecidos na literatura. A análise aprofundada dos parâmetros de projecto, incluindo Afogamento (H/P), Razão da Largura do Ciclo (w/P), Razão de Ampliação (l/w), Razão de ápice (a/W) e cavitação, conferiu a credibilidade da ferramenta neste contexto operacional.

A análise dos ábacos de vazão disponibilizadas pela literatura, como de Hay e Taylor, Darvas, Lux & Hinchliff, Magalhães & Lorena, Tullis e Magalhães & Melo, destacou o abaco de Magalhães & Melo como o mais robusto devido à inclusão da influência detalhada da abertura dos muros de convergência, sua aplicação e comprovação prática, além de apresentar similaridades com ábacos validados e tem a aprovação conferida pelo LNEC, cujos parâmetros e termos técnicos são equivalentes aos utilizados em Moçambique.

A introdução do parâmetro C_v para avaliar a viabilidade, baseado no rácio entre o custo do descarregador em labirinto e o descarregador de soleira normal, revelou-se crucial. Esse processo de dimensionamento demonstrou uma notável redução nos custos comparativos, incentivando a adoção de dimensões cada vez mais eficientes.

No entanto, o modelo também evidenciou limitações, principalmente devido à aplicação de equações e recomendações de natureza empírica, o que por vezes resulta em soluções conservadoras e sobredimensionamentos. Um exemplo disso é o parâmetro w/P , cuja aplicabilidade é questionada por pesquisas mais recentes, mostrando que sua redução nem sempre condiciona a eficiência do descarregador em labirinto, mas sim a redução de custos. Diante dessas divergências, o autor aconselha a utilização do modelo exclusivamente para fins de estudo académicos e pré-dimensionamento.

Para a validação da solução gerada pela ferramenta, seria necessário realizar estudos em modelo reduzido sob condições controladas ou através de simulação hidráulica utilizando software de cálculo.

Em última análise, este trabalho ressaltou a importância dos descarregadores de soleira labiríntica no contexto hidráulico e proporcionou conhecimentos valiosos para aprimorar projetos futuros e abordagens nesta área em constante evolução.

5 RECOMENDAÇÕES

O capítulo de recomendações apresenta diretrizes e sugestões para avançar no estudo e aplicação do modelo desenvolvido no contexto do dimensionamento hidráulico de descarregadores em labirinto. As recomendações oferecem oportunidades para validar, aprimorar e expandir o modelo, visando a obtenção de resultados mais precisos, confiáveis e aplicáveis em projetos reais, com sugerem-se os seguintes temas para investigação futura:

- **Análise da ferramenta proposta por Software de Cálculo:** realizar testes do hidráulicos proposto utilizando softwares de cálculo hidráulico para dimensionamento de descarregadores. Isso permitirá verificar a precisão e a eficácia do modelo em simular cenários hidráulicos complexos, validando sua aplicabilidade em diferentes contextos e fortalecendo a confiabilidade das análises. Por sua vez comparar os resultados obtidos pela ferramenta avaliando o grau de confiabilidade.
- **Ensaio Físicos em Laboratório:** realizar ensaios físicos em um laboratório hidráulico para validar as predições da ferramenta de cálculo em condições controladas. Os resultados obtidos podem ser comparados com as previsões da ferramenta de cálculo, permitindo uma avaliação direta da sua capacidade de simular o comportamento dos descarregadores em situações reais.
- **Aplicação da ferramenta de cálculo no Dimensionamento de Estruturas de Dissipação:** uso do modelo para avaliar a interferência de nappe no dimensionamento de estruturas de dissipação de energia em projectos de descarregadores. isso proporcionará uma visão mais abrangente sobre como a ferramenta pode influenciar projetos de obras hidráulicas, auxiliando no desenvolvimento de soluções eficientes e seguras para a gestão de fluxos de água.

6 BIBLIOGRÁFIA

6.1 Referências bibliográficas

- [1.] Amaniam, N., Tullis, J. P., & Waldron, D. (1995). **Design of Labyrinth Spillways**. Journal of Hydraulic Engineering, 121(3), 247-255.
- [2.] Amanian, M. (1987). **Performance and design of labyrinth spillways**. Logan: M.S. thesis, Utah State University.
- [3.] Bilhan, Ö., Emiroğlu, E. M., & Miller, C. (2016). **Experimental investigation of discharge capacity of labyrinth weirs with and without nappe breakers**. World Journal of Mechanics, 207-221.
- [4.] Crookston, B. M. (2010). **Labyrinth Weirs**. Utah: Utah State University. Obtido de All Graduate Theses and Dissertations. 802.
- [5.] Darvas, L. A. (1971). **Performance and Design of Labyrinth Weirs**. Journal of the Hydraulics Division (ASCE), 1246-1251.
- [6.] Falvey, H. T. (1980). **Air-water Flow in Hydraulic Structures**. Indiana: U.S. Department of the Interior, Water and Power Resources Service, Engineering and Research Center, 1980.
- [7.] Falvey, H. T. (2003). **Hydraulic Design of Labyrinth Weirs**. Virginia: ASCE PRESS.
- [8.] Houston, K. L. (1983). **Hydraulic Model Study of Hyrum Dam Auxiliary Labyrinth Spillway**. Denver: U.S. Bureau of Reclamation.
- [9.] Hager, W. H., Schleiss, A. J., Boes, R. M., & Pfister, M. (1998). **Hydraulic Engineering of Dams**. Londres: John Wiley & Sons Ltd.
- [10.] Harvey, F. (2021). **UN warns most will live downstream of ageing large dams by 2050**. New York: The Guardian.
- [11.] Hay, N., & Taylor, G. (1970). **Performance and Design of Labyrinth Weirs**. Journal of the Hydraulics Division, 96(11), 2337-2357.
- [12.] Hinchliff, D., & Houston, K. (1984). **Hydraulic Design and Application of Labyrinth Spillways**. Proceedings of 4th Annual USCOLD Lecture. Washington DC: US Bureau of Reclamation.
- [13.] Hipólito, J. R., & Vaz, Á. C. (2011). **Hidrologia e recursos hídricos**. (3, Ed.) Lisboa: IST Press.

- [14.] Indlekofer, H., & Rouvé, G. (1975). **Discharge over polygonal weirs**. Journal of the Hydraulics Division, 385-401
- [15.] Lencastre, A. (2001). **Hidráulica das Estruturas (Descarregadores de Cheias)**. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- [16.] Lopes, R., Matos, J., & Melo, J. F. (2006). **Dissipação de Energia do Escoamento em Soleiras Descarregadoras em Labirinto**. Guayana: Congresso Latino americano de hidráulica.
- [17.] Lux, F., & Hinchliff, D. L. (1985). **Design and construction of labyrinth**. 15th Congress ICOLD, (pp. 269-272). Laussane.
- [18.] Magalhães, A. P. (1985). **Labyrinth-weir spillways**. 15th Congress ICOLD, IV, pp. 395-402. Laussane.
- [19.] Magalhães, A. P. (1993). **Descarregadores em Labirinto**. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- [20.] Magalhães, A. P., & Lorena, M. (1989). **Hydraulic Design of Labyrinth Weirs**. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- [21.] Paxson, G., & Savage, B. (2006). **Labyrinth spillways: comparison of two popular u.s.a. design methods and consideration of non-standard approach conditions and geometries**. International Junior Researcher and Engineer Workshop on Hydraulic Structures (pp. 30-52). Brisbane: The University of Queensland.
- [22.] Pinheiro, A. N. (2007). **Descarregadores de cheias em canal de encosta**. Instituto superior técnico.
- [23.] Taylor, G. (1968). **The performance of labyrinth weirs**. Nottingham: University of Nottingham.
- [24.] Waldron, D. (1994). **Design of labyrinth spillways**. Logan: M.S. thesis, Utah State University.
- [25.] Wormleaton, P. R., & Tsang, C. C. (2000). **Aeration Performance of Rectangular**. Journal of Hydraulic Engineering, 126(5), 456-465.

ANEXOS

1. **ANEXO 1-** INSTALAÇÕES DE DESCARREGADORES EM LABIRINTO OBSERVADAS NO MUNDO. (1p)
2. **ANEXO 2-** CURVAS DE VAZÃO. (8p)
3. **ANEXO 3-** FUNÇÕES DE AJUSTE ÀS CURVAS DE VAZÃO. (2p)
4. **ANEXO 4-** FLUXOGRAMA ILUSTRATIVO DO DIMENSIONAMENTO (1p)
5. ANEXO 5- DESENHOS E DADOS DO EXEMPLO PROPOSTO (5p)
6. **ANEXO 6-** DETALHAMENTO DAS PLANILHAS DE CÁLCULO (21p)

ANEXO 1- INSTALAÇÕES DE DESCARREGADORES EM LABIRINTO OBSERVADAS NO MUNDO.

Tabela A1-1- Descarregadores em labirinto no mundo.

Name	País	Ano de Construção	Vazão (Q)	Carga de definição (Ho)	Altura da Parede (P)	Largura total (W)	Comprimento de descarregador (L)	Número de módulos (N)
			m ³ /s	m	m	m	m	
Água Branca	Portugal		124	1.65	3.5	12.5	28	2
Alfaiates	Portugal	1999	99	1.6	2.5	13.2	37.5	1
Alijo	Portugal	1991	52	1.23	2.5	8.7	21.05	1
Arcossó	Portugal	2001	85	1.25	2.5	13.3	16.68	1
Avon	Australia	1970	1420	2.16	3	13.5	26.5	10
Bartletts Ferry	EUA	1983	5920	2.19	3.43	18.3	70.3	20.5
Belia	Zaire		400	2	3.0/2.0	18	31	2
Beni Bahdel	Algeria	1944	1000	0.5	2.76	4	62.5	20
Boardman	EUA	1978	387	1.77		18.3	53.5	2
Calde	Portugal	2001	21	0.6	2.5	7.4	28.19	1
Carty	EUA	1977	387	1.8	2.8/4.3	18.3	54.6	2
Cimia	Italia	1982	1100	1.5	15.5	30	87.5	4
Dungo	Angola	1985	576	2.4	4.3	9.7	28.6	4
Estancia	Venezuela	1967	661	3.01		32	65	1
Forestport	EUA	1988	76	1.02	2.94	6.1	21.9	2
Garland	EUA	1982	25.5	0.37	1.4	4.57	19.6	3
Gema	Portugal		115	1.12	3	12.5	30	2
Harrezza	Algeria	1983	350	1.9	3.5	9.7	28.6	3
Hyrum	EUA		256	1.68	3.66	9.1	45.7	2
Infulene	Moçambique	1985	60	1	1.6	4.15	24.76	3
Keddera	Algeria	1985	250	2.46	3.5	8.9	26.3	2
Kizilcapinar	Turquia	1972	2270	4.6	4	75.4	263.9	5
Mercer	USA		239	1.83	4.57	5.49	17.6	4
Navet	Trinidad Tobago	1974	481	1.68	3.05	5.49	12.8	10
Ohau Canal	Nova Zelandia	1980	540	1.08	2.5	6.25	37.5	12
Pacoti	Brazil	1980	3400	2.72	4	8	41.52	15
Pisao	Portugal		50	1	3.5	8	200	1
Quincy	EUA	1973	26.5	2.13	3.96	13.6	26.5	4
Ritschard	EUA		1555	2.74	3.05	83.8	411	9
Rollins	USA		1841	2.74	3.35		472	9
S. Domingos	Portugal	1993	160	1.84	3.0	7.5	22.53	2
Santa Justa	Portugal		285	1.35	3	10.5	67.4	2
Sarno	Algeria	1952	360	1.5	6		27.9	8
Teja	Portugal	1995	61	1.05	2	12	36	1
Ute	USA	1983	15570	5.79	9.14	18.3	73.7	14
Woronora	Australia	1941	1020	1.36	2.13	13.41	31.23	11

ANEXO 2- CURVAS DE VAZÃO

ÁBACO DE HAY E TAYLOR (1970) PARA DESCARREGADOR TRIANGULAR

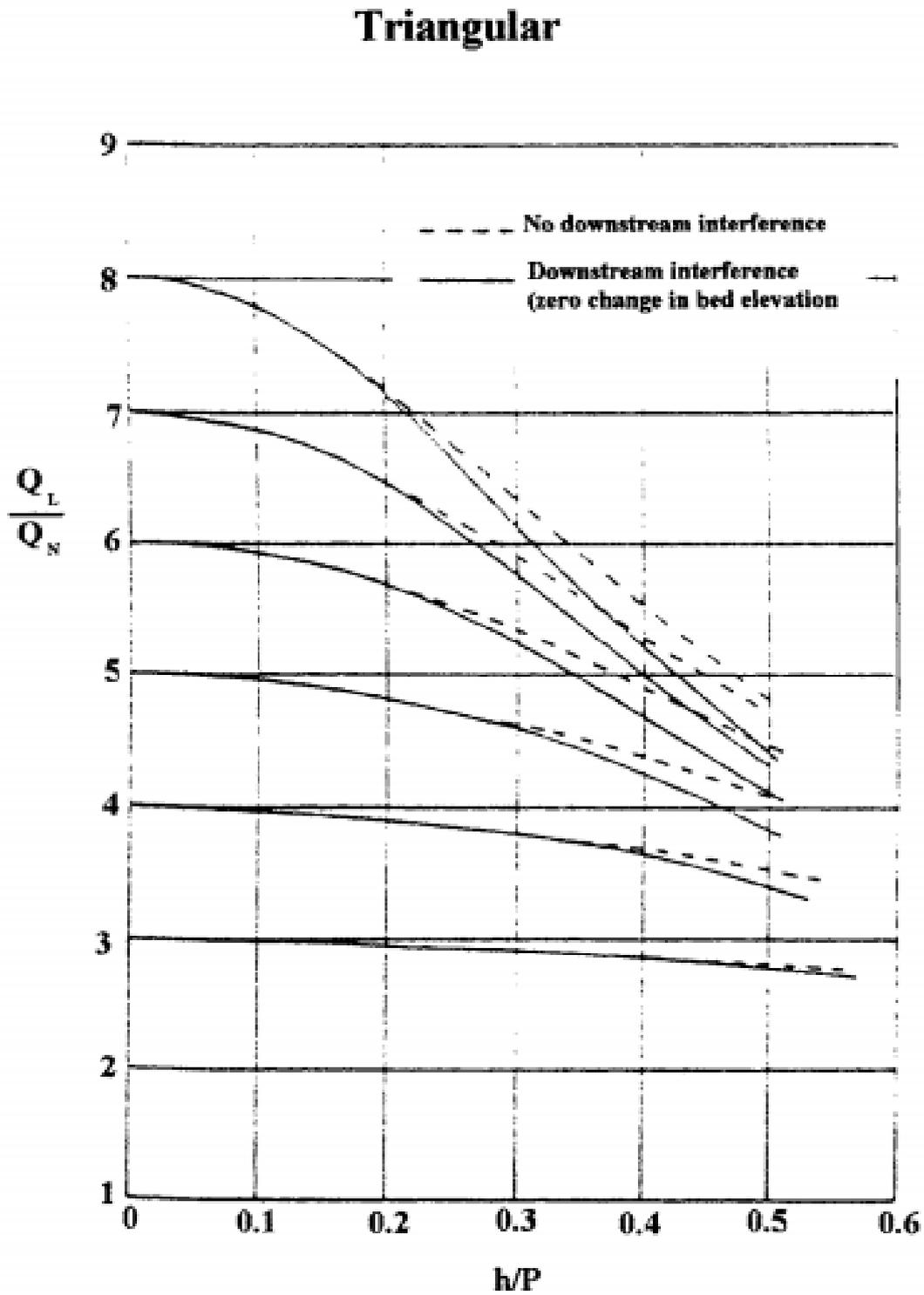


Figura A.2-1- Curva de Hay & Taylor (1970) para soleira triangular

ÁBACO DE HAY E TAYLOR (1970) PARA DESCARREGADOR TRAPEZOIDAL

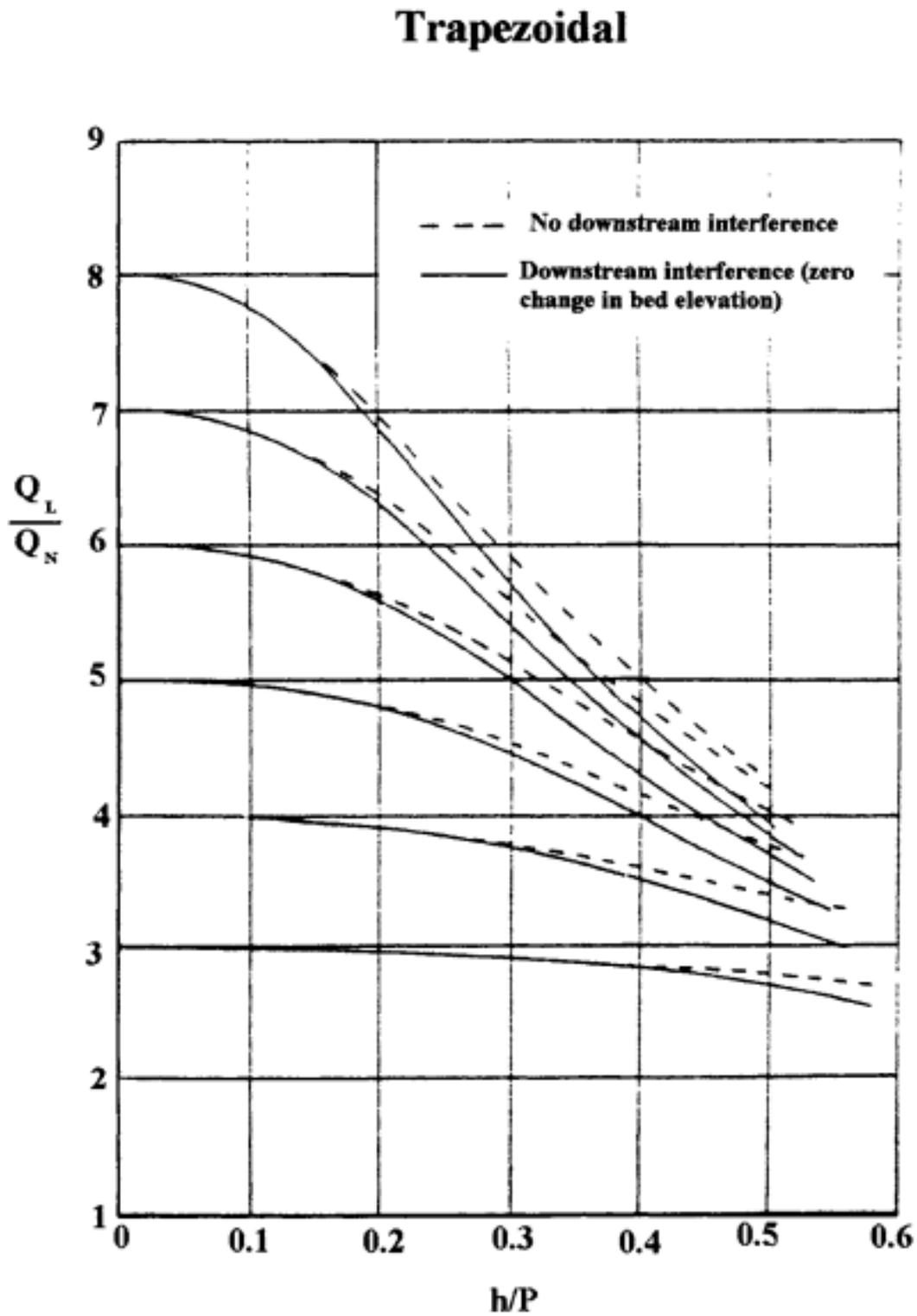


Figura A.2-2- Curva de Hay & Taylor (1970) para soleira trapezoidal

ÁBACO DE DARVAS (1971) PARA DESCARREGADOR TRIANGULAR

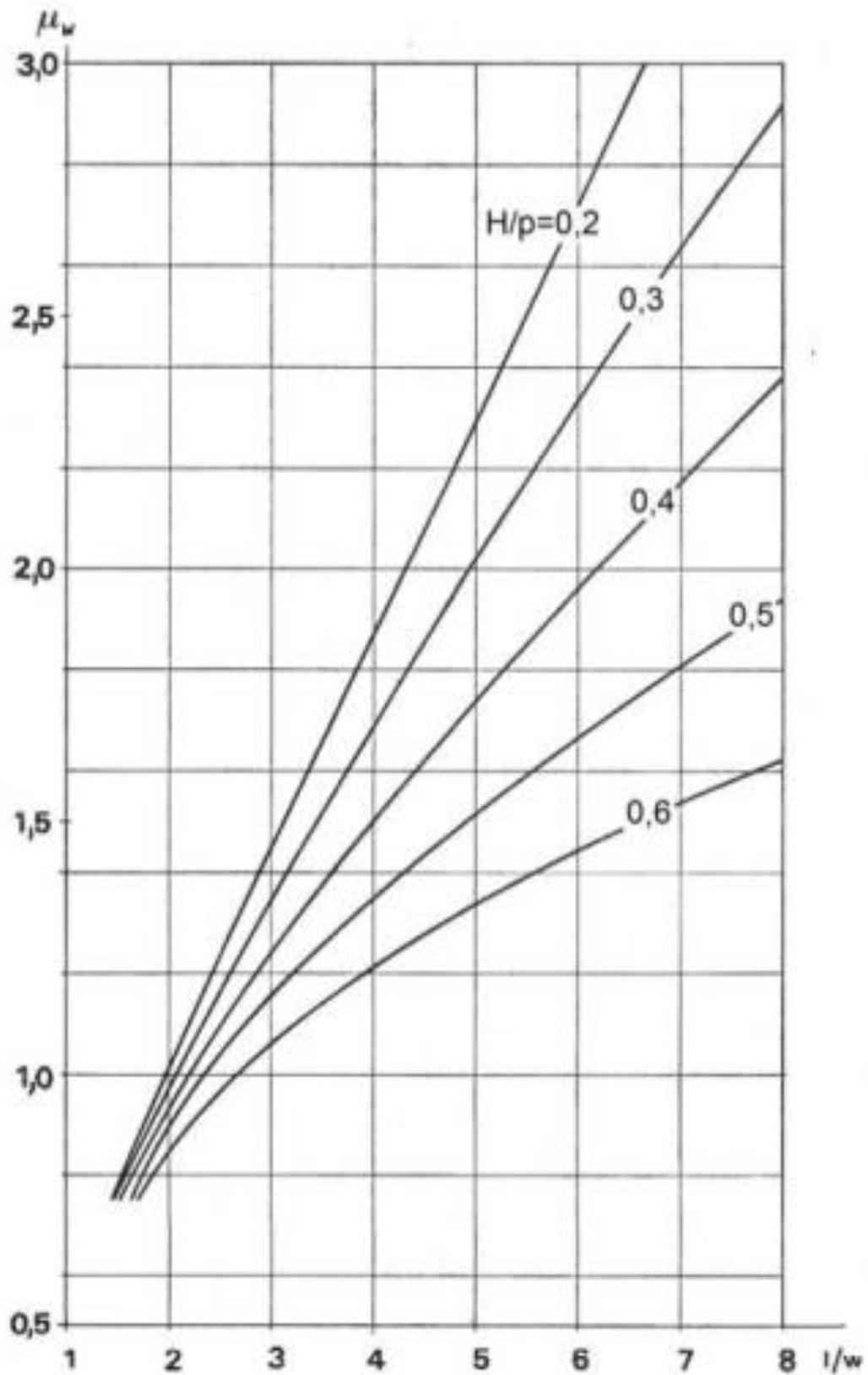


Figura A.2-3- Curva de Darvas (1970) (adaptado)

ÁBACO DE MAGALHÃES & LORENA (1989) PARA DESCARREGADOR TRAPEZOIDAL

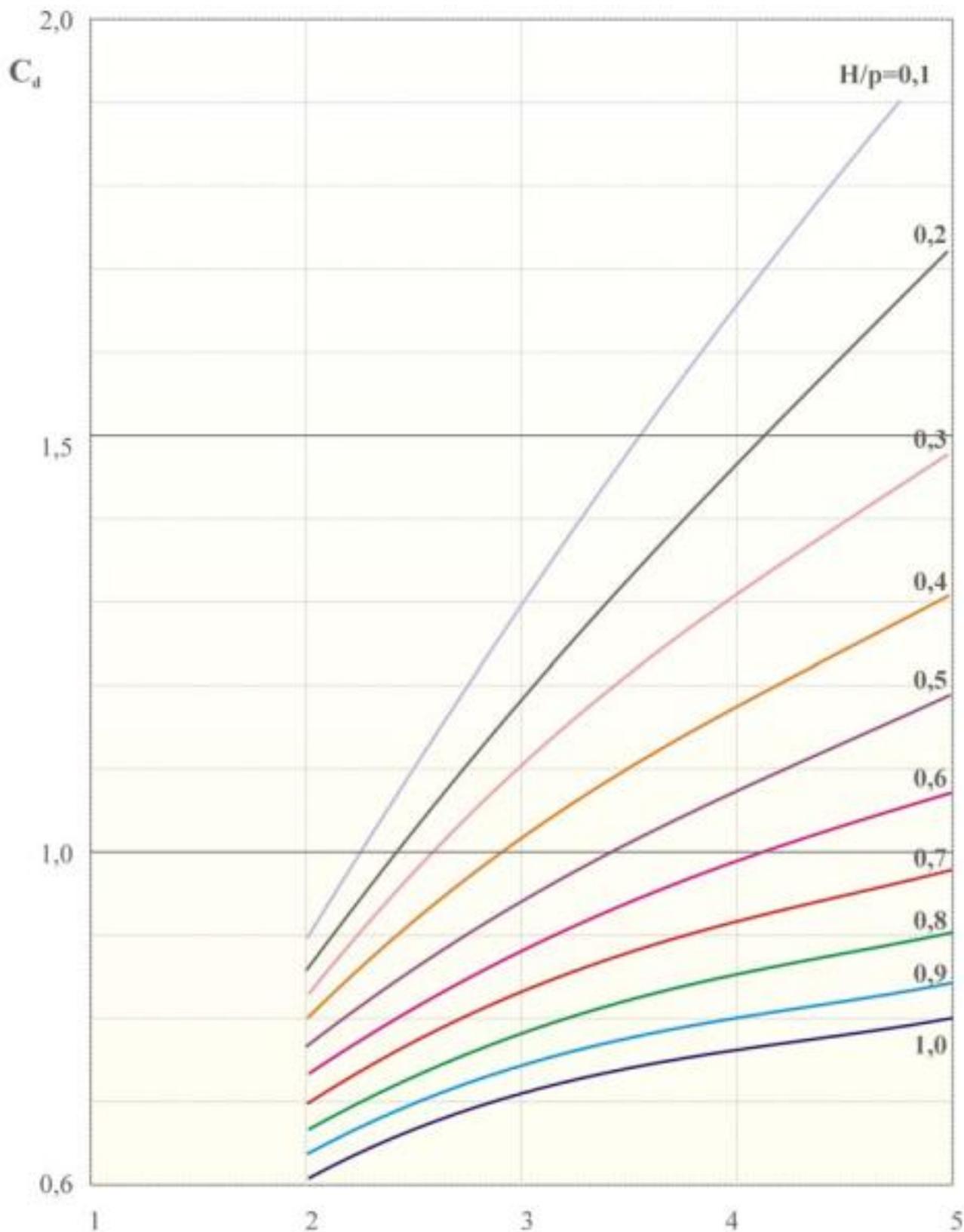


Figura A.2-4- Curva de Magalhães e Lorena (1989)

ÁBACO DE LUX & HINCHLIFF (1989) PARA DESCARREGADOR TRIANGULAR

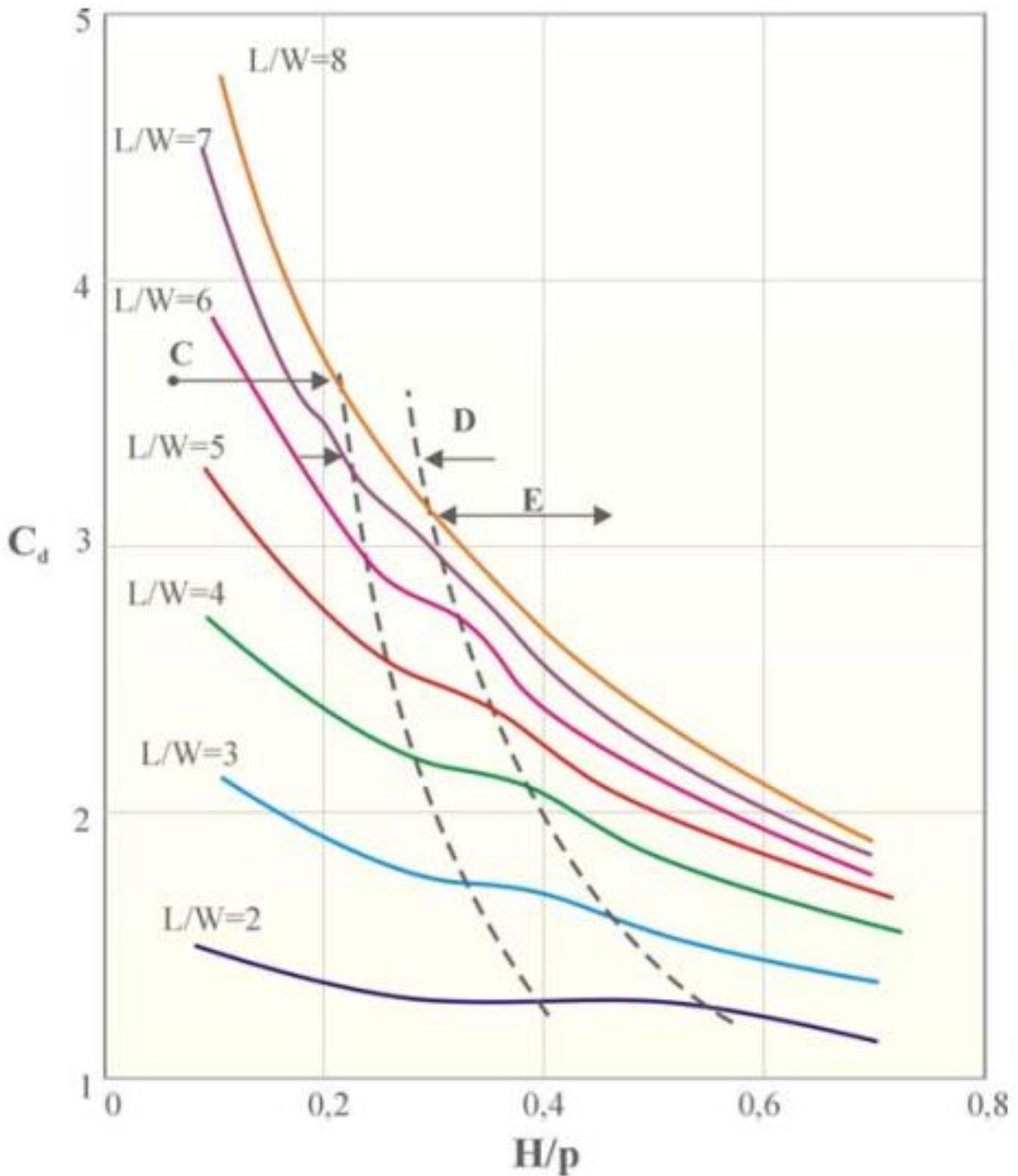


Figura A.2-5- Curva de Lux & Hinchliff (1985) para soleira triangular

ÁBACO DE LUX & HINCHLIFF (1989) PARA DESCARREGADOR TRAPEZOIDAL

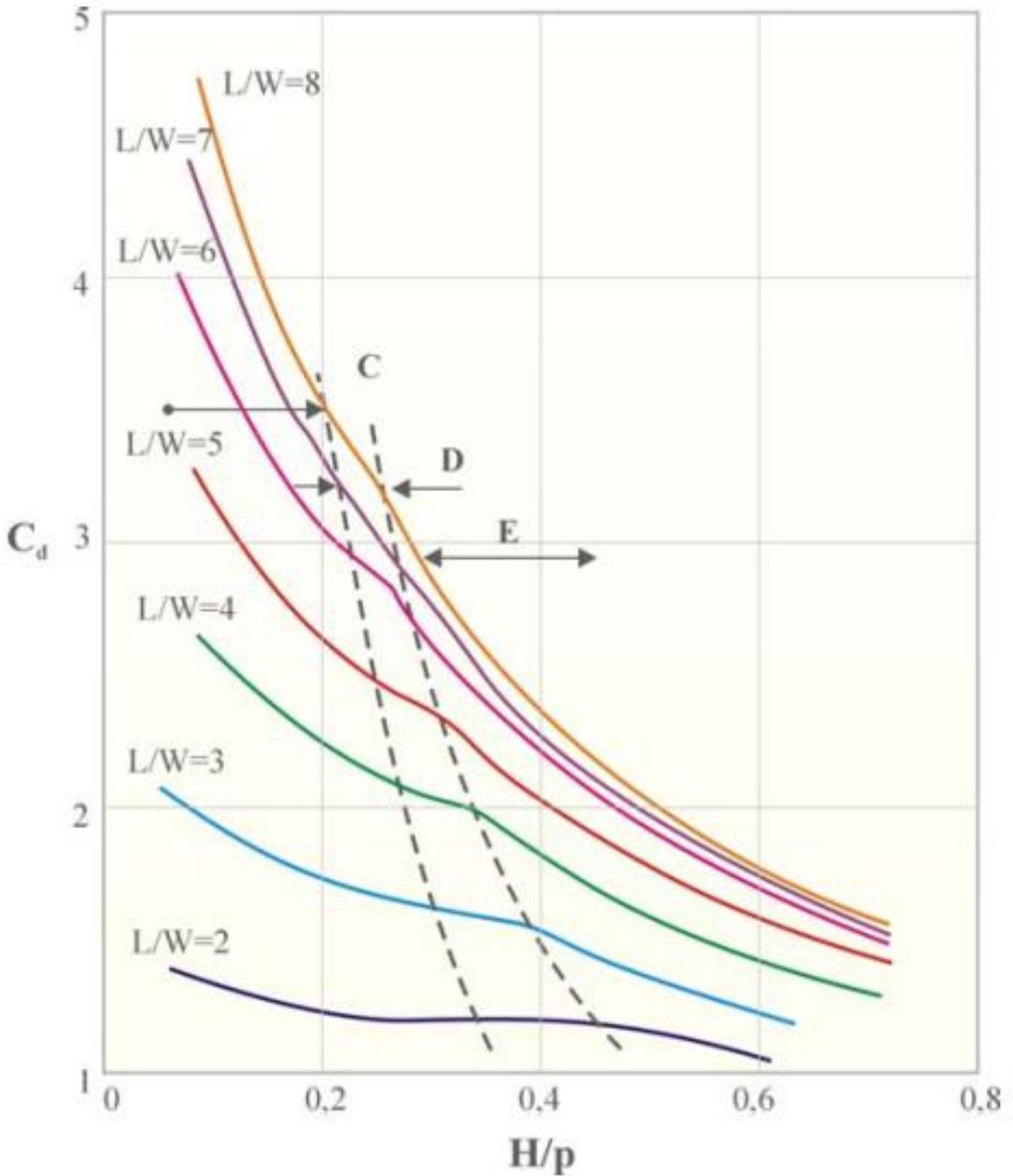


Figura A.2-6- Curva de Lux & Hinchliff (1985) para soleira trapezoidal

ÁBACO DE TULLIS (1995) PARA DESCARREGADOR TRIANGULAR

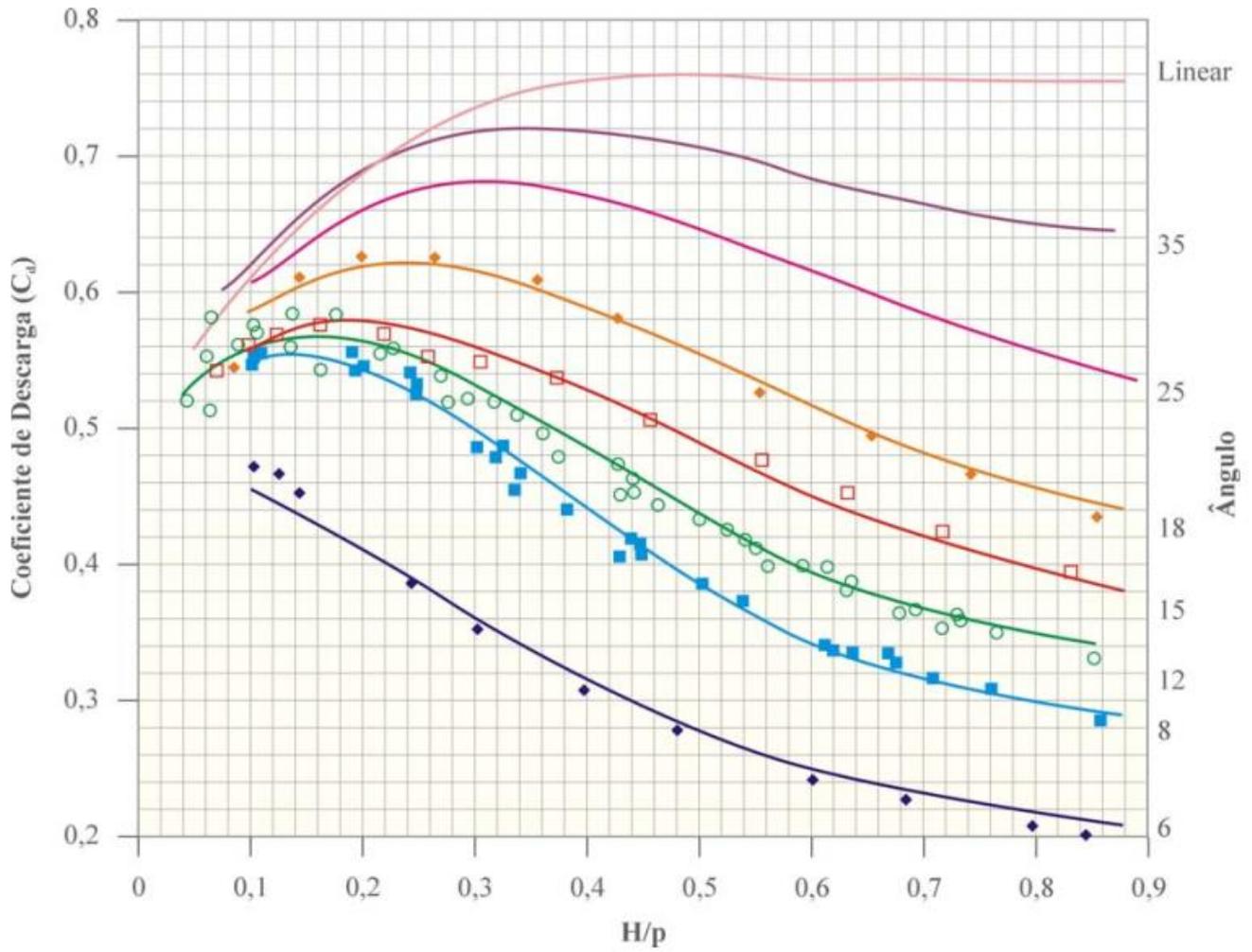


Figura A.2-7 - Curva de Tullis (1995)

ÁBACO DE MAGALHÃES & MELO (2002) PARA DESCARREGADOR TRAPEZOIDAL

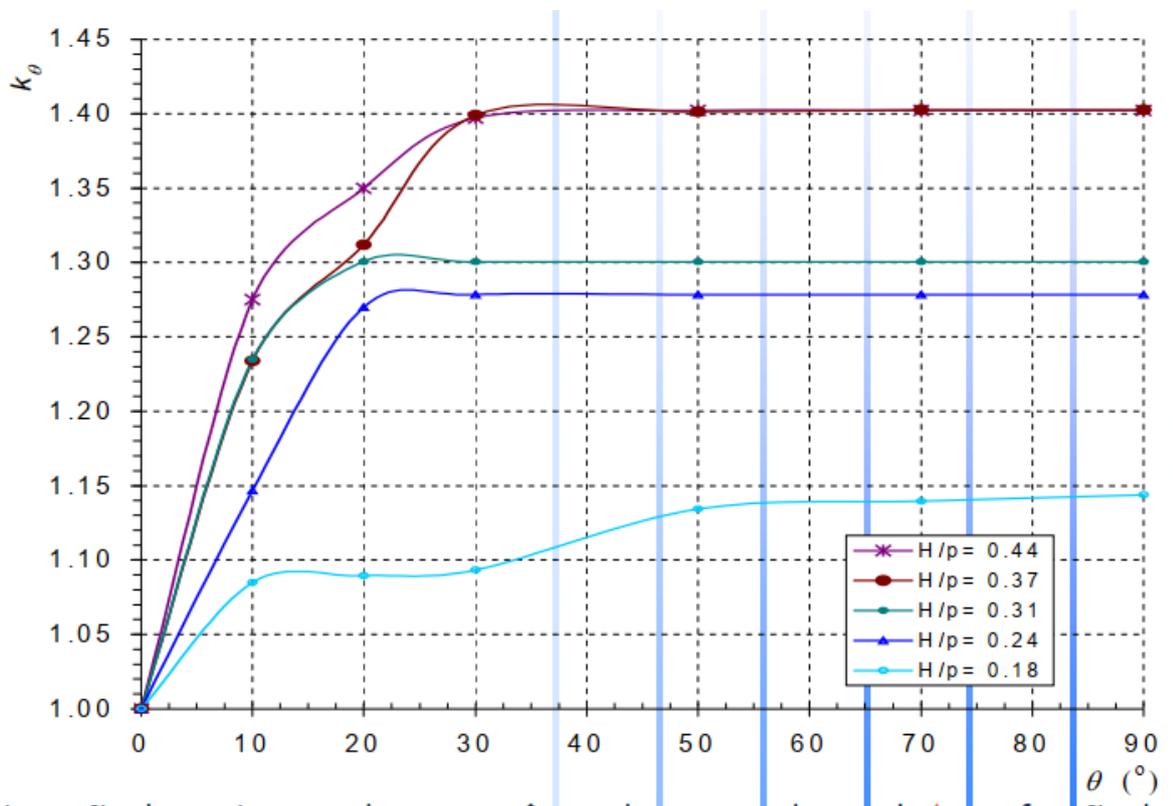


Figura A.2-8 - Magalhães & Melo (2002)

ANEXO 3- FUNÇÕES DE AJUSTE ÀS CURVAS DE VAZÃO

Quadro A.3-1 - Funções de ajuste às curvas do ábaco de Hay e Taylor (1970)

Forma	QL/QN	Função: ax^3+bx^2+cx+d				Coef. Correlação R ²
		a	b	c	d	
Triangular	3.000	-1.093	0.183	-0.261	2.978	0.993
	4.000	-4.614	1.143	-0.666	3.999	0.998
	5.000	-112.697	-4.893	0.107	4.982	0.999
	6.000	8.130	-13.358	0.889	5.956	0.999
	7.000	20.923	-23.918	1.452	6.925	0.999
	8.000	37.145	-35.032	1.170	7.972	0.999
Trapezoidal	3.000	-2.790	0.739	-0.245	3.021	0.996
	4.000	-3.867	0.739	-0.245	3.974	0.999
	5.000	8.485	-12.852	1.397	4.959	0.999
	6.000	22.297	-24.486	2.181	5.948	0.999
	7.000	35.980	-34.523	2.053	6.968	0.999
	8.000	52.582	-44.240	0.943	8.038	0.999

Quadro A.3-2 - Funções de ajuste às curvas do ábaco de Darvas (1971)

Forma	μ_w	Função: ax^3+bx^2+cx+d				Coef. Correlação R ²
		a	b	c	d	
Trapezoidal	0.200		-0.002	0.442	0.125	0.999
	0.300		-0.008	0.410	0.183	0.999
	0.400		-0.007	0.310	0.357	0.995
	0.500		-0.014	0.309	0.330	0.997
	0.600	0.003	-0.050	0.414	0.187	0.999

Quadro A.3-3 - Funções de ajuste às curvas do ábaco de Magalhães e Lorena (1989)

Forma	C _p	Função: ax^3+bx^2+cx+d				Coef. Correlação R ²
		a	b	c	d	
Trapezoidal	0.100			0.382	0.146	0.999
	0.200			0.327	0.265	0.999
	0.300		-0.012	0.363	0.216	0.999
	0.400		-0.017	0.355	0.249	0.999
	0.500		-0.020	0.329	0.288	0.999
	0.600	0.007	-0.094	0.544	0.059	0.999
	0.700	0.007	-0.093	0.517	0.077	0.999
	0.800	0.007	-0.093	0.505	0.068	0.999
	0.900	0.006	-0.087	0.475	0.081	0.999
	1.000	0.006	-0.086	0.462	0.073	0.999

Quadro A.3-4 - Funções de ajuste às curvas do ábaco de Lux e Hinchliff (1985)

Forma	C _x	Função: ax^3+bx^2+cx+d				Coef. Correlação R ²
		a	b	c	d	
Triangular	2.000	1.603	-2.103	0.137	1.528	0.994
	3.000	0.445	0.350	-2.037	2.444	0.997
	4.000	3.136	-2.707	-1.841	3.100	0.998
	5.000	-0.674	3.340	-5.404	4.014	0.998
	6.000	-2.853	8.321	-9.064	4.999	0.998
	7.000	-4.884	11.937	-11.760	5.786	0.999
	8.000	-6.894	16.652	-15.033	6.559	0.999
Trapezoidal	2.000	-5.940	5.602	-1.984	1.553	0.994
	3.000	0.341	-0.106	-1.614	2.261	0.996
	4.000	4.273	-3.821	-1.681	2.987	0.998
	5.000	2.366	-4.976	3.843		0.999
	6.000	2.056	2.103	-6.881	4.701	0.999
	7.000	-3.319	10.860	-11.732	5.695	0.999
	8.000	-5.443	15.384	-14.962	6.484	0.999

Quadro A.3-5 - Funções de ajuste às curvas do ábaco de Tullis (1995)

Forma	C _T	Função: ax^3+bx^2+cx+d				Coef. Correlação R ²
		a	b	c	d	
Triangular	6.000	0.168	0.102	-0.557	0.512	0.999
	8.000	1.254	-1.595	0.140	0.561	0.996
	12.000	1.598	-2.262	0.568	0.521	0.996
	15.000	1.173	-1.851	0.572	0.520	0.997
	18.000	1.275	-2.129	0.787	0.533	0.997
	25.000	1.331	-2.450	1.151	0.518	0.997
	35.000	1.417	-2.530	1.272	0.527	0.996
	Linear	1.207	-2.250	1.346	0.503	0.998

Quadro A.3-6 - Funções de ajuste às curvas do ábaco de Magalhães e Melo (2002)

Forma	K ₀	Função: $ax^6+bx^5+cx^4+dx^3+ex^2+fx+g$							Coef. Correlação R ²
		a	b	c	d	e	f	g	
Trapezoidal	10.000	-46.500	85708.690	-64111.540	23964.210	-5334.140	594.290	-25.960	0.999
	20.000			-161.820	256.470	-147.790	37.040	-2.130	0.999
	30.000	-5141.600	6588.090	-3083.300	625.890	53.190	4.780	0.484	0.997
	50.000			-571.800	713.930	-328.380	66.850	-3.830	0.995
	70.000			-572.410	713.220	-327.100	66.350	-3.778	0.997

ANEXO 4- FLUXOGRAMA ILUSTRATIVO DO DIMENSIONAMENTO

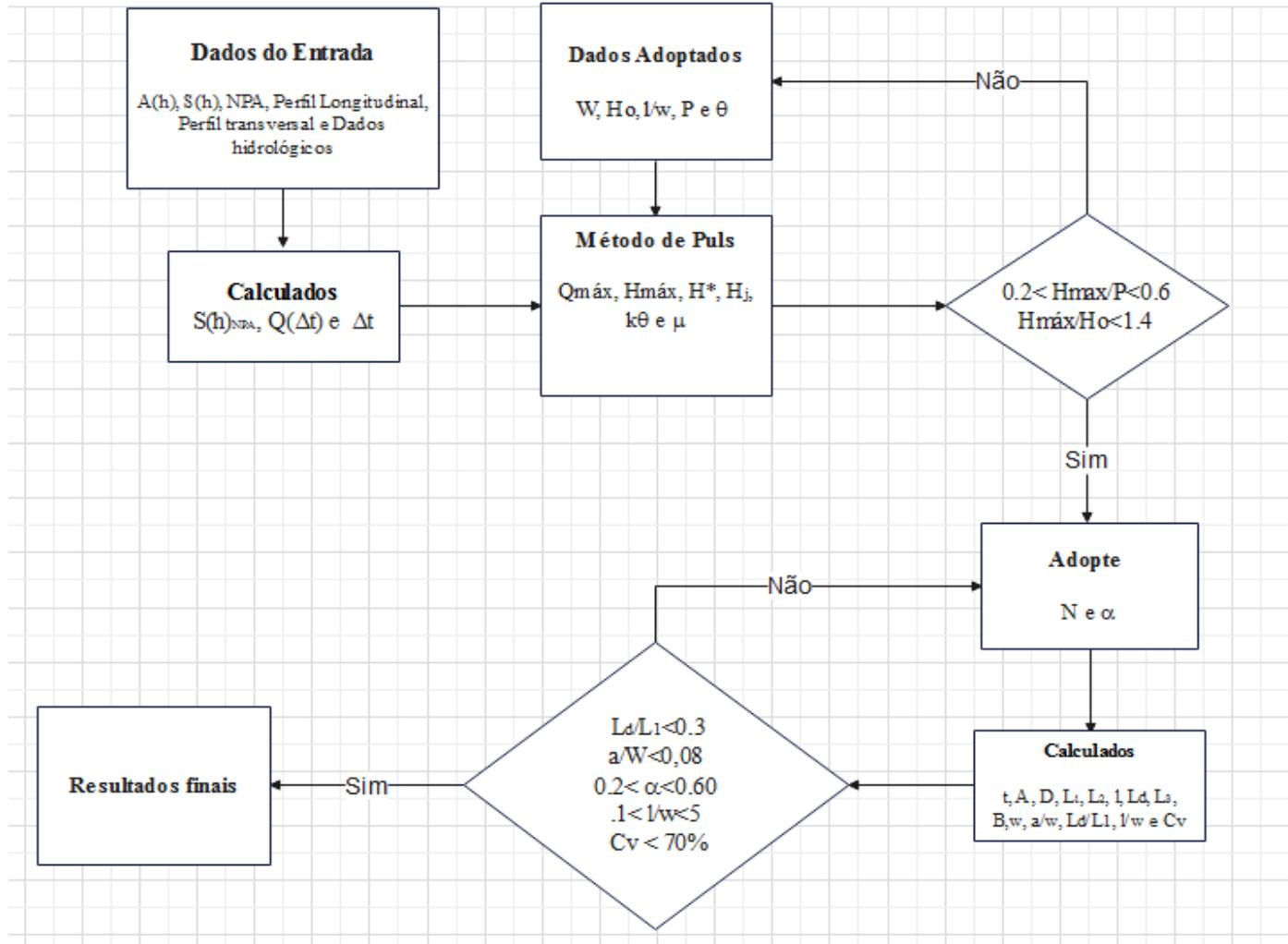


Figura A.4-1 - Fluxograma ilustrativo ao dimensionamento

ANEXO 5- DESENHOS E DADOS DO EXEMPLO PROPOSTO

SECÇÃO INUNDADA: ESCALA (1:25000)



Figura A.5.1 - SECÇÃO INUNDADA: ESCALA (1:25000)

PERFIL TRANSVERSAL DA BARRAGEM

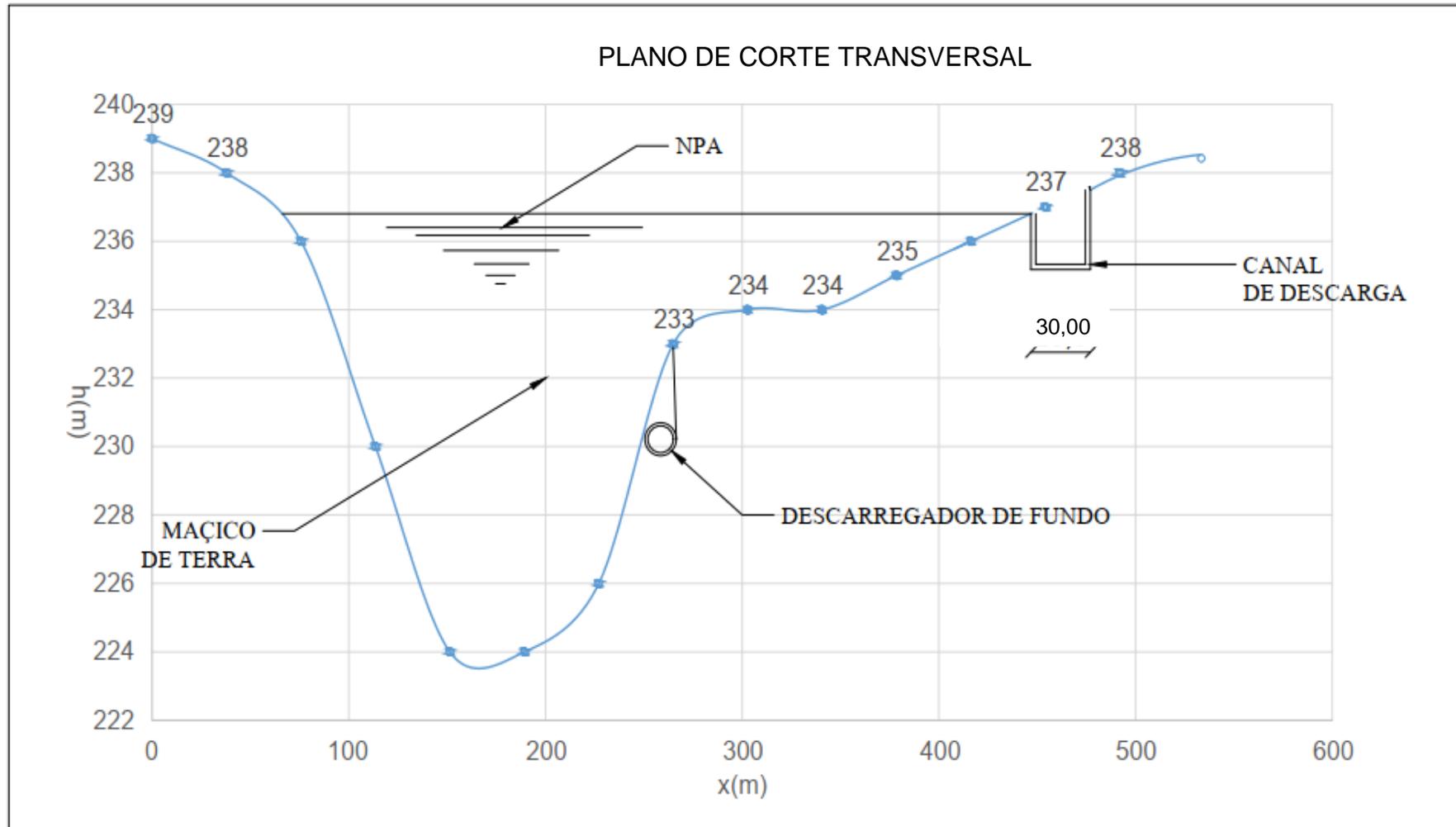


Figura A.5-2 - Perfil transversal da barragem

PLANO DE TOPO DA BARRAGEM

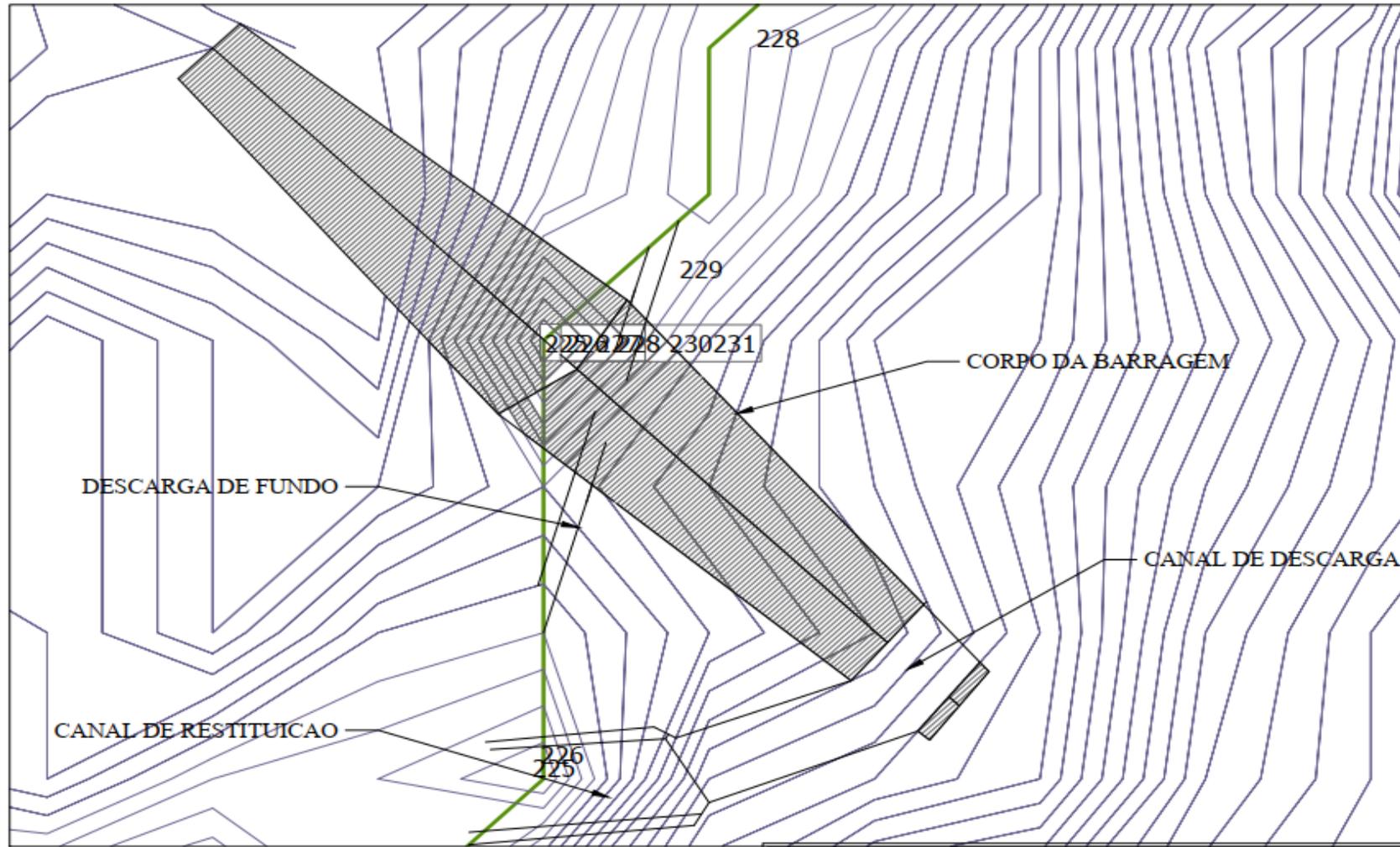


Figura A.5.3 - Vista em planta da Barragem

CORTE LONGITUDINAL DO CANAL DE DESCARGA

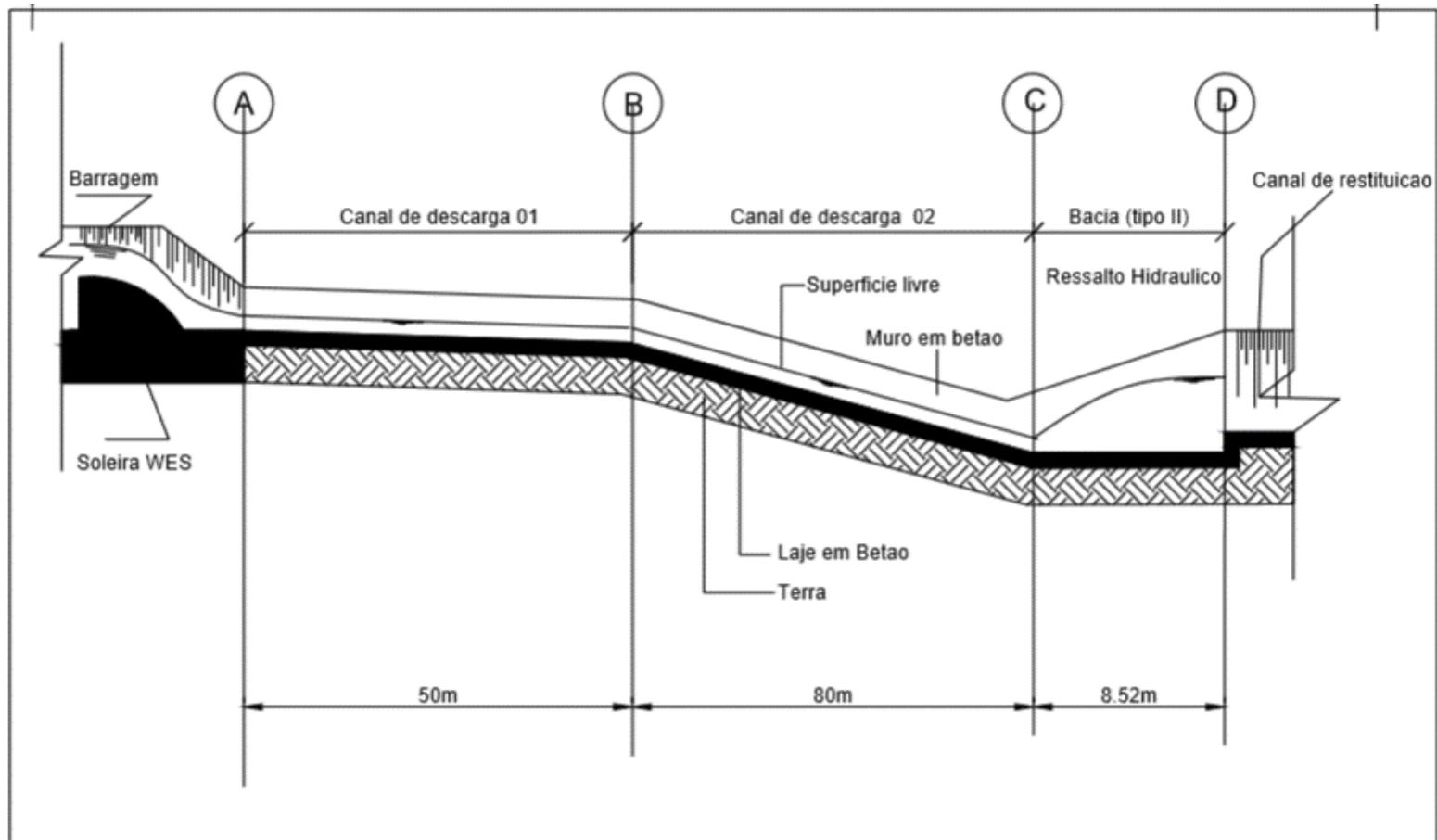


Figura A.5-4 - Corte longitudinal do canal de descarga incluindo a bacia e dissipação e o canal de restituição.

DETALHE DO DIMENSIONAMENTO DESCARREGADOR WES

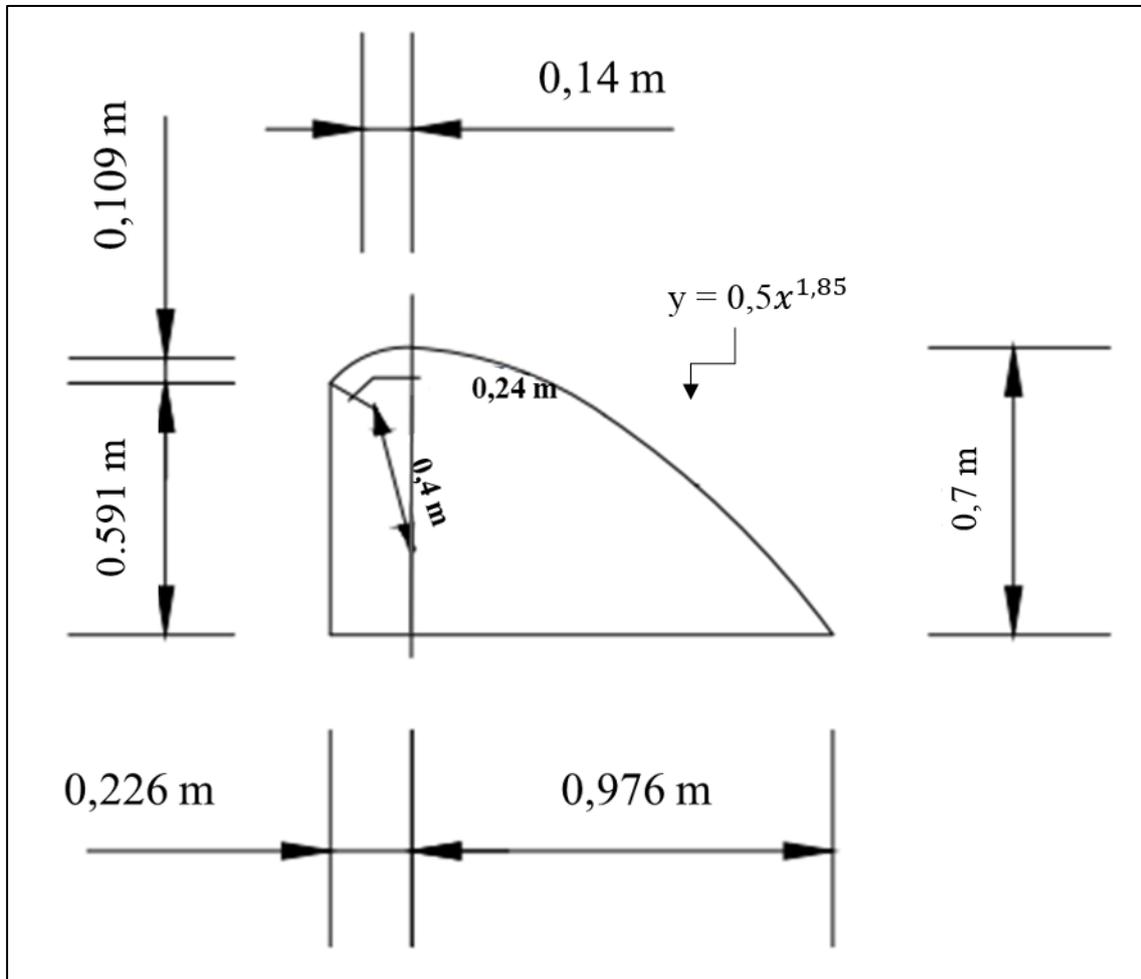


Figura A.5- 5 - Detalhe do dimensionamento descarregador WES

ANEXO 6- DETALHAMENTO DAS PLANILHAS DE CÁLCULO

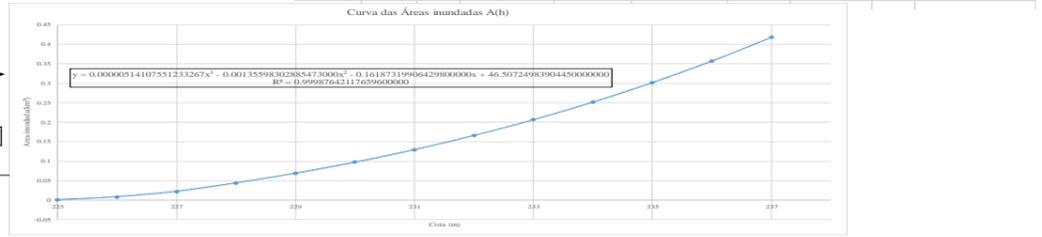
ILUSTRAÇÃO DA PLANILHA Nº01

COTA MÍNIMA [m]	225
COTA MÁXIMA [m]	241
DADOS DA CURVA DAS ÁREAS INUNDADAS	
COTA (m)	Área (Mm²)
226	0,000453904
227	0,023050977
228	0,044322625
229	0,069517425
230	0,097996036
231	0,130111849
232	0,166200125
233	0,206637003
234	0,251742778
235	0,301826633
236	0,357110533
237	0,417665242
238	0,483232228
239	0,553852206
240	0,629471111
241	0,710093057

INTRODUZA A COTA E ÁREA INUNDADAS ENTRE AS CURVAS DE NÍVEL NAS CELULAS EM LARANJA

COPIE A EQUAÇÃO DA CURVA À ESQUERDA E SUBSTITUA NA CELULA EM LARANJA (D29) NA TABELA ABAIXO

INTEGRE A EQUAÇÃO E SUBSTITUA NA CELULA E242



CAPACIDADE DE ARMANENAMENTO				
Cota [m]	Carga de Hidráulica [m]	Área [Mm²]	V (Mm³)	Volume acumulado (Mm³)
225	0	0,000000	4512,221328	0
225,2	0,1	0,000007	4512,221328	0,000007
225,4	0,2	0,000104	4512,221329	0,000104
225,6	0,3	0,000203	4512,221331	0,000203
225,8	0,4	0,000305	4512,221333	0,000305
226	0,5	0,000409	4512,221339	0,000409
226,2	0,6	0,000526	4512,221344	0,000526
226,4	0,7	0,000655	4512,221352	0,000655
226,6	0,8	0,000796	4512,221367	0,000796
226,8	0,9	0,000949	4512,221389	0,000949
227	1	0,001114	4512,221418	0,001114
227,2	1,1	0,001291	4512,221454	0,001291
227,4	1,2	0,001480	4512,221497	0,001480
227,6	1,3	0,001681	4512,221547	0,001681
227,8	1,4	0,001894	4512,221604	0,001894
228	1,5	0,002119	4512,221668	0,002119
228,2	1,6	0,002356	4512,221739	0,002356
228,4	1,7	0,002605	4512,221816	0,002605
228,6	1,8	0,002866	4512,221899	0,002866
228,8	1,9	0,003139	4512,221988	0,003139
229	2	0,003424	4512,222083	0,003424
229,2	2,1	0,003721	4512,222184	0,003721
229,4	2,2	0,004030	4512,222291	0,004030
229,6	2,3	0,004351	4512,222404	0,004351
229,8	2,4	0,004684	4512,222523	0,004684
230	2,5	0,005029	4512,222648	0,005029
230,2	2,6	0,005386	4512,222779	0,005386
230,4	2,7	0,005755	4512,222916	0,005755
230,6	2,8	0,006136	4512,223059	0,006136
230,8	2,9	0,006529	4512,223208	0,006529
231	3	0,006934	4512,223363	0,006934
231,2	3,1	0,007351	4512,223524	0,007351
231,4	3,2	0,007780	4512,223691	0,007780
231,6	3,3	0,008221	4512,223864	0,008221
231,8	3,4	0,008674	4512,224043	0,008674
232	3,5	0,009139	4512,224228	0,009139
232,2	3,6	0,009616	4512,224419	0,009616
232,4	3,7	0,010105	4512,224616	0,010105
232,6	3,8	0,010606	4512,224819	0,010606
232,8	3,9	0,011119	4512,225028	0,011119
233	4	0,011644	4512,225243	0,011644
233,2	4,1	0,012181	4512,225464	0,012181
233,4	4,2	0,012730	4512,225691	0,012730
233,6	4,3	0,013291	4512,225924	0,013291
233,8	4,4	0,013864	4512,226163	0,013864
234	4,5	0,014449	4512,226408	0,014449
234,2	4,6	0,015046	4512,226659	0,015046
234,4	4,7	0,015655	4512,226916	0,015655
234,6	4,8	0,016276	4512,227179	0,016276
234,8	4,9	0,016909	4512,227448	0,016909
235	5	0,017554	4512,227723	0,017554
235,2	5,1	0,018211	4512,228004	0,018211
235,4	5,2	0,018880	4512,228291	0,018880
235,6	5,3	0,019561	4512,228584	0,019561
235,8	5,4	0,020254	4512,228883	0,020254
236	5,5	0,020959	4512,229188	0,020959
236,2	5,6	0,021676	4512,229499	0,021676
236,4	5,7	0,022405	4512,229816	0,022405
236,6	5,8	0,023146	4512,230139	0,023146
236,8	5,9	0,023899	4512,230468	0,023899
237	6	0,024664	4512,230803	0,024664
237,2	6,1	0,025441	4512,231144	0,025441
237,4	6,2	0,026230	4512,231491	0,026230
237,6	6,3	0,027031	4512,231844	0,027031
237,8	6,4	0,027844	4512,232203	0,027844
238	6,5	0,028669	4512,232568	0,028669
238,2	6,6	0,029506	4512,232939	0,029506
238,4	6,7	0,030355	4512,233316	0,030355
238,6	6,8	0,031216	4512,233699	0,031216
238,8	6,9	0,032089	4512,234088	0,032089
239	7	0,032974	4512,234483	0,032974
239,2	7,1	0,033871	4512,234884	0,033871
239,4	7,2	0,034780	4512,235291	0,034780
239,6	7,3	0,035699	4512,235704	0,035699
239,8	7,4	0,036629	4512,236123	0,036629
240	7,5	0,037570	4512,236548	0,037570
240,2	7,6	0,038521	4512,236979	0,038521
240,4	7,7	0,039483	4512,237416	0,039483
240,6	7,8	0,040456	4512,237859	0,040456
240,8	7,9	0,041440	4512,238308	0,041440
241	8	0,042435	4512,238763	0,042435
241,2	8,1	0,043441	4512,239224	0,043441
241,4	8,2	0,044458	4512,239691	0,044458
241,6	8,3	0,045486	4512,240164	0,045486
241,8	8,4	0,046525	4512,240643	0,046525
242	8,5	0,047575	4512,241128	0,047575
242,2	8,6	0,048636	4512,241619	0,048636
242,4	8,7	0,049708	4512,242116	0,049708
242,6	8,8	0,050791	4512,242619	0,050791
242,8	8,9	0,051885	4512,243128	0,051885
243	9	0,052990	4512,243643	0,052990
243,2	9,1	0,054106	4512,244164	0,054106
243,4	9,2	0,055233	4512,244691	0,055233
243,6	9,3	0,056371	4512,245224	0,056371
243,8	9,4	0,057520	4512,245763	0,057520
244	9,5	0,058680	4512,246308	0,058680
244,2	9,6	0,059851	4512,246859	0,059851
244,4	9,7	0,061033	4512,247416	0,061033
244,6	9,8	0,062226	4512,247979	0,062226
244,8	9,9	0,063430	4512,248548	0,063430
245	10	0,064645	4512,249123	0,064645
245,2	10,1	0,065871	4512,249704	0,065871
245,4	10,2	0,067108	4512,250291	0,067108
245,6	10,3	0,068356	4512,250884	0,068356
245,8	10,4	0,069615	4512,251483	0,069615
246	10,5	0,070885	4512,252088	0,070885
246,2	10,6	0,072166	4512,252699	0,072166
246,4	10,7	0,073458	4512,253316	0,073458
246,6	10,8	0,074761	4512,253939	0,074761
246,8	10,9	0,076075	4512,254568	0,076075
247	11	0,077400	4512,255203	0,077400
247,2	11,1	0,078736	4512,255844	0,078736
247,4	11,2	0,080083	4512,256491	0,080083
247,6	11,3	0,081441	4512,257144	0,081441
247,8	11,4	0,082810	4512,257803	0,082810
248	11,5	0,084190	4512,258468	0,084190
248,2	11,6	0,085581	4512,259139	0,085581
248,4	11,7	0,086983	4512,259816	0,086983
248,6	11,8	0,088396	4512,260499	0,088396
248,8	11,9	0,089820	4512,261188	0,089820
249	12	0,091255	4512,261883	0,091255
249,2	12,1	0,092701	4512,262584	0,092701
249,4	12,2	0,094158	4512,263291	0,094158
249,6	12,3	0,095626	4512,264004	0,095626
249,8	12,4	0,097105	4512,264723	0,097105
250	12,5	0,098595	4512,265448	0,098595
250,2	12,6	0,100096	4512,266179	0,100096
250,4	12,7	0,101608	4512,266916	0,101608
250,6	12,8	0,103131	4512,267659	0,103131
250,8	12,9	0,104665	4512,268408	0,104665
251	13	0,106210	4512,269163	0,106210
251,2	13,1	0,107766	4512,269924	0,107766
251,4	13,2	0,109333	4512,270691	0,109333
251,6	13,3	0,110911	4512,271464	0,110911
251,8	13,4	0,112499	4512,272243	0,112499
252	13,5	0,114108	4512,273028	0,114108
252,2	13,6	0,115728	4512,273819	0,115728
252,4	13,7	0,117359	4512,274616	0,117359
252,6	13,8	0,118999	4512,275419	0,118999
252,8	13,9	0,120650	4512,276228	0,120650
253	14	0,122311	4512,277043	0,122311
253,2	14,1	0,123982	4512,277864	0,123982
253,4	14,2	0,125663	4512,278691	0,125663
253,6	14,3	0,127354	4512,279524	0,127354
253,8	14,4	0,129055	4512,280363	0,129055
254	14,5	0,130766	4512,281208	0,130766
254,2	14,6	0,132487	4512,282059	0,132487
254,4	14,7	0,134218	4512,282916	0,134218
254,6	14,8	0,135959	4512,283779	0,135959
254,8	14,9	0,137710	4512,284648	0,137710
255	15	0,139471	4512,285523	0,139471
255,2	15,1	0,141242	4512,286404	0,141242
255,4	15,2	0,143023	4512,287291	0,143023
255,6	15,3	0,144814	4512,288184	0,144814
255,8	15,4	0,146615	4512,289083	0,146615
256	15,5	0,148426	4512,289988	0,148426
256,2	15,6	0,150247	4512,290899	0,150247
256,4	15,7	0,152078	4512,291816	0,152078
256,6	15,8	0,153919	4512,292739	0,153919
256,8	15,9	0,155770	4512,293668	0,155770
257	16	0,157631	4512,294603	0,157631
257,2	16,1	0,159502	4512,295544	0,159502
257,4	16,2	0,161383	4512,296491	0,161383
257,6	16,3	0,163274	4512,297443	0,163274
257,8	16,4	0,165175	4512,298401	0,165175
258	16,5	0,167086	4512,299364	0,167086
258,2	16,6	0,169007	4512,300333	0,169007
258,4	16,7	0,170938	4512,301308	0,170938
258,6	16,8	0,172879	4512,302289	0,172879
258,8	16,9	0,174830	4512,303276	0,174830
259	17	0,176791	4512,304269	0,176791
259,2	17,1	0,17		

PLANILHA Nº1

Tabela A.6-1 - Tabela dados da curva das áreas inundadas

COTA MÍNIMA [m]	225
COTA MÁXIMA [m]	241
DADOS DA CURVA DAS AREAS INUNDADAS	
COTA (m)	Área (km²)
225	0.001506192
226	0.008453804
227	0.022058097
228	0.044320625
229	0.06951745
230	0.097998036
231	0.130111848
232	0.16620835
233	0.206637005
234	0.251747278
235	0.301888633
236	0.357410533
237	0.418662442
238	0.46023228
239	0.510653206
240	0.561074131
241	0.611495057

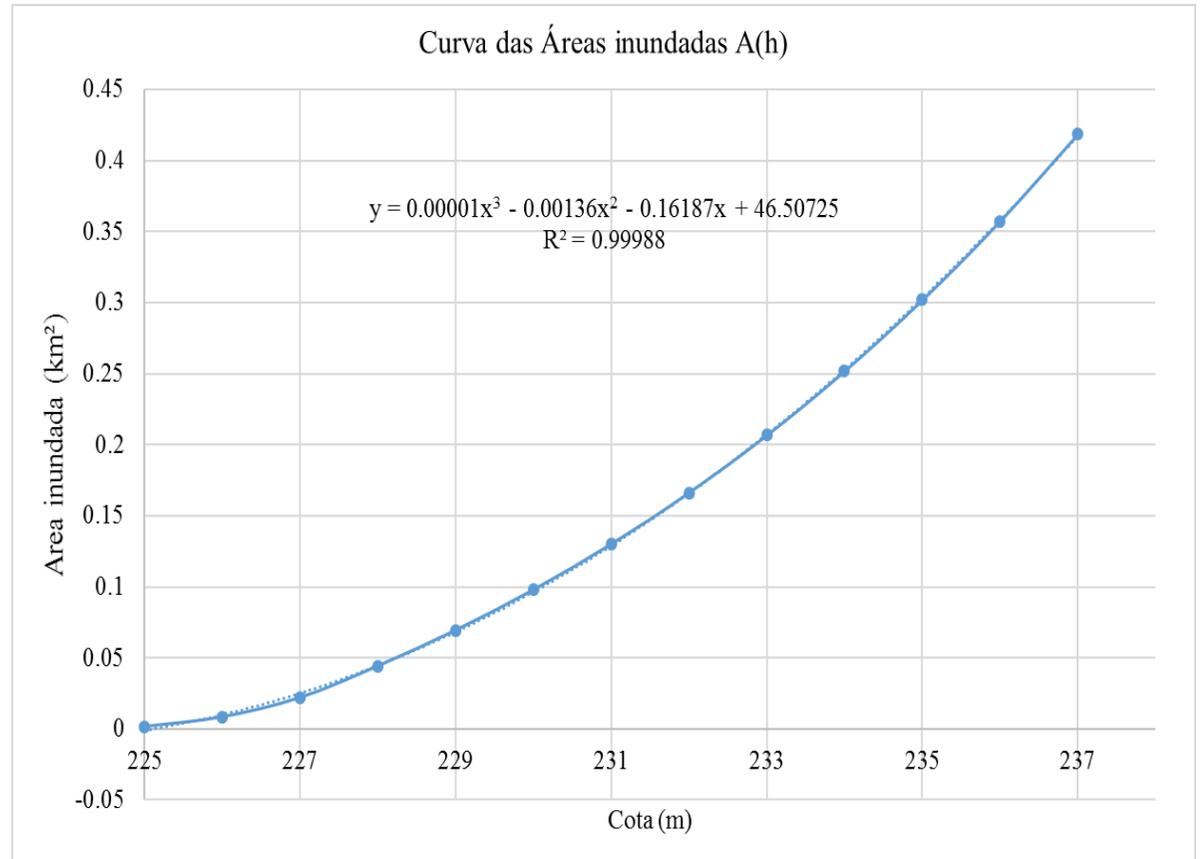


Figura A.6-2 - Curva A(h) gerada inicialmente

TABELA DA “CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO”

Tabela A.6- 2 - Capacidade dos armazenamento

CAPACIDADE DE ARMANENAMENTO				
Cota [m]	Carga de hidráulica (m)	A (km²)	Vi (Mm³)	Volumes acumulados (Mm³)
225	0	0.000000	4512.221358	0
225.2	0.2	0.001034	4512.221379	2.084E-05
225.4	0.4	0.003035	4512.221783	0.000424948
225.6	0.6	0.005206	4512.222604	0.001246226
225.8	0.8	0.007546	4512.223877	0.002518624
226	1	0.010057	4512.225634	0.004276145
226.2	1.2	0.012738	4512.227911	0.006552837
226.4	1.4	0.015590	4512.230741	0.009382801
226.6	1.6	0.018612	4512.234158	0.012800184
226.8	1.8	0.021806	4512.238197	0.016839185
227	2	0.025171	4512.242892	0.021534051
227.2	2.2	0.028708	4512.248277	0.026919079
227.4	2.4	0.032416	4512.254387	0.033028616
227.6	2.6	0.036297	4512.261255	0.039897055
227.8	2.8	0.040350	4512.268917	0.047558843
228	3	0.044575	4512.277407	0.056048474
228.2	3.2	0.048974	4512.286759	0.065400491
228.4	3.4	0.053545	4512.297008	0.075649486
228.6	3.6	0.058290	4512.308188	0.086830103
228.8	3.8	0.063208	4512.320335	0.098977032
229	4	0.068301	4512.333483	0.112125015
229.2	4.2	0.073567	4512.347667	0.126308842
229.4	4.4	0.079007	4512.362921	0.141563353
229.6	4.6	0.084623	4512.379281	0.157923436
229.8	4.8	0.090413	4512.396782	0.175424031
230	5	0.096378	4512.415458	0.194100124
230.2	5.2	0.102518	4512.435345	0.213986752
230.4	5.4	0.108834	4512.456477	0.235119003
230.6	5.6	0.115326	4512.47889	0.257532012
230.8	5.8	0.121993	4512.502619	0.281260964
231	6	0.128837	4512.527699	0.306341094
231.2	6.2	0.135858	4512.554166	0.332807685
231.4	6.4	0.143055	4512.582054	0.360696071
231.6	6.6	0.150430	4512.6114	0.390041634
231.8	6.8	0.157981	4512.642238	0.420879806
232	7	0.165711	4512.674604	0.453246068

CAPACIDADE DE ARMANENAMENTO				
Cota [m]	Carga de hidráulica (m)	A (km²)	Vi (Mm³)	Volumes acumulados (Mm³)
232.2	7.2	0.173618	4512.708534	0.487175951
232.4	7.4	0.181703	4512.744063	0.522705035
232.6	7.6	0.189966	4512.781227	0.55986895
232.8	7.8	0.198408	4512.820061	0.598703373
233	8	0.207029	4512.860602	0.639244033
233.2	8.2	0.215828	4512.902885	0.681526707
233.4	8.4	0.224807	4512.946945	0.725587223
233.6	8.6	0.233965	4512.992819	0.771461456
233.8	8.8	0.243303	4513.040543	0.819185331
234	9	0.252822	4513.090153	0.868794823
234.2	9.2	0.262520	4513.141684	0.920325958
234.4	9.4	0.272399	4513.195173	0.973814807
234.6	9.6	0.282458	4513.250656	1.029297494
234.8	9.8	0.292699	4513.308168	1.086810191
235	10	0.303121	4513.367747	1.14638912
235.2	10.2	0.313724	4513.429429	1.208070552
235.4	10.4	0.324509	4513.493249	1.271890806
235.6	10.6	0.335476	4513.559244	1.337886253
235.8	10.8	0.346625	4513.627451	1.406093312
236	11	0.357957	4513.697906	1.47654845
236.2	11.2	0.369471	4513.770646	1.549288186
236.4	11.4	0.381168	4513.845707	1.624349087
236.6	11.6	0.393049	4513.923126	1.701767769
236.8	11.8	0.405113	4514.002939	1.781580897
237	12	0.417361	4514.085183	1.863825188
237.2	12.2	0.429792	4514.169895	1.948537404
237.4	12.4	0.442408	4514.257112	2.035754361
237.6	12.6	0.455208	4514.346871	2.125512922
237.8	12.8	0.468193	4514.439208	2.217849998
238	13	0.481363	4514.534161	2.312802552
238.2	13.2	0.494718	4514.631766	2.410407595
238.4	13.4	0.508259	4514.73206	2.510702188
238.6	13.6	0.521985	4514.835081	2.61372344
238.8	13.8	0.535897	4514.940867	2.719508511
239	14	0.549995	4515.049453	2.82809461

TABELA DO INICIO DA DESCARGA

Tabela A.6- 3 - Tabela do inicio da descarga

NPA [m]	h máx [m]
11.8	4.2

COPIE AS CELULAS PINTADA EM AZUL
DA TABELA E FAÇA PASTE fx NA
CÉLULA D208 TABELA ABAIXO
PINTADA EM AZUL

INICIO DA DESCARGA						
Cota [m]	Altura (h)	A(km ²)	Vi (Mm ³)	Volumes acumulados(Mm ³)	Altura h (m)	Volumes acumulados(Mm ³)
236.8	11.8	0.405113	4514.002939	1.781580897	0	0.000000
236.9	11.9	0.411214	4514.043755	1.82239685	0.1	0.040816
237	12	0.417361	4514.085183	1.863825188	0.2	0.082244
237.1	12.1	0.423553	4514.127229	1.905870505	0.3	0.124290
237.2	12.2	0.429792	4514.169895	1.948537404	0.4	0.166957
237.3	12.3	0.436077	4514.213189	1.991830487	0.5	0.210250
237.4	12.4	0.442408	4514.257112	2.035754361	0.6	0.254173
237.5	12.5	0.448785	4514.301672	2.080313635	0.7	0.298733
237.6	12.6	0.455208	4514.346871	2.125512922	0.8	0.343932
237.7	12.7	0.461678	4514.392715	2.171356836	0.9	0.389776
237.8	12.8	0.468193	4514.439208	2.217849998	1	0.436269
237.9	12.9	0.474755	4514.486355	2.264997028	1.1	0.483416
238	13	0.481363	4514.534161	2.312802552	1.2	0.531222
238.1	13.1	0.488017	4514.582629	2.361271197	1.3	0.579690
238.2	13.2	0.494718	4514.631766	2.410407595	1.4	0.628827
238.3	13.3	0.501465	4514.681574	2.460216379	1.5	0.678635
238.4	13.4	0.508259	4514.73206	2.510702188	1.6	0.729121
238.5	13.5	0.515099	4514.783228	2.56186966	1.7	0.780289
238.6	13.6	0.521985	4514.835081	2.61372344	1.8	0.832143
238.7	13.7	0.528918	4514.887626	2.666268174	1.9	0.884687
238.8	13.8	0.535897	4514.940867	2.719508511	2	0.937928
238.9	13.9	0.542923	4514.994807	2.773449105	2.1	0.991868
239	14	0.549995	4515.049453	2.82809461	2.2	1.046514
239.1	14.1	0.557114	4515.104808	2.883449686	2.3	1.101869
239.2	14.2	0.564280	4515.160877	2.939518994	2.4	1.157938
239.3	14.3	0.571492	4515.217665	2.9963072	2.5	1.214726

FORMATAÇÕES E FÓRMULAS NA PLANILHA Nº1

Tabela A.6-4 - Formatações da tabela n 1

COTA MÍNIMA [m]	=MIN(B6:B30)
COTA MÁXIMA [m]	=MAX(B6:B30)
DADOS DA CURVA DAS AREAS INUNDADAS	
COTA (m)	Área (km²)

Tabela A.6-5 - Fórmulas e formatações da tabela do inicio da descarga

NPA [m]	h máx [m]
11.8	=C3-C28

COPIE AS CELULAS PINTADA EM AZUL DA TABELA E FAÇA PASTE fx NA CÉLULA D208 TABELA ABAIXO PINTADA EM AZUL

INICIO DA DESCARGA						
Cota [m]	Altura (h)	A(km²)	Vi (Mm³)	Volumes acumulados(Mm³)	Altura h (m)	Volumes acumulados(Mm³)
=C28	=B208-B32	=0.00000514*B208^3 - 0.00135*B208^2 - 0.161*B208 + 46.507	=0.25*0.00000514*B208^4 - 0.333*0.00135*B208^3 - 0.5*0.1618*B208^2 + 46.507*B208	=MAX(E208-\$E\$32;0)	=C208-\$C\$208	=F208-\$F\$208
=B208+\$A\$28	=C208+\$A\$28	=0.00000514*B209^3 - 0.00135*B209^2 - 0.161*B209 + 46.507	=0.25*0.00000514*B209^4 - 0.333*0.00135*B209^3 - 0.5*0.1618*B209^2 + 46.507*B209	=MAX(E209-\$E\$32;0)	=C209-\$C\$208	=F209-\$F\$208
=B209+\$A\$28	=C209+\$A\$28	=0.00000514*B210^3 - 0.00135*B210^2 - 0.161*B210 + 46.507	=0.25*0.00000514*B210^4 - 0.333*0.00135*B210^3 - 0.5*0.1618*B210^2 + 46.507*B210	=MAX(E210-\$E\$32;0)	=C210-\$C\$208	=F210-\$F\$208
=B210+\$A\$28	=C210+\$A\$28	=0.00000514*B211^3 - 0.00135*B211^2 - 0.161*B211 + 46.507	=0.25*0.00000514*B211^4 - 0.333*0.00135*B211^3 - 0.5*0.1618*B211^2 + 46.507*B211	=MAX(E211-\$E\$32;0)	=C211-\$C\$208	=F211-\$F\$208
=B211+\$A\$28	=C211+\$A\$28	=0.00000514*B212^3 - 0.00135*B212^2 - 0.161*B212 + 46.507	=0.25*0.00000514*B212^4 - 0.333*0.00135*B212^3 - 0.5*0.1618*B212^2 + 46.507*B212	=MAX(E212-\$E\$32;0)	=C212-\$C\$208	=F212-\$F\$208
=B212+\$A\$28	=C212+\$A\$28	=0.00000514*B213^3 - 0.00135*B213^2 - 0.161*B213 + 46.507	=0.25*0.00000514*B213^4 - 0.333*0.00135*B213^3 - 0.5*0.1618*B213^2 + 46.507*B213	=MAX(E213-\$E\$32;0)	=C213-\$C\$208	=F213-\$F\$208
=B213+\$A\$28	=C213+\$A\$28	=0.00000514*B214^3 - 0.00135*B214^2 - 0.161*B214 + 46.507	=0.25*0.00000514*B214^4 - 0.333*0.00135*B214^3 - 0.5*0.1618*B214^2 + 46.507*B214	=MAX(E214-\$E\$32;0)	=C214-\$C\$208	=F214-\$F\$208
=B214+\$A\$28	=C214+\$A\$28	=0.00000514*B215^3 - 0.00135*B215^2 - 0.161*B215 + 46.507	=0.25*0.00000514*B215^4 - 0.333*0.00135*B215^3 - 0.5*0.1618*B215^2 + 46.507*B215	=MAX(E215-\$E\$32;0)	=C215-\$C\$208	=F215-\$F\$208
=B215+\$A\$28	=C215+\$A\$28	=0.00000514*B216^3 - 0.00135*B216^2 - 0.161*B216 + 46.507	=0.25*0.00000514*B216^4 - 0.333*0.00135*B216^3 - 0.5*0.1618*B216^2 + 46.507*B216	=MAX(E216-\$E\$32;0)	=C216-\$C\$208	=F216-\$F\$208
=B216+\$A\$28	=C216+\$A\$28	=0.00000514*B217^3 - 0.00135*B217^2 - 0.161*B217 + 46.507	=0.25*0.00000514*B217^4 - 0.333*0.00135*B217^3 - 0.5*0.1618*B217^2 + 46.507*B217	=MAX(E217-\$E\$32;0)	=C217-\$C\$208	=F217-\$F\$208
=B217+\$A\$28	=C217+\$A\$28	=0.00000514*B218^3 - 0.00135*B218^2 - 0.161*B218 + 46.507	=0.25*0.00000514*B218^4 - 0.333*0.00135*B218^3 - 0.5*0.1618*B218^2 + 46.507*B218	=MAX(E218-\$E\$32;0)	=C218-\$C\$208	=F218-\$F\$208
=B218+\$A\$28	=C218+\$A\$28	=0.00000514*B219^3 - 0.00135*B219^2 - 0.161*B219 + 46.507	=0.25*0.00000514*B219^4 - 0.333*0.00135*B219^3 - 0.5*0.1618*B219^2 + 46.507*B219	=MAX(E219-\$E\$32;0)	=C219-\$C\$208	=F219-\$F\$208

Tabela A.6-6 - Fórmulas e formatações da tabela da capacidade de armazenamento

• CAPACIDADE DE ARMANENAMENTO				
Cota	Carga de hidráulica			Volumes acumulados
[m]	(m)	A(km²)	Vi (Mm³)	(Mm³)
=C2	0	0	=0.25*0.000005*B32^4 - 0.333*0.0013*B32^3 - 0.5*0.161*B32^2 + 46.507*B32	=MAX(E32-\$E\$32;0)
=B32+\$A\$28	=C32+\$A\$28	=0.000005141*B33^3 - 0.00135*B33^2 - 0.161*B33 + 46.507	=0.25*0.000005*B33^4 - 0.333*0.0013*B33^3 - 0.5*0.161*B33^2 + 46.507*B33	=MAX(E33-\$E\$32;0)
=B33+\$A\$28	=C33+\$A\$28	=0.000005141*B34^3 - 0.00135*B34^2 - 0.161*B34 + 46.507	=0.25*0.000005*B34^4 - 0.333*0.0013*B34^3 - 0.5*0.161*B34^2 + 46.507*B34	=MAX(E34-\$E\$32;0)
=B34+\$A\$28	=C34+\$A\$28	=0.000005141*B35^3 - 0.00135*B35^2 - 0.161*B35 + 46.507	=0.25*0.000005*B35^4 - 0.333*0.0013*B35^3 - 0.5*0.161*B35^2 + 46.507*B35	=MAX(E35-\$E\$32;0)
=B35+\$A\$28	=C35+\$A\$28	=0.000005141*B36^3 - 0.00135*B36^2 - 0.161*B36 + 46.507	=0.25*0.000005*B36^4 - 0.333*0.0013*B36^3 - 0.5*0.161*B36^2 + 46.507*B36	=MAX(E36-\$E\$32;0)
=B36+\$A\$28	=C36+\$A\$28	=0.000005141*B37^3 - 0.00135*B37^2 - 0.161*B37 + 46.507	=0.25*0.000005*B37^4 - 0.333*0.0013*B37^3 - 0.5*0.161*B37^2 + 46.507*B37	=MAX(E37-\$E\$32;0)
=B37+\$A\$28	=C37+\$A\$28	=0.000005141*B38^3 - 0.00135*B38^2 - 0.161*B38 + 46.507	=0.25*0.000005*B38^4 - 0.333*0.0013*B38^3 - 0.5*0.161*B38^2 + 46.507*B38	=MAX(E38-\$E\$32;0)
=B38+\$A\$28	=C38+\$A\$28	=0.000005141*B39^3 - 0.00135*B39^2 - 0.161*B39 + 46.507	=0.25*0.000005*B39^4 - 0.333*0.0013*B39^3 - 0.5*0.161*B39^2 + 46.507*B39	=MAX(E39-\$E\$32;0)
=B39+\$A\$28	=C39+\$A\$28	=0.000005141*B40^3 - 0.00135*B40^2 - 0.161*B40 + 46.507	=0.25*0.000005*B40^4 - 0.333*0.0013*B40^3 - 0.5*0.161*B40^2 + 46.507*B40	=MAX(E40-\$E\$32;0)
=B40+\$A\$28	=C40+\$A\$28	=0.000005141*B41^3 - 0.00135*B41^2 - 0.161*B41 + 46.507	=0.25*0.000005*B41^4 - 0.333*0.0013*B41^3 - 0.5*0.161*B41^2 + 46.507*B41	=MAX(E41-\$E\$32;0)
=B41+\$A\$28	=C41+\$A\$28	=0.000005141*B42^3 - 0.00135*B42^2 - 0.161*B42 + 46.507	=0.25*0.000005*B42^4 - 0.333*0.0013*B42^3 - 0.5*0.161*B42^2 + 46.507*B42	=MAX(E42-\$E\$32;0)
=B42+\$A\$28	=C42+\$A\$28	=0.000005141*B43^3 - 0.00135*B43^2 - 0.161*B43 + 46.507	=0.25*0.000005*B43^4 - 0.333*0.0013*B43^3 - 0.5*0.161*B43^2 + 46.507*B43	=MAX(E43-\$E\$32;0)
=B43+\$A\$28	=C43+\$A\$28	=0.000005141*B44^3 - 0.00135*B44^2 - 0.161*B44 + 46.507	=0.25*0.000005*B44^4 - 0.333*0.0013*B44^3 - 0.5*0.161*B44^2 + 46.507*B44	=MAX(E44-\$E\$32;0)
=B44+\$A\$28	=C44+\$A\$28	=0.000005141*B45^3 - 0.00135*B45^2 - 0.161*B45 + 46.507	=0.25*0.000005*B45^4 - 0.333*0.0013*B45^3 - 0.5*0.161*B45^2 + 46.507*B45	=MAX(E45-\$E\$32;0)
=B45+\$A\$28	=C45+\$A\$28	=0.000005141*B46^3 - 0.00135*B46^2 - 0.161*B46 + 46.507	=0.25*0.000005*B46^4 - 0.333*0.0013*B46^3 - 0.5*0.161*B46^2 + 46.507*B46	=MAX(E46-\$E\$32;0)
=B46+\$A\$28	=C46+\$A\$28	=0.000005141*B47^3 - 0.00135*B47^2 - 0.161*B47 + 46.507	=0.25*0.000005*B47^4 - 0.333*0.0013*B47^3 - 0.5*0.161*B47^2 + 46.507*B47	=MAX(E47-\$E\$32;0)
=B47+\$A\$28	=C47+\$A\$28	=0.000005141*B48^3 - 0.00135*B48^2 - 0.161*B48 + 46.507	=0.25*0.000005*B48^4 - 0.333*0.0013*B48^3 - 0.5*0.161*B48^2 + 46.507*B48	=MAX(E48-\$E\$32;0)
=B48+\$A\$28	=C48+\$A\$28	=0.000005141*B49^3 - 0.00135*B49^2 - 0.161*B49 + 46.507	=0.25*0.000005*B49^4 - 0.333*0.0013*B49^3 - 0.5*0.161*B49^2 + 46.507*B49	=MAX(E49-\$E\$32;0)
=B49+\$A\$28	=C49+\$A\$28	=0.000005141*B50^3 - 0.00135*B50^2 - 0.161*B50 + 46.507	=0.25*0.000005*B50^4 - 0.333*0.0013*B50^3 - 0.5*0.161*B50^2 + 46.507*B50	=MAX(E50-\$E\$32;0)

CURVAS GERADA PELA PLANILHA N°1

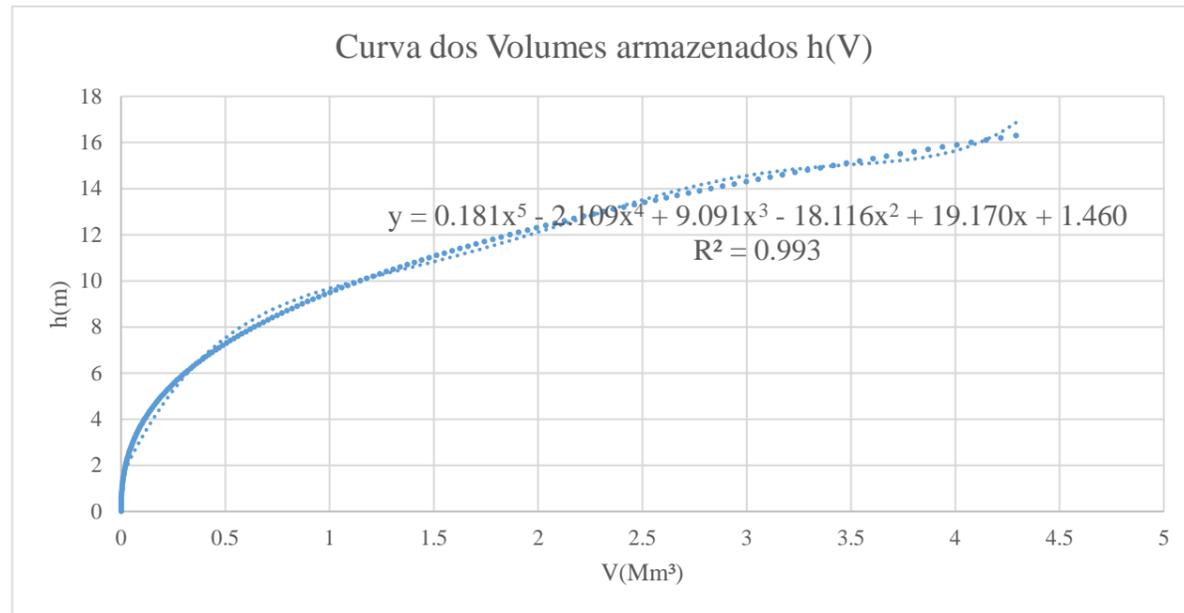


Figura A.6-3 - Curva dos volumes armazenados h(S)

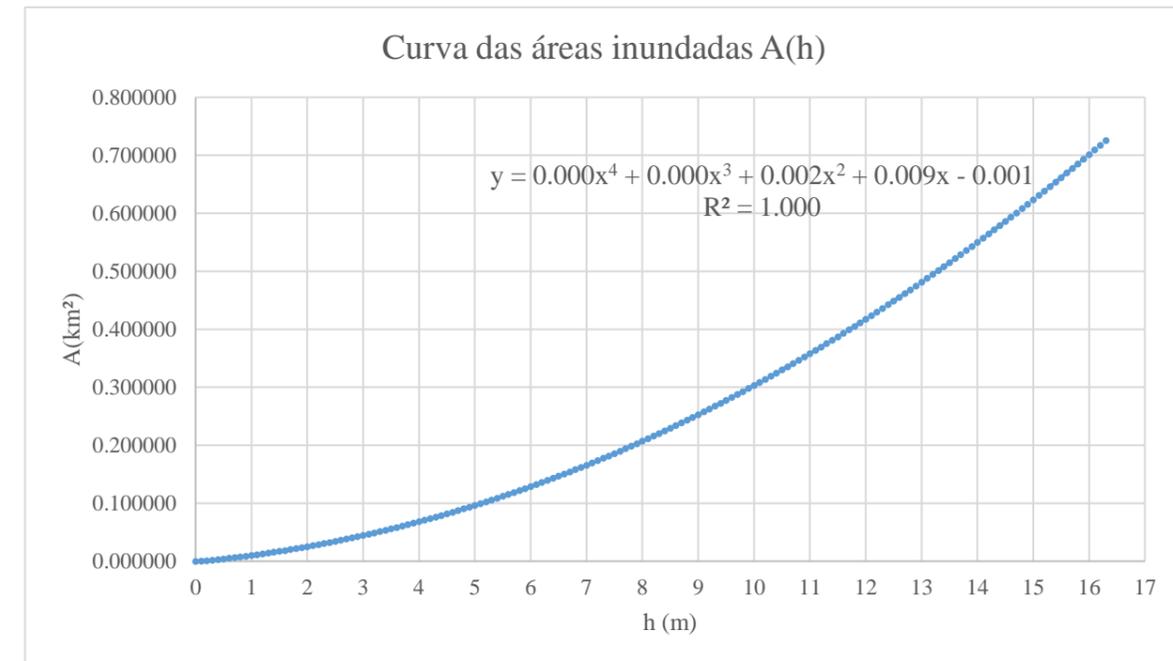


Figura A.6-4 - Curva das áreas inundadas A(h)

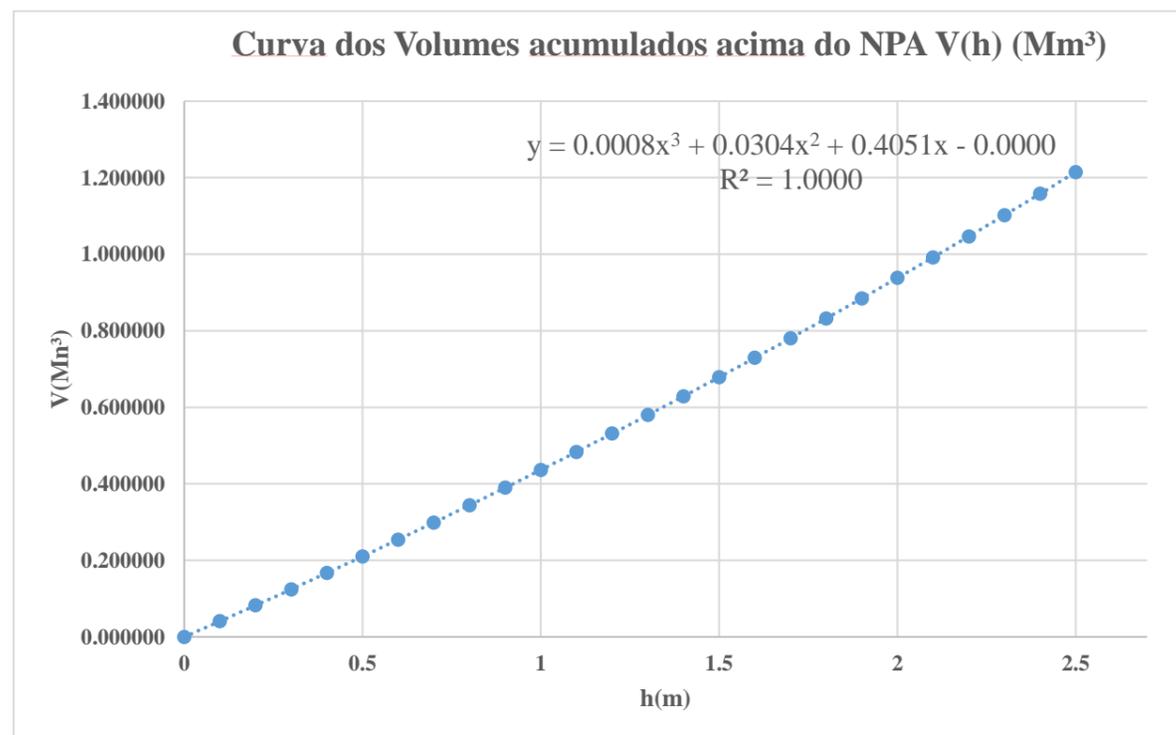


Figura A.6-6 - Curva dos volumes armazenados acima do NPA

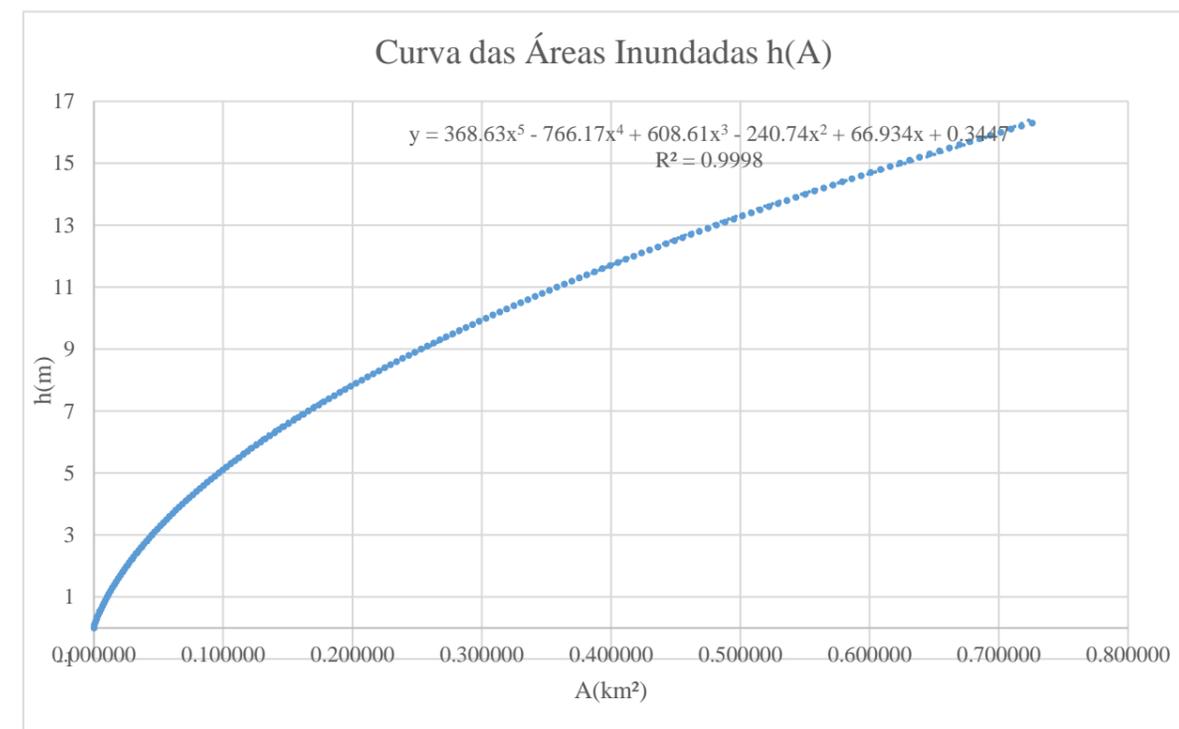


Figura A.6-5 - Curva das áreas inundadas A(h)

PLANILHA Nº2

Tabela A.6-7 - Tabela do perfil transversal

Largura da Bacia [m]	Cotas [m]
0	239
37.84608699	238
75.69217398	236
113.538261	230
151.384348	224
189.230435	224
227.076522	226
264.9226089	233
302.7686959	234
340.6147829	234
378.4608699	235
416.3069569	236
454.1530439	237
491.9991309	238
491.9991309	238

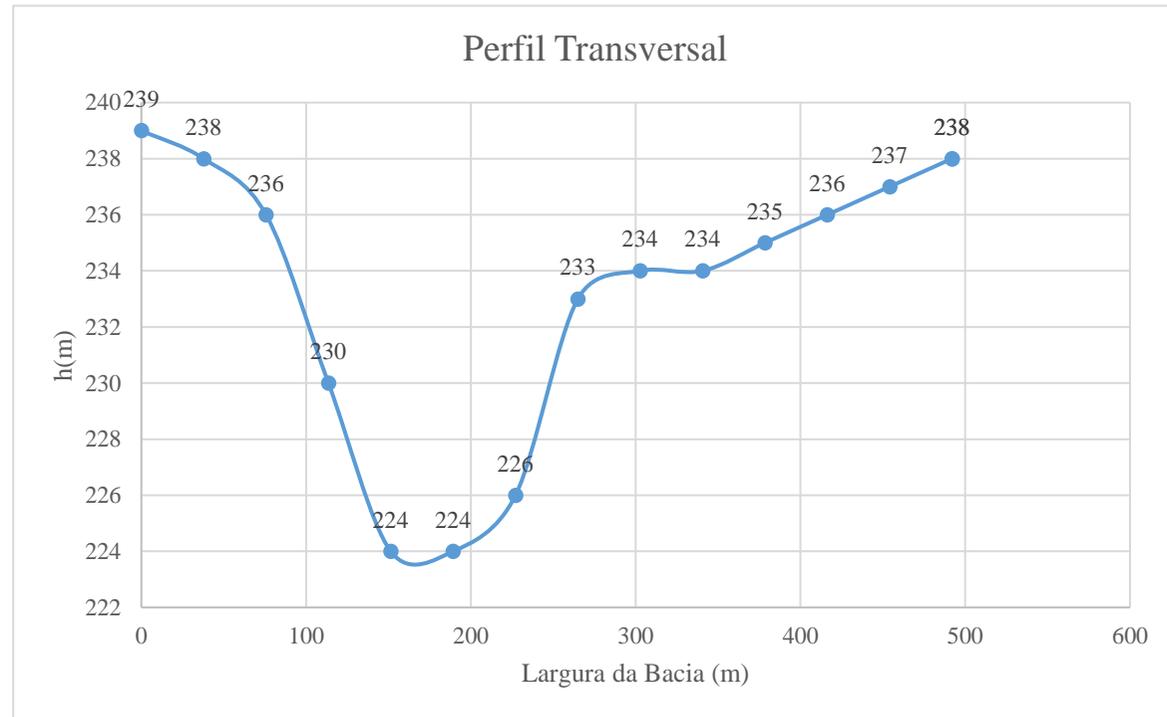


Figura A.6-7- Perfil transversal na planilha nº 3

PLANILHA Nº 3

Tabela A.6-8 - Tabela do perfil longitudinal

Comprimento do curso [m]	Altitude [m]
0.0	240
31.8	239
63.5	241
95.3	240
127.1	243
158.9	243
187.1	242
215.4	240
243.7	241
271.9	244
300.2	247
328.5	247
356.7	248
385.0	248
413.3	248
441.5	247
469.8	246
498.1	245
526.3	243
554.6	243
582.9	243
611.1	243
639.4	243
680.4	243
721.4	243
762.4	243
803.4	243
834.4	242
865.4	241
896.4	242
927.5	241
958.5	241
1002.7	239
1047.0	238
1091.2	238
1120.5	239
1149.8	239
1179.1	241
1472.8	235
1517.1	231
1547.9	229
1578.8	229
1609.7	230
1640.5	233
1681.0	234
1721.4	234
1761.8	232
1802.3	231
2287.5	210
2327.9	214
2355.9	216
2383.8	220
2411.8	220
2599.5	227
2627.9	227
2656.4	227
2684.8	227
2713.3	228
2741.7	229
2783.2	229
2824.7	226

Tabela A.6-9 - Tabela auxiliar da planilha nº 4

Todo percurso	
Altitude i [m]	240
Altitude j [m]	226
J [m/m]	0.5%
Altitude máx [m]	248
Altitude min [m]	210
Comprimento do curso (m)	2824.7

Tabela A.6-10 - Formatações na tabela auxiliar da planilha nº 4

Todo percurso	
Altitude i [m]	=D4
Altitude j [m]	=D88
J [m/m]	=(H7-H8)/H12
Altitude máx [m]	=MAX(D4:D89)
Altitude min [m]	=MIN(D4:D89)
Comprimento do curso (m)	=MAX(C4:C89)-MIN(C4:C89)

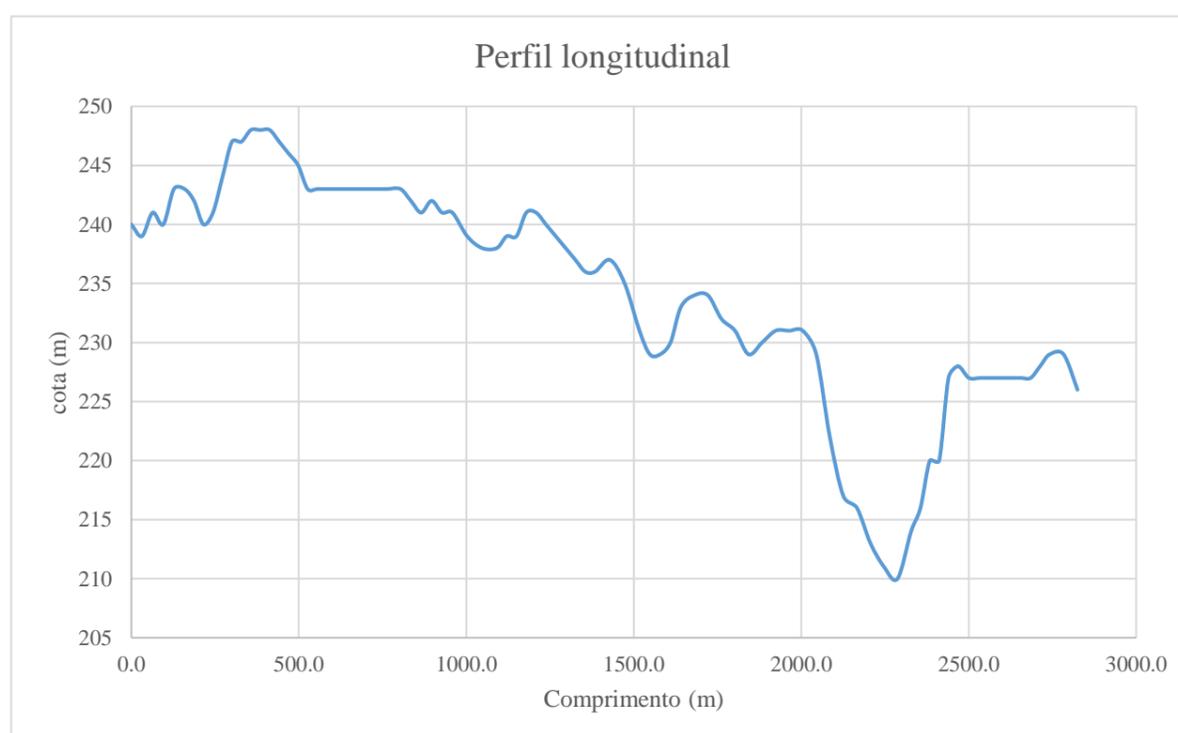


Figura A.6-8 - Perfil longitudinal

PLANILHA Nº4

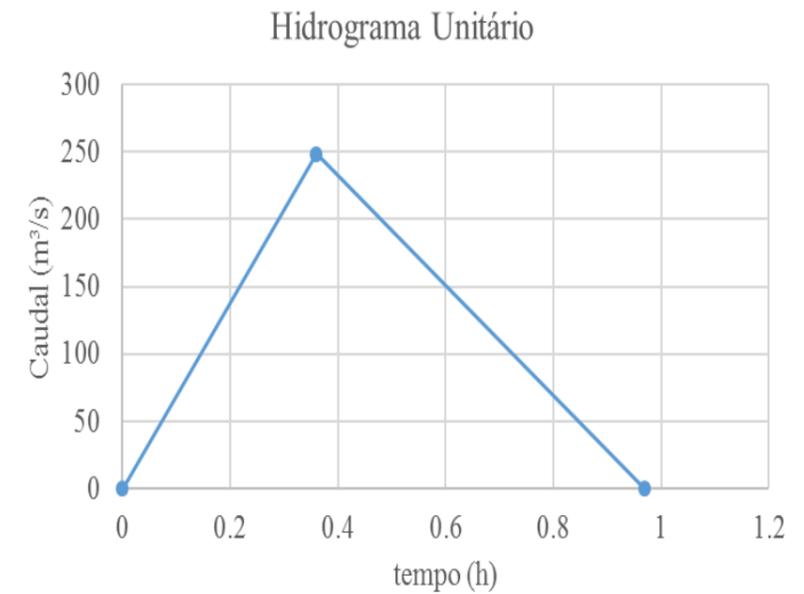
Risco Hidrológico	0.454515681
Período de retorno	50
Vida útil da Barragem	30

Tempo de concentração		
Cota Máxima (m)	248	
Cota Mínima (m)	210	
Area drenante (km ²)	284.4	
Comprimento do curso (km)	2.824663789	
Temez	1.616409295	0.9
Kirpich	0.811435198	

Intensidade Precipitação	
Zona B	1.2
a	1026.694
b	-0.57749
Intensidade P (Maputo)	102.5654174
Intensidade P (Bacia)	123.0785008

Caudal de projecto			
		Método Estatístico	
T	50		Ln(x)
F	0.98		Q (Mm ³ /mês)
Z	2.05374891		Q (m³/s)
μy			
σy			
		Método Empírico	
Area drenante (km ²)	284.4	Area drenante (km ²)	284.4
α	0.5	K	0.055
C	0.43	m	6.6
Myer	7.2515902	Precipitação (mm)	1378
		Iskowski	142.2609
Area drenante (km ²)	284.4		
K	3.5		
Francou e Rodier	248.34432		
		Método Cinemático	
C	0.43	λ	0.346
I	123.078501	Area drenante (km ²)	284.4
Area drenante (km ²)	284.4	Precipitação (mm)	1378
F. Racional	1162.3115	tc	0.9
		F. Guiandotti	150.665
		Q (Cheias)	
		248.3443219	

Tabela Hidrograma	
tc (h)	0.9
tp (h)	0.36
tb (h)	0.97
Δt (h)	0.06075
	0.015188
	0.03



t	I (m ³ /s)
0.00	0.00
0.03	20.70
0.06	41.39
0.09	62.09
0.12	82.78
0.15	103.48
0.18	124.17
0.21	144.87
0.24	165.56
0.27	186.26
0.30	206.95
0.33	227.65
0.36	248.34
0.39	236.13
0.42	223.92
0.45	211.70
0.48	199.49
0.51	187.28
0.54	175.06
0.57	162.85
0.60	150.64
0.63	138.42
0.66	126.21
0.69	113.99
0.72	101.78
0.75	89.57
0.78	77.35
0.81	65.14
0.84	52.93
0.87	40.71
0.90	28.50
0.93	16.28
0.96	4.07
0.99	-8.14

Figura A.6-9 - Ilustração da planilha nº 4

FORMATAÇÕES DA PLANILHA N°4

Tabela A.6- 12 – Formatações e fórmulas aplicada na tabela inicial da planilha n°4

Risco Hidrológico	=1-((1-F4)^E5)	
Periodo de retorno		
Vida útil da Barragem		

Tempo de concentração		
Cota Máxima (m)	=Perfil longitudinal!H10	
Cota Mínima (m)	=Perfil longitudinal!H11	
Area drenante (km²)		
Comprimento do curso (km)	=Perfil longitudinal!H12/1000	
Temez	=1.115*(F12)^0.95/(E9-E10)^0.19	=ROUNDUP(MIN(E13:E14);1)
Kirpich	=0.946*(F12)^1.115/(E9-E10)^0.385	

Intensidade Precipitação	
Zona B	
a	
b	
Intensidade P (Maputo)	=E19*(F13*60)^E20
Intensidade P (Bacia)	=E21*E18

Tabela A.6- 14 - Formatações e fórmulas aplicada na tabela da determinação do caudal de projecto

Caudal de projecto			
		Método Estatístico	
T	=E4	Ln(x)	=K6*K8+K7
F	=1-1/K4	Q (Mm³/mês)	=EXP(N4)
Z	=NORMSINV(K5)	Q (m³/s)	
μy			
σy			
		Método Empírico	
Area drenante (km²)	=E11	Area drenante (km²)	=E11
α		K	
C		m	
Myer	=K12*K10^K11	Precipitação (mm)	
		Iskowski	=N11*N12*N13*N10/1000
Area drenante (km²)	=E11		
K			
Francou e Rodier	=1000000*(K15/100000000)^(1-0.1*K16)		
		Método Cinemático	
C	=K12	λ	
I	=E22	Area drenante (km²)	=E11
Area drenante (km²)	=E11	Precipitação (mm)	=N13
F. Racional	=0.278*K20*K21*K22/3.6	tc	=F13
		F. Guiandotti	=N20*N22*N21/(N23*1000)
		Q (Cheias)	

Tabela A.6- 11 - Formatações e fórmulas aplicada na tabela auxiliar do hidrograma de cheias

Tabela Hidrograma	
tc (h)	=F13
tp (h)	=0.405*S5
tb (h)	=2.67*S6
Δt (h)	=S6/6
	=S6/24

Tabela A.6- 13 - Formatações e fórmulas aplicada na gerada pela curva I(Δt)

t	I (m³/s)
0	=IF(X4<SR\$13;ST\$13*X4;SS\$13-ST\$14*(X4-SR\$13))
=X4+ST\$8	=IF(X5<SR\$13;ST\$13*X5;SS\$13-ST\$14*(X5-SR\$13))
=X5+ST\$8	=IF(X6<SR\$13;ST\$13*X6;SS\$13-ST\$14*(X6-SR\$13))
=X6+ST\$8	=IF(X7<SR\$13;ST\$13*X7;SS\$13-ST\$14*(X7-SR\$13))
=X7+ST\$8	=IF(X8<SR\$13;ST\$13*X8;SS\$13-ST\$14*(X8-SR\$13))
=X8+ST\$8	=IF(X9<SR\$13;ST\$13*X9;SS\$13-ST\$14*(X9-SR\$13))
=X9+ST\$8	=IF(X10<SR\$13;ST\$13*X10;SS\$13-ST\$14*(X10-SR\$13))
=X10+ST\$8	=IF(X11<SR\$13;ST\$13*X11;SS\$13-ST\$14*(X11-SR\$13))
=X11+ST\$8	=IF(X12<SR\$13;ST\$13*X12;SS\$13-ST\$14*(X12-SR\$13))
=X12+ST\$8	=IF(X13<SR\$13;ST\$13*X13;SS\$13-ST\$14*(X13-SR\$13))
=X13+ST\$8	=IF(X14<SR\$13;ST\$13*X14;SS\$13-ST\$14*(X14-SR\$13))
=X14+ST\$8	=IF(X15<SR\$13;ST\$13*X15;SS\$13-ST\$14*(X15-SR\$13))
=X15+ST\$8	=IF(X16<SR\$13;ST\$13*X16;SS\$13-ST\$14*(X16-SR\$13))
=X16+ST\$8	=IF(X17<SR\$13;ST\$13*X17;SS\$13-ST\$14*(X17-SR\$13))
=X17+ST\$8	=IF(X18<SR\$13;ST\$13*X18;SS\$13-ST\$14*(X18-SR\$13))
=X18+ST\$8	=IF(X19<SR\$13;ST\$13*X19;SS\$13-ST\$14*(X19-SR\$13))
=X19+ST\$8	=IF(X20<SR\$13;ST\$13*X20;SS\$13-ST\$14*(X20-SR\$13))
=X20+ST\$8	=IF(X21<SR\$13;ST\$13*X21;SS\$13-ST\$14*(X21-SR\$13))
=X21+ST\$8	=IF(X22<SR\$13;ST\$13*X22;SS\$13-ST\$14*(X22-SR\$13))
=X22+ST\$8	=IF(X23<SR\$13;ST\$13*X23;SS\$13-ST\$14*(X23-SR\$13))
=X23+ST\$8	=IF(X24<SR\$13;ST\$13*X24;SS\$13-ST\$14*(X24-SR\$13))
=X24+ST\$8	=IF(X25<SR\$13;ST\$13*X25;SS\$13-ST\$14*(X25-SR\$13))
=X25+ST\$8	=IF(X26<SR\$13;ST\$13*X26;SS\$13-ST\$14*(X26-SR\$13))
=X26+ST\$8	=IF(X27<SR\$13;ST\$13*X27;SS\$13-ST\$14*(X27-SR\$13))
=X27+ST\$8	=IF(X28<SR\$13;ST\$13*X28;SS\$13-ST\$14*(X28-SR\$13))
=X28+ST\$8	=IF(X29<SR\$13;ST\$13*X29;SS\$13-ST\$14*(X29-SR\$13))
=X29+ST\$8	=IF(X30<SR\$13;ST\$13*X30;SS\$13-ST\$14*(X30-SR\$13))
=X30+ST\$8	=IF(X31<SR\$13;ST\$13*X31;SS\$13-ST\$14*(X31-SR\$13))
=X31+ST\$8	=IF(X32<SR\$13;ST\$13*X32;SS\$13-ST\$14*(X32-SR\$13))
=X32+ST\$8	=IF(X33<SR\$13;ST\$13*X33;SS\$13-ST\$14*(X33-SR\$13))
=X33+ST\$8	=IF(X34<SR\$13;ST\$13*X34;SS\$13-ST\$14*(X34-SR\$13))
=X34+ST\$8	=IF(X35<SR\$13;ST\$13*X35;SS\$13-ST\$14*(X35-SR\$13))
=X35+ST\$8	=IF(X36<SR\$13;ST\$13*X36;SS\$13-ST\$14*(X36-SR\$13))
=X36+ST\$8	=IF(X37<SR\$13;ST\$13*X37;SS\$13-ST\$14*(X37-SR\$13))

PLANILHA Nº 5

Tabela A.6-15 - Tabela auxiliar do método do Puls

Carga de operação, Ho (m)	0.6
Largura total W (m)	30
l/w	3
Kθ	30
P	1.5
Δt (s)	108

Tabela Auxiliar						
H (m)	H/P	S (Mm ³)	μ	Kθ	O (m ³ /s)	2S/Δt + O (m ³ /s)
0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	-0.010
0.05	0.03	0.02	1.32486746	1.00	1.97	378.476
0.10	0.07	0.04	1.309115747	1.00	5.50	761.350
0.15	0.10	0.06	1.293364034	1.00	9.98	1148.009
0.20	0.13	0.08	1.277612321	1.00	15.19	1538.231
0.25	0.17	0.10	1.261860608	1.06	22.22	1933.144
0.30	0.20	0.12	1.246108895	1.17	31.75	2333.417
0.35	0.23	0.15	1.231374859	1.24	42.14	2737.423
0.40	0.27	0.17	1.216640822	1.29	52.77	3144.568
0.45	0.30	0.19	1.201906785	1.32	63.55	3554.750
0.50	0.33	0.21	1.188211568	1.34	75.01	3968.530
0.55	0.37	0.23	1.174516351	1.38	87.78	4386.537
0.60	0.40	0.25	1.160821134	1.41	101.41	4808.331
0.65	0.43	0.28	1.138908614	1.40	111.03	5229.061
0.70	0.47	0.30	1.116996094	1.22	105.80	5637.893
0.75	0.50	0.32	1.095083574	1.00	94.52	6043.631
0.80	0.53	0.34	1.073782385	1.00	102.10	6471.211
0.85	0.57	0.37	1.052481196	1.00	109.60	6901.695
0.90	0.60	0.39	1.031180007	1.00	117.00	7335.067
0.95	0.63	0.41	1.0124767	1.00	124.58	7771.632
1.00	0.67	0.44	0.993773394	1.00	132.06	8211.110
1.05	0.70	0.46	0.975070088	1.00	139.41	8653.490
1.10	0.73	0.48	0.958920455	1.00	147.01	9099.154
1.15	0.77	0.51	0.942770823	1.00	154.50	9547.758
1.20	0.80	0.53	0.926621191	1.00	161.86	9999.294
1.25	0.83	0.56	0.91253612	1.00	169.47	10454.143
1.30	0.87	0.58	0.898451049	1.00	176.96	10911.962
1.35	0.90	0.60	0.884365978	1.00	184.33	11372.749
1.40	0.93	0.63	0.872010749	1.00	191.95	11836.882
1.45	0.97	0.65	0.85965552	1.00	199.46	12304.021
1.50	1.00	0.68	0.847300292	1.00	206.84	12774.165

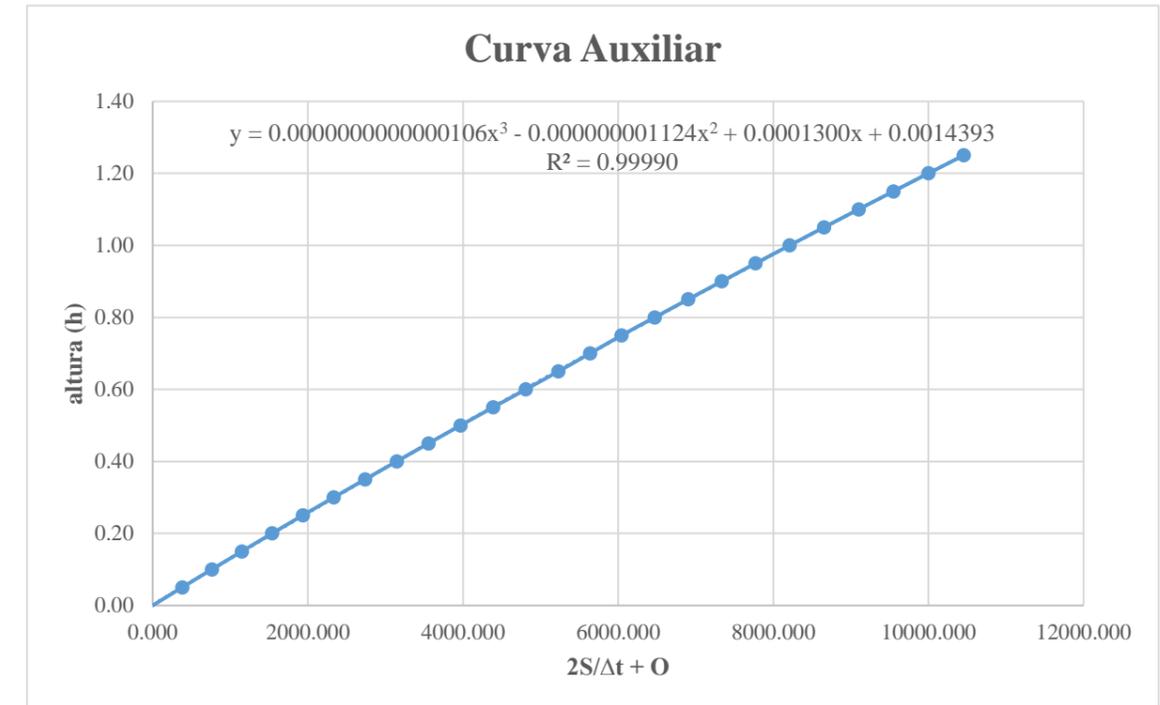


Figura A.6-10 - Curva gerada pela tabela auxiliar

TABELA PRINCIPAL DO MÉTODO DE PULS

Tabela A.6-16 - Tabela principal do método de Puls

CAVITAÇÃO		AFOGAMENTO									
Ho/Hmáx	Volume de Encaixe (Mm ³)	Qd max (m ³ /s)	NMC	H/P	μ	Kθ	Ho (m)	Hj (m)	H* (m)	QI (m ³ /s)	
1.06	0.27	108.6516099	0.633	0.422022965	1.33931823	1.419429718	0.60	0.342299506	1.118169646	26.4326923	
										EFICIÊNCIA QL/QN	4.110501061
										W recto (m)	123

Tabela principal

t (h)	I _t (m ³ /s)	I _{t+Δt} (m ³ /s)	H (m)	H/P (m)	S (Mm ³)	μ	Kθ	O _t (m ³ /s)	2S/Δt - O (m ³ /s)	2S _(t+Δt) /Δt + O _(t+Δt) (m ³ /s)
0.00	0.00	20.70	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	20.69
0.03	20.70	41.39	0.004	0.003	0.00	1.34	1.00	0.05	30.93	93.02
0.06	41.39	62.09	0.014	0.009	0.01	1.34	1.00	0.28	101.31	204.79
0.09	62.09	82.78	0.028	0.019	0.01	1.33	1.00	0.83	209.90	354.76
0.12	82.78	103.48	0.047	0.032	0.02	1.33	1.00	1.82	355.38	541.64
0.15	103.48	124.17	0.072	0.048	0.03	1.32	1.00	3.35	536.43	764.08
0.18	124.17	144.87	0.100	0.067	0.04	1.31	1.00	5.52	751.69	1020.73
0.21	144.87	165.56	0.133	0.089	0.05	1.30	1.00	8.38	999.80	1310.23
0.24	165.56	186.26	0.170	0.113	0.07	1.29	1.00	11.98	1279.44	1631.26
0.27	186.26	206.95	0.211	0.140	0.09	1.27	1.00	16.37	1589.32	1982.53
0.30	206.95	227.65	0.255	0.170	0.11	1.26	1.07	23.11	1926.65	2361.25
0.33	227.65	248.34	0.302	0.202	0.13	1.25	1.17	32.25	2288.69	2764.69
0.36	248.34	236.13	0.353	0.235	0.15	1.23	1.25	42.71	2673.87	3158.35
0.39	236.13	223.92	0.401	0.268	0.17	1.22	1.29	53.07	3049.78	3509.82
0.48	199.49	187.28	0.516	0.344	0.22	1.18	1.35	78.90	3942.79	4329.56
0.51	187.28	175.06	0.544	0.363	0.23	1.18	1.37	86.28	4166.96	4529.30
0.54	175.06	162.85	0.569	0.379	0.24	1.17	1.39	92.84	4356.76	4694.67
0.57	162.85	150.64	0.588	0.392	0.25	1.16	1.41	98.30	4513.88	4827.37
0.60	150.64	138.42	0.604	0.403	0.26	1.16	1.42	102.49	4640.19	4929.25
0.63	138.42	126.21	0.617	0.411	0.26	1.15	1.42	105.34	4737.54	5002.17
0.66	126.21	113.99	0.625	0.417	0.27	1.15	1.42	107.19	4807.40	5047.61
0.69	113.99	101.78	0.631	0.420	0.27	1.15	1.42	108.24	4851.06	5066.83
0.72	101.78	89.57	0.633	0.422	0.27	1.15	1.42	108.65	4869.55	5060.90
0.75	89.57	77.35	0.632	0.422	0.27	1.15	1.42	108.53	4863.85	5030.77
0.78	77.35	65.14	0.629	0.419	0.27	1.15	1.42	107.86	4834.87	4977.36
0.81	65.14	52.93	0.622	0.415	0.26	1.15	1.42	106.59	4783.61	4901.68
0.84	52.93	40.71	0.613	0.409	0.26	1.16	1.42	104.60	4711.17	4804.80
0.87	40.71	28.50	0.602	0.401	0.25	1.16	1.42	101.82	4618.67	4687.88
0.96	4.07	0.00	0.553	0.369	0.23	1.17	1.38	88.53	4232.85	4236.92

CURVAS GERADAS PELA PLANILHA Nº5

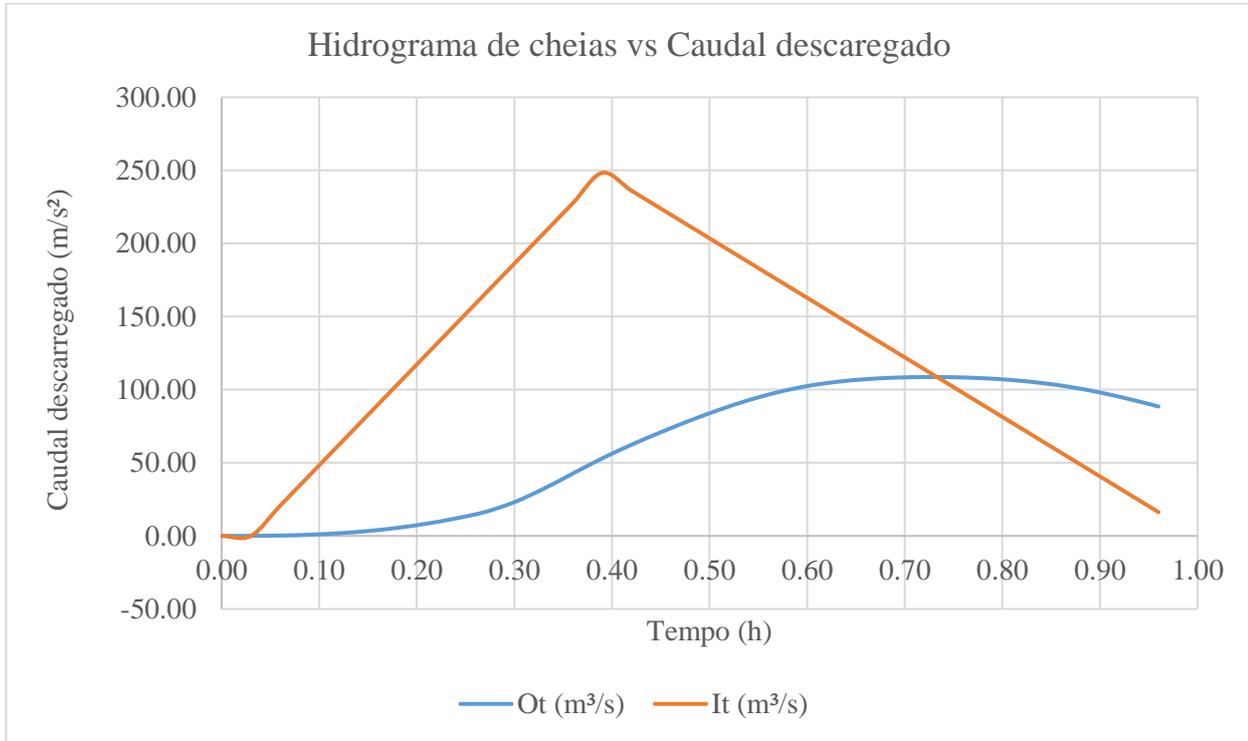


Figura A.6-11 - Curva do amortecimento de cheias.

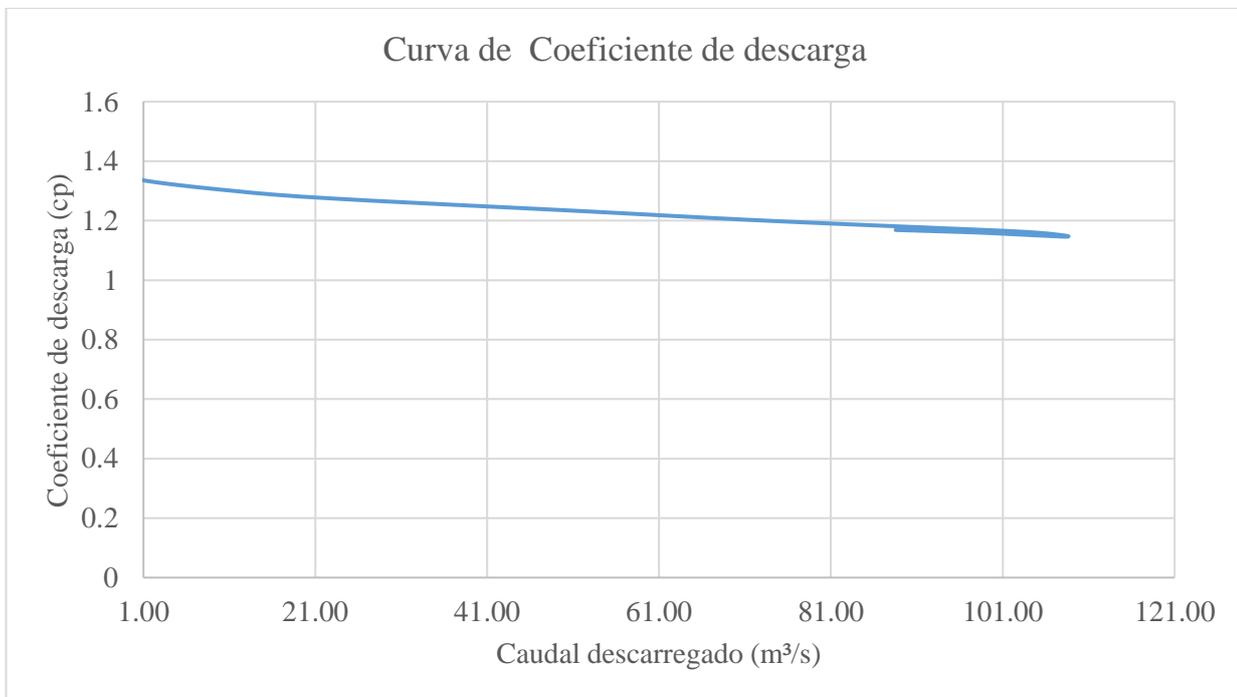


Figura A.6-12 - Curva do coeficiente de descarga .

FORMATAÇÕES E FÓRMULAS NA PLANILHA N°6

Tabela A.6-17 - Formatações e fórmulas da tabela auxiliar

Carga de operação, Ho (m)	
Largura total W (m)	
l/w	
K0	
P	
Δt (s)	=Roteamento de cheias!T8*3600

Tabela Auxiliar						
H (m)	H/P	S (Mm³)	μ	K0	O (m3/s)	2S/Δt + O (m3/s)
0	=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*E10^3 + 0.03*E10^2 + 0.405*E10 - 0.0000005	=AS9	=AT9	=[@μ]*[@K0]*\$K\$3*SQRT(\$I\$5)*([@[H (m)]])^1.5	=2*([@[S (Mm3)]]*10^6)/\$K\$7+[@[O (m3/s)]]
=E10+\$D\$10	=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*E11^3 + 0.03*E11^2 + 0.405*E11 - 0.0000005	=AS10	=AT10	=[@μ]*[@K0]*\$K\$3*SQRT(\$I\$5)*([@[H (m)]])^1.5	=2*([@[S (Mm3)]]*10^6)/\$K\$7+[@[O (m3/s)]]
=E11+\$D\$10	=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*E12^3 + 0.03*E12^2 + 0.405*E12 - 0.0000005	=AS11	=AT11	=[@μ]*[@K0]*\$K\$3*SQRT(\$I\$5)*([@[H (m)]])^1.5	=2*([@[S (Mm3)]]*10^6)/\$K\$7+[@[O (m3/s)]]
=E12+\$D\$10	=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*E13^3 + 0.03*E13^2 + 0.405*E13 - 0.0000005	=AS12	=AT12	=[@μ]*[@K0]*\$K\$3*SQRT(\$I\$5)*([@[H (m)]])^1.5	=2*([@[S (Mm3)]]*10^6)/\$K\$7+[@[O (m3/s)]]
=E13+\$D\$10	=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*E14^3 + 0.03*E14^2 + 0.405*E14 - 0.0000005	=AS13	=AT13	=[@μ]*[@K0]*\$K\$3*SQRT(\$I\$5)*([@[H (m)]])^1.5	=2*([@[S (Mm3)]]*10^6)/\$K\$7+[@[O (m3/s)]]
=E14+\$D\$10	=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*E15^3 + 0.03*E15^2 + 0.405*E15 - 0.0000005	=AS14	=AT14	=[@μ]*[@K0]*\$K\$3*SQRT(\$I\$5)*([@[H (m)]])^1.5	=2*([@[S (Mm3)]]*10^6)/\$K\$7+[@[O (m3/s)]]
=E15+\$D\$10	=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*E16^3 + 0.03*E16^2 + 0.405*E16 - 0.0000005	=AS15	=AT15	=[@μ]*[@K0]*\$K\$3*SQRT(\$I\$5)*([@[H (m)]])^1.5	=2*([@[S (Mm3)]]*10^6)/\$K\$7+[@[O (m3/s)]]
=E16+\$D\$10	=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*E17^3 + 0.03*E17^2 + 0.405*E17 - 0.0000005	=AS16	=AT16	=[@μ]*[@K0]*\$K\$3*SQRT(\$I\$5)*([@[H (m)]])^1.5	=2*([@[S (Mm3)]]*10^6)/\$K\$7+[@[O (m3/s)]]
=E17+\$D\$10	=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*E18^3 + 0.03*E18^2 + 0.405*E18 - 0.0000005	=AS17	=AT17	=[@μ]*[@K0]*\$K\$3*SQRT(\$I\$5)*([@[H (m)]])^1.5	=2*([@[S (Mm3)]]*10^6)/\$K\$7+[@[O (m3/s)]]
=E18+\$D\$10	=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*E19^3 + 0.03*E19^2 + 0.405*E19 - 0.0000005	=AS18	=AT18	=[@μ]*[@K0]*\$K\$3*SQRT(\$I\$5)*([@[H (m)]])^1.5	=2*([@[S (Mm3)]]*10^6)/\$K\$7+[@[O (m3/s)]]
=E19+\$D\$10	=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*E20^3 + 0.03*E20^2 + 0.405*E20 - 0.0000005	=AS19	=AT19	=[@μ]*[@K0]*\$K\$3*SQRT(\$I\$5)*([@[H (m)]])^1.5	=2*([@[S (Mm3)]]*10^6)/\$K\$7+[@[O (m3/s)]]
=E20+\$D\$10	=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*E21^3 + 0.03*E21^2 + 0.405*E21 - 0.0000005	=AS20	=AT20	=[@μ]*[@K0]*\$K\$3*SQRT(\$I\$5)*([@[H (m)]])^1.5	=2*([@[S (Mm3)]]*10^6)/\$K\$7+[@[O (m3/s)]]
=E21+\$D\$10	=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*E22^3 + 0.03*E22^2 + 0.405*E22 - 0.0000005	=AS21	=AT21	=[@μ]*[@K0]*\$K\$3*SQRT(\$I\$5)*([@[H (m)]])^1.5	=2*([@[S (Mm3)]]*10^6)/\$K\$7+[@[O (m3/s)]]
=E22+\$D\$10	=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*E23^3 + 0.03*E23^2 + 0.405*E23 - 0.0000005	=AS22	=AT22	=[@μ]*[@K0]*\$K\$3*SQRT(\$I\$5)*([@[H (m)]])^1.5	=2*([@[S (Mm3)]]*10^6)/\$K\$7+[@[O (m3/s)]]
=E23+\$D\$10	=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*E24^3 + 0.03*E24^2 + 0.405*E24 - 0.0000005	=AS23	=AT23	=[@μ]*[@K0]*\$K\$3*SQRT(\$I\$5)*([@[H (m)]])^1.5	=2*([@[S (Mm3)]]*10^6)/\$K\$7+[@[O (m3/s)]]
=E24+\$D\$10	=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*E25^3 + 0.03*E25^2 + 0.405*E25 - 0.0000005	=AS24	=AT24	=[@μ]*[@K0]*\$K\$3*SQRT(\$I\$5)*([@[H (m)]])^1.5	=2*([@[S (Mm3)]]*10^6)/\$K\$7+[@[O (m3/s)]]

Tabela A.6- 18 - Formatações e fórmulas da tabela auxiliar

Tabela principal											
t	(h)	I _t (m³/s)	I _{t-Δt} (m³/s)	H (m)	H/P (m)	S (Mm³)	μ	Kθ	O _t (m³/s)	2S/Δt - O (m³/s)	2S _(t-Δt) /Δt + O _(t-Δt) (m³/s)
=Roteamento de cheias!X4	=Roteamento de cheias!Y4	=P10		0	=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*R9^3 + 0.0303*R9^2 + 0.405*R9 - 0.00000055	=BQ9	=BR9	=BQ9*BR9*\$K\$3*((R9)^1.5)*SQRT(\$I\$5)	=(2*(10^6)*[@[S (Mm3)]]/\$K\$7)-[@[O (m3/s)]]	=[@[I (m3/s)]]+[@[I+Δt (m3/s)]]+[@[2S/Δt - O (m3/s)]]
=Roteamento de cheias!X5	=Roteamento de cheias!Y5	=P11	=0.0000000000000106*Y9^3 - 0.000000001124*Y9^2 + 0.00013*Y9 + 0.0014		=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*R10^3 + 0.0303*R10^2 + 0.405*R10 - 0.00000055	=BQ10	=BR10	=BQ10*BR10*\$K\$3*((R10)^1.5)*SQRT(\$I\$5)	=(2*(10^6)*[@[S (Mm3)]]/\$K\$7)-[@[O (m3/s)]]	=[@[I (m3/s)]]+[@[I+Δt (m3/s)]]+[@[2S/Δt - O (m3/s)]]
=Roteamento de cheias!X6	=Roteamento de cheias!Y6	=P12	=0.0000000000000106*Y10^3 - 0.000000001124*Y10^2 + 0.00013*Y10 + 0.0014		=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*R11^3 + 0.0303*R11^2 + 0.405*R11 - 0.00000055	=BQ11	=BR11	=BQ11*BR11*\$K\$3*((R11)^1.5)*SQRT(\$I\$5)	=(2*(10^6)*[@[S (Mm3)]]/\$K\$7)-[@[O (m3/s)]]	=[@[I (m3/s)]]+[@[I+Δt (m3/s)]]+[@[2S/Δt - O (m3/s)]]
=Roteamento de cheias!X7	=Roteamento de cheias!Y7	=P13	=0.0000000000000106*Y11^3 - 0.000000001124*Y11^2 + 0.00013*Y11 + 0.0014		=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*R12^3 + 0.0303*R12^2 + 0.405*R12 - 0.00000055	=BQ12	=BR12	=BQ12*BR12*\$K\$3*((R12)^1.5)*SQRT(\$I\$5)	=(2*(10^6)*[@[S (Mm3)]]/\$K\$7)-[@[O (m3/s)]]	=[@[I (m3/s)]]+[@[I+Δt (m3/s)]]+[@[2S/Δt - O (m3/s)]]
=Roteamento de cheias!X8	=Roteamento de cheias!Y8	=P14	=0.0000000000000106*Y12^3 - 0.000000001124*Y12^2 + 0.00013*Y12 + 0.0014		=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*R13^3 + 0.0303*R13^2 + 0.405*R13 - 0.00000055	=BQ13	=BR13	=BQ13*BR13*\$K\$3*((R13)^1.5)*SQRT(\$I\$5)	=(2*(10^6)*[@[S (Mm3)]]/\$K\$7)-[@[O (m3/s)]]	=[@[I (m3/s)]]+[@[I+Δt (m3/s)]]+[@[2S/Δt - O (m3/s)]]
=Roteamento de cheias!X9	=Roteamento de cheias!Y9	=P15	=0.0000000000000106*Y13^3 - 0.000000001124*Y13^2 + 0.00013*Y13 + 0.0014		=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*R14^3 + 0.0303*R14^2 + 0.405*R14 - 0.00000055	=BQ14	=BR14	=BQ14*BR14*\$K\$3*((R14)^1.5)*SQRT(\$I\$5)	=(2*(10^6)*[@[S (Mm3)]]/\$K\$7)-[@[O (m3/s)]]	=[@[I (m3/s)]]+[@[I+Δt (m3/s)]]+[@[2S/Δt - O (m3/s)]]
=Roteamento de cheias!X10	=Roteamento de cheias!Y10	=P16	=0.0000000000000106*Y14^3 - 0.000000001124*Y14^2 + 0.00013*Y14 + 0.0014		=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*R15^3 + 0.0303*R15^2 + 0.405*R15 - 0.00000055	=BQ15	=BR15	=BQ15*BR15*\$K\$3*((R15)^1.5)*SQRT(\$I\$5)	=(2*(10^6)*[@[S (Mm3)]]/\$K\$7)-[@[O (m3/s)]]	=[@[I (m3/s)]]+[@[I+Δt (m3/s)]]+[@[2S/Δt - O (m3/s)]]
=Roteamento de cheias!X11	=Roteamento de cheias!Y11	=P17	=0.0000000000000106*Y15^3 - 0.000000001124*Y15^2 + 0.00013*Y15 + 0.0014		=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*R16^3 + 0.0303*R16^2 + 0.405*R16 - 0.00000055	=BQ16	=BR16	=BQ16*BR16*\$K\$3*((R16)^1.5)*SQRT(\$I\$5)	=(2*(10^6)*[@[S (Mm3)]]/\$K\$7)-[@[O (m3/s)]]	=[@[I (m3/s)]]+[@[I+Δt (m3/s)]]+[@[2S/Δt - O (m3/s)]]
=Roteamento de cheias!X12	=Roteamento de cheias!Y12	=P18	=0.0000000000000106*Y16^3 - 0.000000001124*Y16^2 + 0.00013*Y16 + 0.0014		=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*R17^3 + 0.0303*R17^2 + 0.405*R17 - 0.00000055	=BQ17	=BR17	=BQ17*BR17*\$K\$3*((R17)^1.5)*SQRT(\$I\$5)	=(2*(10^6)*[@[S (Mm3)]]/\$K\$7)-[@[O (m3/s)]]	=[@[I (m3/s)]]+[@[I+Δt (m3/s)]]+[@[2S/Δt - O (m3/s)]]
=Roteamento de cheias!X13	=Roteamento de cheias!Y13	=P19	=0.0000000000000106*Y17^3 - 0.000000001124*Y17^2 + 0.00013*Y17 + 0.0014		=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*R18^3 + 0.0303*R18^2 + 0.405*R18 - 0.00000055	=BQ18	=BR18	=BQ18*BR18*\$K\$3*((R18)^1.5)*SQRT(\$I\$5)	=(2*(10^6)*[@[S (Mm3)]]/\$K\$7)-[@[O (m3/s)]]	=[@[I (m3/s)]]+[@[I+Δt (m3/s)]]+[@[2S/Δt - O (m3/s)]]
=Roteamento de cheias!X14	=Roteamento de cheias!Y14	=P20	=0.0000000000000106*Y18^3 - 0.000000001124*Y18^2 + 0.00013*Y18 + 0.0014		=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*R19^3 + 0.0303*R19^2 + 0.405*R19 - 0.00000055	=BQ19	=BR19	=BQ19*BR19*\$K\$3*((R19)^1.5)*SQRT(\$I\$5)	=(2*(10^6)*[@[S (Mm3)]]/\$K\$7)-[@[O (m3/s)]]	=[@[I (m3/s)]]+[@[I+Δt (m3/s)]]+[@[2S/Δt - O (m3/s)]]
=Roteamento de cheias!X15	=Roteamento de cheias!Y15	=P21	=0.0000000000000106*Y19^3 - 0.000000001124*Y19^2 + 0.00013*Y19 + 0.0014		=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*R20^3 + 0.0303*R20^2 + 0.405*R20 - 0.00000055	=BQ20	=BR20	=BQ20*BR20*\$K\$3*((R20)^1.5)*SQRT(\$I\$5)	=(2*(10^6)*[@[S (Mm3)]]/\$K\$7)-[@[O (m3/s)]]	=[@[I (m3/s)]]+[@[I+Δt (m3/s)]]+[@[2S/Δt - O (m3/s)]]
=Roteamento de cheias!X16	=Roteamento de cheias!Y16	=P22	=0.0000000000000106*Y20^3 - 0.000000001124*Y20^2 + 0.00013*Y20 + 0.0014		=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*R21^3 + 0.0303*R21^2 + 0.405*R21 - 0.00000055	=BQ21	=BR21	=BQ21*BR21*\$K\$3*((R21)^1.5)*SQRT(\$I\$5)	=(2*(10^6)*[@[S (Mm3)]]/\$K\$7)-[@[O (m3/s)]]	=[@[I (m3/s)]]+[@[I+Δt (m3/s)]]+[@[2S/Δt - O (m3/s)]]
=Roteamento de cheias!X17	=Roteamento de cheias!Y17	=P23	=0.0000000000000106*Y21^3 - 0.000000001124*Y21^2 + 0.00013*Y21 + 0.0014		=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*R22^3 + 0.0303*R22^2 + 0.405*R22 - 0.00000055	=BQ22	=BR22	=BQ22*BR22*\$K\$3*((R22)^1.5)*SQRT(\$I\$5)	=(2*(10^6)*[@[S (Mm3)]]/\$K\$7)-[@[O (m3/s)]]	=[@[I (m3/s)]]+[@[I+Δt (m3/s)]]+[@[2S/Δt - O (m3/s)]]
=Roteamento de cheias!X18	=Roteamento de cheias!Y18	=P24	=0.0000000000000106*Y22^3 - 0.000000001124*Y22^2 + 0.00013*Y22 + 0.0014		=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*R23^3 + 0.0303*R23^2 + 0.405*R23 - 0.00000055	=BQ23	=BR23	=BQ23*BR23*\$K\$3*((R23)^1.5)*SQRT(\$I\$5)	=(2*(10^6)*[@[S (Mm3)]]/\$K\$7)-[@[O (m3/s)]]	=[@[I (m3/s)]]+[@[I+Δt (m3/s)]]+[@[2S/Δt - O (m3/s)]]
=Roteamento de cheias!X19	=Roteamento de cheias!Y19	=P25	=0.0000000000000106*Y23^3 - 0.000000001124*Y23^2 + 0.00013*Y23 + 0.0014		=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*R24^3 + 0.0303*R24^2 + 0.405*R24 - 0.00000055	=BQ24	=BR24	=BQ24*BR24*\$K\$3*((R24)^1.5)*SQRT(\$I\$5)	=(2*(10^6)*[@[S (Mm3)]]/\$K\$7)-[@[O (m3/s)]]	=[@[I (m3/s)]]+[@[I+Δt (m3/s)]]+[@[2S/Δt - O (m3/s)]]
=Roteamento de cheias!X20	=Roteamento de cheias!Y20	=P26	=0.0000000000000106*Y24^3 - 0.000000001124*Y24^2 + 0.00013*Y24 + 0.0014		=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*R25^3 + 0.0303*R25^2 + 0.405*R25 - 0.00000055	=BQ25	=BR25	=BQ25*BR25*\$K\$3*((R25)^1.5)*SQRT(\$I\$5)	=(2*(10^6)*[@[S (Mm3)]]/\$K\$7)-[@[O (m3/s)]]	=[@[I (m3/s)]]+[@[I+Δt (m3/s)]]+[@[2S/Δt - O (m3/s)]]
=Roteamento de cheias!X21	=Roteamento de cheias!Y21	=P27	=0.0000000000000106*Y25^3 - 0.000000001124*Y25^2 + 0.00013*Y25 + 0.0014		=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*R26^3 + 0.0303*R26^2 + 0.405*R26 - 0.00000055	=BQ26	=BR26	=BQ26*BR26*\$K\$3*((R26)^1.5)*SQRT(\$I\$5)	=(2*(10^6)*[@[S (Mm3)]]/\$K\$7)-[@[O (m3/s)]]	=[@[I (m3/s)]]+[@[I+Δt (m3/s)]]+[@[2S/Δt - O (m3/s)]]
=Roteamento de cheias!X22	=Roteamento de cheias!Y22	=P28	=0.0000000000000106*Y26^3 - 0.000000001124*Y26^2 + 0.00013*Y26 + 0.0014		=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*R27^3 + 0.0303*R27^2 + 0.405*R27 - 0.00000055	=BQ27	=BR27	=BQ27*BR27*\$K\$3*((R27)^1.5)*SQRT(\$I\$5)	=(2*(10^6)*[@[S (Mm3)]]/\$K\$7)-[@[O (m3/s)]]	=[@[I (m3/s)]]+[@[I+Δt (m3/s)]]+[@[2S/Δt - O (m3/s)]]
=Roteamento de cheias!X23	=Roteamento de cheias!Y23	=P29	=0.0000000000000106*Y27^3 - 0.000000001124*Y27^2 + 0.00013*Y27 + 0.0014		=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*R28^3 + 0.0303*R28^2 + 0.405*R28 - 0.00000055	=BQ28	=BR28	=BQ28*BR28*\$K\$3*((R28)^1.5)*SQRT(\$I\$5)	=(2*(10^6)*[@[S (Mm3)]]/\$K\$7)-[@[O (m3/s)]]	=[@[I (m3/s)]]+[@[I+Δt (m3/s)]]+[@[2S/Δt - O (m3/s)]]
=Roteamento de cheias!X24	=Roteamento de cheias!Y24	=P30	=0.0000000000000106*Y28^3 - 0.000000001124*Y28^2 + 0.00013*Y28 + 0.0014		=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*R29^3 + 0.0303*R29^2 + 0.405*R29 - 0.00000055	=BQ29	=BR29	=BQ29*BR29*\$K\$3*((R29)^1.5)*SQRT(\$I\$5)	=(2*(10^6)*[@[S (Mm3)]]/\$K\$7)-[@[O (m3/s)]]	=[@[I (m3/s)]]+[@[I+Δt (m3/s)]]+[@[2S/Δt - O (m3/s)]]
=Roteamento de cheias!X25	=Roteamento de cheias!Y25	=P31	=0.0000000000000106*Y29^3 - 0.000000001124*Y29^2 + 0.00013*Y29 + 0.0014		=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*R30^3 + 0.0303*R30^2 + 0.405*R30 - 0.00000055	=BQ30	=BR30	=BQ30*BR30*\$K\$3*((R30)^1.5)*SQRT(\$I\$5)	=(2*(10^6)*[@[S (Mm3)]]/\$K\$7)-[@[O (m3/s)]]	=[@[I (m3/s)]]+[@[I+Δt (m3/s)]]+[@[2S/Δt - O (m3/s)]]
=Roteamento de cheias!X26	=Roteamento de cheias!Y26	=P32	=0.0000000000000106*Y30^3 - 0.000000001124*Y30^2 + 0.00013*Y30 + 0.0014		=[@[H (m)]]/\$K\$6	=0.0007*R31^3 + 0.0303*R31^2 + 0.405*R31 - 0.00000055	=BQ31	=BR31	=BQ31*BR31*\$K\$3*((R31)^1.5)*SQRT(\$I\$5)	=(2*(10^6)*[@[S (Mm3)]]/\$K\$7)-[@[O (m3/s)]]	=[@[I (m3/s)]]+[@[I+Δt (m3/s)]]+[@[2S/Δt - O (m3/s)]]

PLANILHA Nº 6

Dados de Entrada	Sigla	Valor	Unidades
Caudal de Projecto	Qp	108.6516099	[m]
Carga de Operação	Ho	0.60	[m]

Dados Adoptados	Sigla	Valor	Unidades
Largura total de descarregador	W	30	[m]
Numero de módulos	N	5	
Razão de Ampliação	l/w	3	
Abertura dos muros do Canal	K θ	30	[°]
Ângulo entre cristas	α	12	[°]
Razão de largura de ciclo	P	1.5	[m]

Parâmetros Calculados	Sigla	Valor	Unidades
Altura do descarregador	P	1.5	[m]
Espessura da parede da crista	t	0.25	[m]
Lado interno do vértice	A	0.25	[m]
Lado externo do vértice	D	0.7	[m]
Comprimento de um ciclo	l	18.0	[m]
Largura de um ciclo	w	6.0	[m]
Comprimento do Braço	l1	9.1	[m]
Comprimento Efetivo do Braço	l2	8.9	[m]
Comprimento Total da Crista	LT	95.7	[m]
Comprimento do Descarregador na direção do escoamento	B	9.1	[m]
Comprimento efetivo do descarregador	L	90.0	[m]
Comprimento de Interferência	Ld	2.0	[m]
Raio da crista de oviga principal (R1)	R1	0.3	[m]
Raio da crista oviga inicial (R2)	R2	0.1	[m]
Número de pilares de arejamento	n° P	9	

Verificação dos Parâmetros de dimensionamento	Sigla	Valor	Unidade	Verificação
Proporção de Comprimento de Interferência	Ld/L1	22%	[%]	OK
Ângulo entre cristas	α	12.0	[°]	OK
Relação de ápice	A/w	0.041666667		OK
Razão da Largura do Ciclo	w/P	4		OK
Razão de Carga a montante	Ho/P	0.40		OK

Custo prévio	Sigla	QUANTIDADE	Preço por unidade	Custo		Verificação
				FORMA EM LABIRINTO	FORMA eq. LINEAR	
Unidade						
Volume de Betão nas Paredes	VPAREDE [m³]	35.8911946	6210	222,884.32 MZN	287,169.88 MZN	
Volume de Betão na soleira	VMURO [m³]	3.92598226	6210	24,380.35 MZN	11,643.75 MZN	
Volume de Betão na soleira	VSOLEIRA [m³]	78.51964521	6210	487,607.00 MZN	957,232.93 MZN	
Volume de Betão das pilares de arejamento	VPILAR [m³]	0.5625	6210	3,493.13 MZN	4,786.16 MZN	
Condução de ar	VC.AR [m]	95.4	603	57,526.20 MZN	77,615.16 MZN	
CUSTO TOTAL	Cv			795,890.99 MZN	1,338,447.89 MZN	OK

Figura A.6- 13 - Ilustração da planilha nº 6

FORMATAÇÕES DE FÓRMULAS NA PLANILHA N°6.

Dados de Entrada	Sigla	Valor	Unidades
	Caudal de Projecto	Qp	= '(Puls)!R3
Carga de Operação	Ho	= '(Puls)!W3	[m]

Dados Adoptados	Sigla	Valor	Unidades
	Largura total de descarregador	W	= '(Puls)!K3
Numero de módulos	N		
Razão de Ampliação	l/w		
Abertura dos muros do Canal	Kθ	= '(Puls)!K5	[°]
Ângulo entre cristas	α	12	[°]
Razão de largura de ciclo	P	= '(Puls)!K6	[m]

Parâmetros Calculados	SOLEIRA TRAPEZOIDAL		
	Sigla	Valor	Unidades
Altura do descarregador	P	=E14	[m]
Espessura da parede da crista	t	=MAX(E18/6;0.2)	[m]
Lado interno do vértice	A	=E19	[m]
Lado externo do vértice	D	=E20+(2*E19*TAN(RADIANS(45-E13/2)))	[m]
Comprimento de um ciclo	l	=E23*E11	[m]
Largura de um ciclo	w	=E9/E10	[m]
Comprimento do Braço	l1	=E25+E19*TAN(RADIANS(45-E18/2))	[m]
Comprimento Efetivo do Braço	l2	=(E22-E20)/2	[m]
Comprimento Total da Crista	LT	=E10*(E21+E20+2*E24)	[m]
Comprimento do Descarregador na direção do escoamento	B	=(E24-E19)/COS(RADIANS(E13))	[m]
Comprimento efetivo do descarregador	L	=E10*E22	[m]
Comprimento de Interferência	Ld	=E5*6.1*2.7182818285^(-0.052*(E13))	[m]
Raio da crista de oviga principal (R1)	R1	=E5*0.5	[m]
Raio da crista oviga inicial (R2)	R2	=E5*0.2	[m]
Número de pilares de arejamento	n° P	=E28/10	

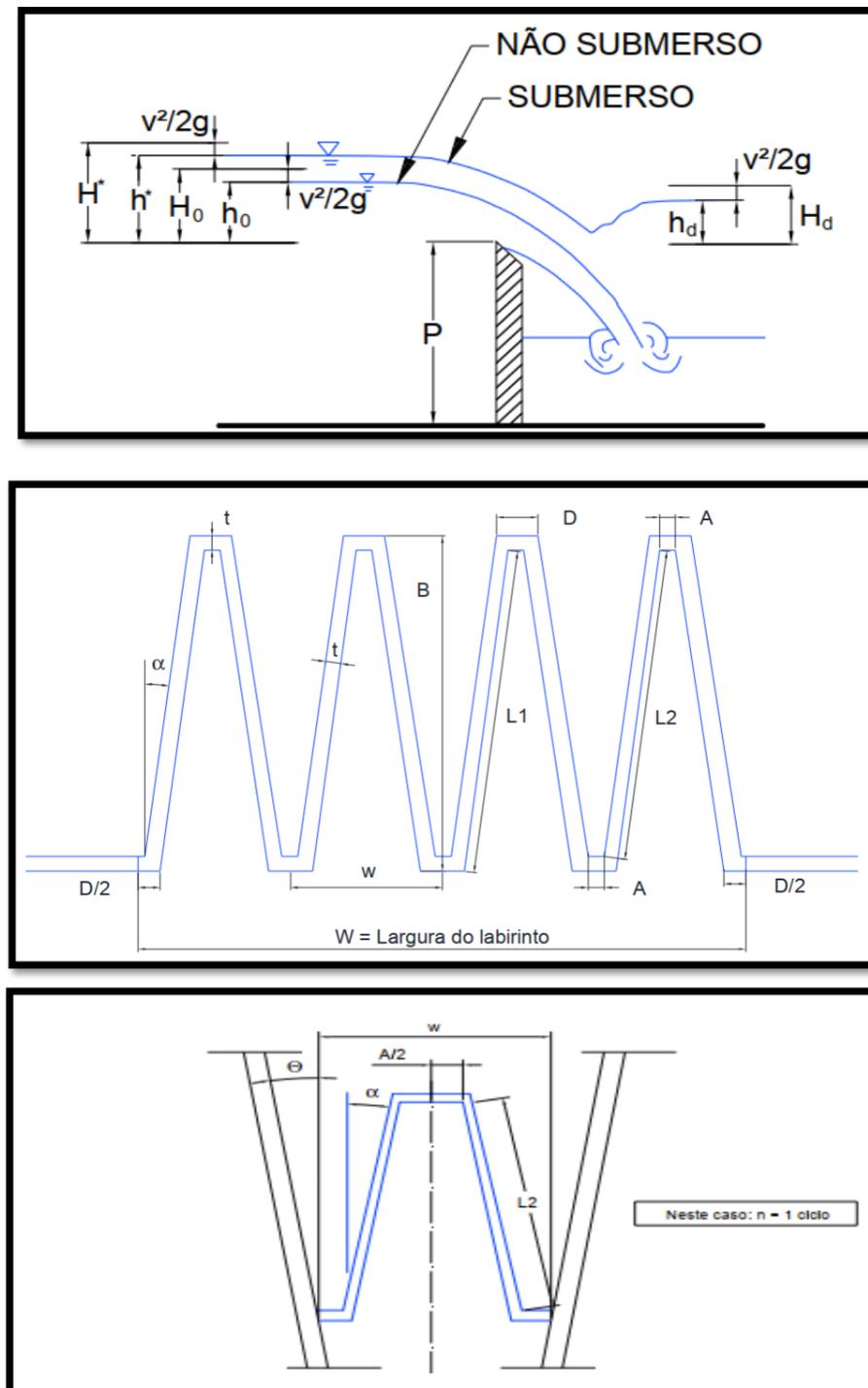
Verificação dos Parâmetros de dimensionamento	Sigla	Valor	Unidade	Verificação
	Proporção de Comprimento de Interferência	Ld/L1	=E29/E24	[%]
Ângulo entre cristas	α	=E13	[°]	=IF(E38<8;"Menor que 8";IF(E38>16;"Maior que 8";"OK"))
Relação de ápice	A/w	=E20/E23		=IF(E39<0.08;"OK";"Maior que 0.08")
Razão da Largura do Ciclo	w/P	=E23/E18		=IF(E40<2;"Menor que 2";IF(E40>4;"Maior que 4";"OK"))
Razão de Carga a montante	Ho/P	=E5/E18		=IF(E41<0.2;"Menor que 0.2";IF(E41>0.6;"Maior que 0.6";"OK"))

$$\frac{=(E49*2400 + (E27*E9)*1000)/(E27*E9*2500)*0.25}{=E18*0.7}$$

Custo prévio	Sigla	QUANTIDADE	Preço por unidade	Custo		Verificação
				FORMA EM LABIRINTO	FORMA eq. LINEAR	
Unidade						
Volume de Betão nas Paredes	VPAREDE [m³]	=E18*E26*E19	6210	=F49*E49	=E18** (Puls)!AA4*E19*F49	
Volume de Betão na soleira	VMURO [m³]	=E14*E27*E19/COS(RADIANS(E12))	6210	=F50*E50	=E14*5*E19*F50	
Volume de Betão na soleira	VSOLEIRA [m³]	=E9*E27*E19/COS(RADIANS(E12))	6210	=F51*E51	= '(Puls)!AA4*5*E19*F51	
Volume de Betão das pilares de arejamento	VPILAR [m³]	=E19^2 *E32	6210	=F52*E52	=(G52/E32)** (Puls)!AA4/10	
Condução de ar	VC.AR [m]	=2*(E14+2*E5) +E28	603	=F53*E53	=(2*(E14+2*E5) + (Puls)!AA4)*F53	
CUSTO TOTAL	CT			=SUM(G49:G53)	=SUM(H49:H53)	=IF(G54<0.7*H54;"OK";"KO")

Figura A.6- 14 - Formatações e fórmulas na planilha nº6

PLANILHA Nº6



RESULTADOS HIDRÁULICOS		UNIDADE
Qmáx	108.7	[m³/s]
H máx	1.12	[m]
Ho	0.60	[m]
Hj	0.34	[m]
H*	0.94	[m]
l/w	3.0	
Ho/P	OK	
w/P	OK	
Ld/L1	OK	
A/w	OK	
Eficiência ε	4.11	
μ	1.339	
Kθ	1.419	

TABELA DE pré-VIABILIDADE	
Custo do Prévio	795,890.99 MZN
Rácio de Poupança	59%
Verificação (CT)	OK

DIMENSÕES DO DESCARREGADOR		UNIDADE
t	0.3	[m]
D	0.7	[m]
A	0.3	[m]
B	9.1	[m]
W	30.0	[m]
w	6.0	[m]
α	12.0	[°]
θ	30.0	[°]
L1	9.1	[m]
L2	8.9	[m]
P	1.5	[m]

Figura A.6- 15 - Ilustração da planilha dos resultados

DETALHAMENTO DAS DIMENSÕES GERADAS PELA FERRAMENTA

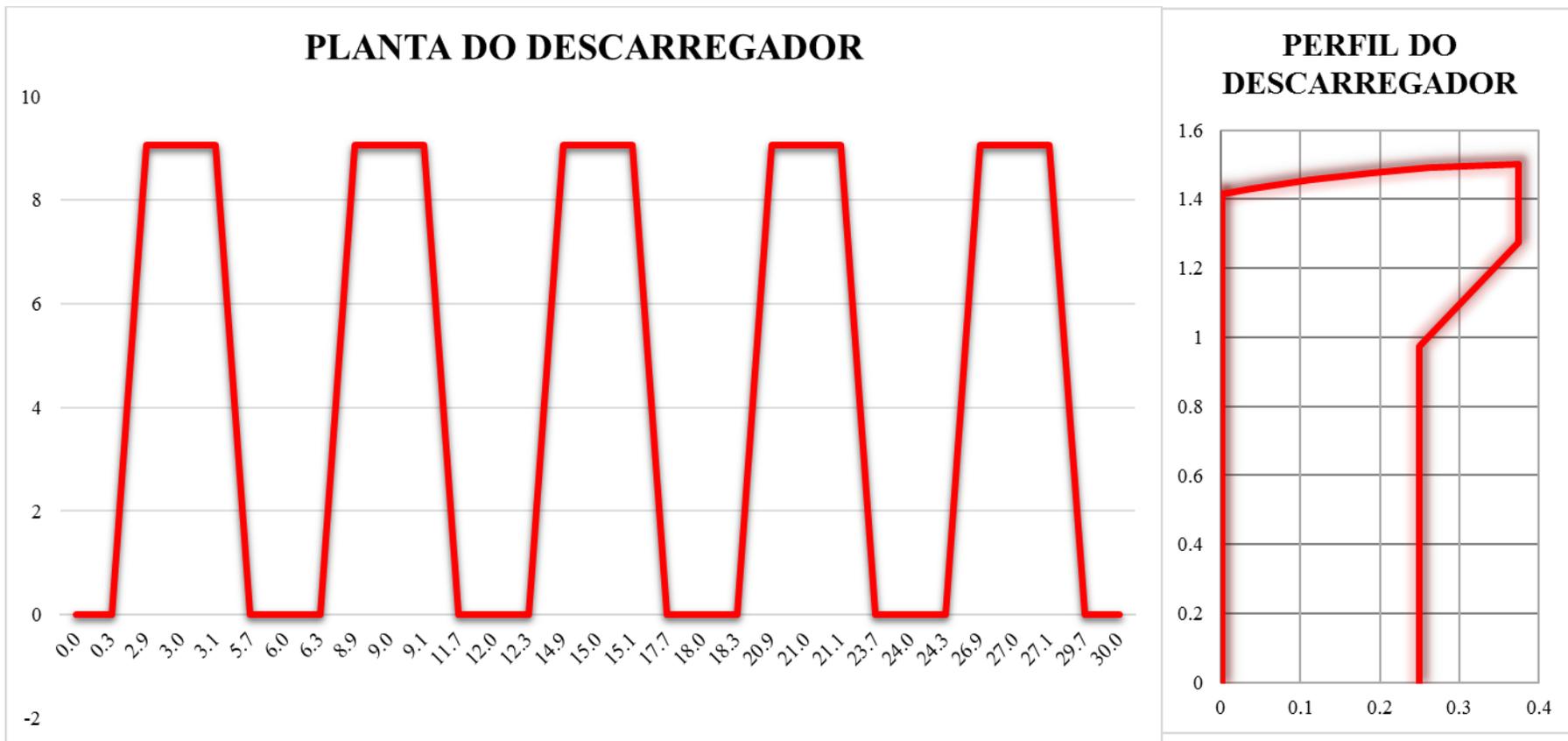


Figura A.6-16 - Ilustração da demonstração geométrica dos resultados na unidade em metro.

FORMATAÇÕES E FÓRMULAS NA PLANILHA N°7

RESULTADOS HIDRÁULICOS		UNIDADE
Q _{máx}	='(Puls)!'R3	[m ³ /s]
H máx	='(Puls)!'Y3	[m]
H _o	=Dimensionamento!E5	[m]
H _j	='(Puls)!'X3	[m]
H*	='(Puls)!'AC7	[m]
l/w	=Dimensionamento!E11	
H _o /P	=Dimensionamento!G41	
w/P	=Dimensionamento!G40	
Ld/L1	=Dimensionamento!G37	
A/w	=Dimensionamento!G39	
Eficiência €	='(Puls)!'AA3	
μ	='(Puls)!'U3	
Kθ	='(Puls)!'V3	

TABELA DE pré-VIABILIDADE	
Custo do Prévio	=Dimensionamento!G54
Rácio de Poupança	=Dimensionamento!G54/Dimensionamento!H54
Verificação (CT)	=Dimensionamento!I54

DIMENSÕES DO DESCARREGADOR		UNIDADE
t	=Dimensionamento!E19	[m]
D	=Dimensionamento!E21	[m]
A	=Dimensionamento!E20	[m]
B	=Dimensionamento!E27	[m]
W	=Dimensionamento!E9	[m]
w	=Dimensionamento!E23	[m]
α	=Dimensionamento!E13	[°]
θ	=Dimensionamento!E12	[°]
L1	=Dimensionamento!E24	[m]
L2	=Dimensionamento!E25	[m]
P	=Dimensionamento!E14	[m]

Figura A.6- 17 - Formatações e fórmulas da planilha n° 7