



LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

**SISTEMA DE PREVISÃO E ALERTA DE INUNDAÇÕES EM ZONAS COSTEIRAS E  
PORTUÁRIAS**

**PTDC/AAC-AMB/120702/2010**

**PROGRAMA CALCULA\_RUNUP\_GALGAMENTO\_MASE.F**

**Lisboa, maio de 2013**

**Relatório HIDRALERTA 03/2013**



## ÍNDICE DO TEXTO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. CONCEITOS TEÓRICOS.....	2
3. LISTAGEM DO PROGRAMA EM FORTRAN .....	4
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	10

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema exemplificativo do declive imaginário $\cot \beta$ tendo em consideração a configuração da secção transversal do perfil da praia em frente à estrutura e do perfil da própria estrutura (Mase <i>et al.</i> , 2013).....	3
---	---

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Fórmulas empíricas para o cálculo de <i>runup</i> /galgamento (Mase <i>et al.</i> , 2013). ....	2
--	---

## AGRADECIMENTOS

Branca Branco – Assistente Técnico



# 1. INTRODUÇÃO

O presente relatório tem como objetivo a apresentação do programa intitulado *Calcula\_Runup\_Galgamento\_Mase.f* que é um programa em Fortran de cálculo do *runup* e do galgamento de estruturas costeiras utilizando a formulação de Mase *et al.* (2013).

Este trabalho insere-se no âmbito do Projeto HIDRALERTA - Sistema de previsão e alerta de inundações em zonas costeiras e portuárias financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (contrato PTDC/AAC-AMB/120702/2010), no qual aquela formulação é muito utilizada.

O projeto está a ser desenvolvido no LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil em conjunto com a Universidade Nova de Lisboa (Faculdade de Ciências e Tecnologia e Faculdade de Ciências Sociais e Humanas) e a Universidade dos Açores, e tem como principal objetivo desenvolver o Sistema de Previsão e Alerta de Inundações em Zonas Costeiras e Portuárias HIDRALERTA. Em especial, inclui as seguintes tarefas:

1. Criação de uma ferramenta, amigável com o utilizador, que permita:

- Avaliar o risco de inundação por intermédio de mapas de risco que constituam uma ferramenta de apoio à decisão pelas entidades competentes. Estes mapas são construídos com longas séries temporais de previsões da agitação marítima ou com cenários pré-definidos associados às mudanças climáticas e/ou eventos extremos;
- Avaliar em tempo real situações de emergência e a emissão de alertas às entidades competentes sempre que se preveja estar em causa a segurança de pessoas, bens ou atividades desenvolvidas nessas zonas.

2. Desenvolvimento de um protótipo para o porto da Praia da Vitória e da zona de Lisboa-Vale do Tejo.

O programa *Calcula\_runup\_galgamento\_mase.f* é utilizado na tarefa de avaliação do risco de inundação, nomeadamente no cálculo do *runup* e do galgamento de estruturas costeiras.

Nos capítulos 2 e 3, apresentam-se um resumo dos conceitos básicos teóricos do programa, bem como a listagem do mesmo, respetivamente. O capítulo 4 contém as referências bibliográficas que serviram de base ao desenvolvimento do programa.

## 2. CONCEITOS TEÓRICOS

São várias as metodologias utilizadas para o cálculo do *runup* e do galgamento de uma estrutura: fórmulas empíricas, redes neuronais, modelos físicos ou modelos numéricos. Em qualquer delas, uma das grandezas pela qual os galgamentos são expressos é o caudal médio galgado por unidade de comprimento de estrutura,  $q$  (m<sup>3</sup>/s/m).

No presente trabalho seguiu-se a metodologia de Mase *et al.* (2013), que utiliza fórmulas empíricas (baseadas em ensaios em modelo físico) que relacionam o *runup* e o galgamento de estruturas localizadas junto ou acima da linha de costa. No Quadro 1 estão representadas as formulações empíricas propostas por Mase *et al.* (2013) para o cálculo do *runup* e posterior cálculo do caudal médio galgado. Estas formulações utilizam, em geral, como parâmetros de entrada as características das ondas em águas profundas (altura de onda  $H_0$ , comprimento de onda  $L_0$ ), as características da estrutura (a distância entre o nível médio da água e a cota de coroamento,  $R_c$ ) e as características da secção transversal do perfil da praia em frente à estrutura,  $\tan \beta$ . Neste quadro,  $R_{2\%}$  é o *runup* excedido por 2% de todos os *runup*,  $R_{1/10}$  é o *runup* correspondente à média do décimo mais alto dos *runup*,  $R_{1/3}$  é o *runup* significativo (média do terço mais alto dos *runup*),  $R_{max(37\%,100)}$  é o *runup* máximo não excedido em 37% dos casos em ensaios com 100 ondas,  $R_{max(99\%,100)}$  é o *runup* máximo não excedido em 99% dos casos em ensaios com 100 ondas e  $R_{max}$  é o *runup* máximo.

Estas fórmulas foram deduzidas inicialmente para estruturas cujo declive era uniforme, o que não se passa na maioria das estruturas reais. Assim, para ultrapassar essa limitação, a metodologia adota um conceito de declive imaginário no cálculo do *runup*/galgamento. Saville (1958) propôs pela primeira vez uma definição de declive imaginário (Figura 1): uma linha que une dois pontos, um no pé do talude onde se dá a rebentação das ondas, à profundidade  $h_b$ , e o outro no limite do *runup* da onda. Com base no trabalho de Mase *et al.* (2013), aplica-se o conceito de declive imaginário revisto, tendo em consideração a configuração da secção transversal do perfil da praia em frente à estrutura, e do perfil da própria estrutura, como apresentado na Figura 1.

Quadro 1 - Fórmulas empíricas para o cálculo de *runup*/galgamento (Mase *et al.*, 2013).

<b>Runup</b>	$R_{2\%} = H_0 * ( 2.99 - 2.73 * \exp ( - 0.57 * ( \tan \beta / \sqrt{H_0 / L_0} ) ) )$	(1)
	$R_{1/10} = H_0 * ( 2.72 - 2.56 * \exp ( - 0.58 * ( \tan \beta / \sqrt{H_0 / L_0} ) ) )$	(2)
	$R_{1/3} = H_0 * ( 2.17 - 2.18 * \exp ( - 0.70 * ( \tan \beta / \sqrt{H_0 / L_0} ) ) )$	(3)
	$(R_{max})_{37\%,100} \approx 1.52 R_{1/3} \approx 1.09 R_{2\%}$	(4)
	$(R_{max})_{99\%,100} \approx 2.15 R_{1/3} \approx 1.54 R_{2\%}$	(5)
<b>Galgamento</b>	$q = \begin{cases} \sqrt{g H_0^3} * [0.018 * (R_{max}/H_0)^{3/2} * \{1 - (R_c/H_0)/(R_{max}/H_0)\}^{3.200}] & 0 \leq R_c < R_{max} \\ 0 & R_c \geq R_{max} \end{cases}$	(6)
	$q = \begin{cases} \sqrt{g H_0^3} * [0.018 * (R_{max}/H_0)^{3/2} * \{1 - (R_c/H_0)/(R_{max}/H_0)\}^{6.240}] & 0 \leq R_c < R_{max} \\ 0 & R_c \geq R_{max} \end{cases}$	(7)

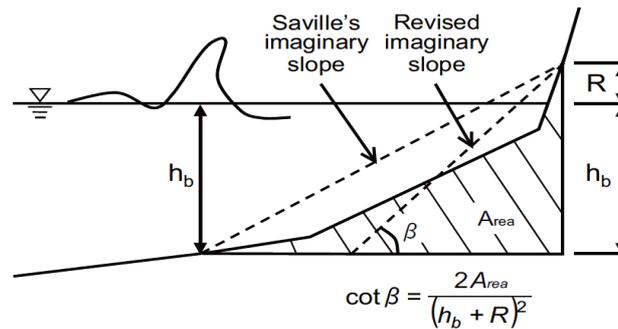


Figura 1 - Esquema exemplificativo do declive imaginário  $\cot \beta$  tendo em consideração a configuração da secção transversal do perfil da praia em frente à estrutura e do perfil da própria estrutura (Mase *et al.*, 2013).

O declive imaginário,  $\cot \beta$ , é obtido através da eq. (8):

$$\frac{1}{\tan \beta} \approx \cot \beta = \frac{2 * A_{rea}}{(h_b + R)^2} \quad (8)$$

sendo que R é o *runup* calculado por cada uma das fórmulas apresentadas no Quadro 1. Trata-se de um processo iterativo.

### 3. LISTAGEM DO PROGRAMA EM FORTRAN

```

program Calcula_Runup_galgamento_Mase.f
c   Juana Fortes, Teresa Reis e Patrícia Neves 25/05/2013
c   Calculo dos valores runup para o largo e junto à costa

integer ii
real Ts(365000),xp(30),yp(30),smax(365000),caudal
real HM0(365000), TP(365000), Dir(365000),H0L0(4,30),HBH0(4,30)
real Lzwm_Nielsen, Nmax_inundacao_1,betaf,parametro,profundidade,L0,
*pi,Rrms,R1_10,R1_3,R2,Rmax,H0_L0,BOTTOM,HB

open(3,file="Alturas_condicoeslargo.dad")
open(4,file="dados_condicoeslargo.dad")
open(33,file="galgamento_R_totais.dat")
open(34,file="teste.dat")
open(36,file="TABELA.DAT")
open(23,file="estrutura.dat")

write(33,888)
c   write(34,888)
888 format (" i   HM0(i)   TP(i) Dir (i) L0
*H0/L0 HB/H0 HB PROF_L0
*R2,   R1_10  R1_3  Rmax,   Caudal")

pi= 4*atan(1.)
g= 9.81

c   Leitura de dados
c   betaf= angulo do perfil de praia (em graus)
c   profundidade - ao largo ou antes da rebentação.
c   read(4,*)betaf
C   METODO - 1 OU 2
C   COTA - COTA DO COROAMENTO DA ESTRUTURA
C   BOTTOM - INCLINACAO DO FUNDO

read(4,*)profundidade
read(4,*)betaf
read(4,*)metodo
read(4,*)cota
READ(4,*)BOTTOM

write(34,*)' '
write(34,*)' profundidade, betaf,METODO, COTA,BOTTOM'
write(34,*)' profundidade, betaf,METODO,cota,BOTTOM'
write(34,*)' '
npontos=0
write(34,*)'Agitação: HM0(ii),TP(ii),Dir(ii),smax(ii)'

c   Leitura do ficheiro alturas.dat
do ii=1,1000000
read (3,*,END=533)HM0(ii),TP(ii),Dir(ii),smax(ii)

write(34,*)HM0(ii),TP(ii),Dir(ii),smax(ii)
npontos=npontos+1
enddo
write(34,*)' '

c   Leitura da tabela H0/L0 versus HB/L0
533 write(34,*)' '

```

```

WRITE(34,*)'Tabela: H0L0(i,j),HBH0(i,J)'

do j=1,15
read(36,*)((H0L0(I,J),HBH0(i,j)),i=1,4)
WRITE(34,7878)((H0L0(i,J),HBH0(i,J)),i=1,4)
enddo
7878 format(8f12.4)
write(34,*) '

c      Leitura da estrutura
write(34,*)'Características da estrutura: xp(i),yp(i)'
read(23,*)np
do i=1,np
read(23,*)xp(i),yp(i)
write(34,*)xp(i),yp(i)
enddo

c      Inicialização
do l = 1,npontos
write(34,*) '
write(34,*) '
write(34,*) '
write(34,*) '

write(34,*)'*****'
write(34,*)'CONDIÇÃO DE AGITAÇÃO=' , l
write(34,*)'*****'

if (HM0(i).eq.0)then
R2=0
R1_10=0
R1_3=0
endif

c      Cálculo do  $L0=gtp0^2/2\pi$ 
TS(i)=TP(i)/1.05
L0=9.81*Ts(i)**2/2/pi

c      calculo de HS e HRMS com base nos valores ao largo
HS=HM0(i)

c      condições de aplicabilidade
declive=tan(Betaf*pi/180)
H0_L0=HM0(i)/L0
PROF_L0=profundidade/L0

c      Cálculo do R2%, R1/10 e R1/3
write(34,*) '
Write(34,*)'HM0(i),TP(i),Dir(i),HS,TS(l),L0,H0/L0, PROF/L0, DECLIVE'
Write(34,343)HM0(i),TP(i),Dir(i), HS,TS(l),L0,H0_L0, PROF_L0, DECLIVE
343 format(10f12.4)
WRITE(34,*) '

WRITE(34,*)' '
write(34,*)'*****Calculo de R2*****1'
call calculo_hb(R2,BETAF,HM0(l),L0,H0L0,HBH0,BOTTOM,smax(i),
*xp,yp,np,1, valor_HBH0,HB)
WRITE(34,*)' '

```

```

WRITE(34,*)' '
WRITE(34,*)' '

write(34,*)'*****Calculo de R1_10*****3'
call calculo_hb(R1_10,BETAF,HM0(I),L0,H0L0,HBH0,BOTTOM,smax(i),
*xp,yp,np,3, valor_HBH0,HB)
WRITE(34,*)' '
WRITE(34,*)' '
WRITE(34,*)' '

write(34,*)'*****Calculo de R1_3***** 2'
call calculo_hb(R1_3,BETAF,HM0(I),L0,H0L0,HBH0,BOTTOM,smax(i),
*xp,yp,np,2, valor_HBH0,HB)
WRITE(34,*)' '
WRITE(34,*)' '
WRITE(34,*)' '

Write(34,*)' i,HM0(i),TP(i),Dir(i),L0,H0_L0, valor_HBH0,HB,PROF_L0,
*r2,r1_10,r1_3'
Write(34,779)i,HM0(i),TP(i),Dir(i),L0,H0_L0,valor_HBH0,HB,PROF_L0,
*r2,r1_10,r1_3
779 format(i4,16(f12.4,3x))
WRITE(34,*)' '

```

```

C    Metodo 1
c    calculo de rmax, rc e caudal
    IF (METODO.EQ.1)THEN
    RMAX=1.09*R2
    RC=COTA-SMAX(I)
    write(34,*)rmax

c    estrutura de enrrocamento: gama(f)=0.5
    RMAX=RMAX*0.5

    IF (RC.GT.0 .AND. RC.LT.RMAX)THEN
    CAUDAL= sqrt(9.81*HM0(i)**3)*(0.018*(RMAX/HM0(I))**1.5
**((1-(RC/HM0(i)))/(RMAX/HM0(i)))**3.2)
    ELSE
    CAUDAL=0
    ENDIF
    write(34,*)'estou aqui no metodo 1 e o Rmax, RC e caudal são:'
    write(34,*)rmax, rc, caudal

    ELSE

```

```

C    Metodo 2
    Rmax=1.54*R2
    RC=COTA-SMAX(I)
    write(34,*)'estou aqui metodo 2 e o Rmax é', rmax
    write(34,*)rmax

c    estrutura de enrrocamento: gama(f)=0.5
    RMAX=RMAX*0.5
    IF (RC.gt.0 .AND. RC.Lt.RMAX)THEN
    Caudal= sqrt(9.81*HM0(I)**3)*(0.018*(RMAX/HM0(I))**1.5
**((1-(RC/HM0(I)))/(RMAX/HM0(I)))**3.2)
    ELSE
    CAUDAL=0
    ENDIF

```

```

write(34,*)'estou aqui no metodo 2 e o Rmax, RC e caudal são:'
write(34,*)rmax, rc, caudal
ENDIF
write(34,*)' '
write(34,*)'Valores finais para condicao=',i,r2,r1_10,r1_3,rmax'
write(34,777)i,r2,r1_10,r1_3,rmax
write(33,777)i,HM0(i),TP(i),Dir(i),L0,H0_L0, valor_HBH0,HB,PROF_L0,
*r2,r1_10,r1_3,rmax,Caudal
777 format(i5,25(f12.4,4x))
WRITE(*,*)'ESTOU NA CONDICAO DE AGITACAO=',l
enddo
end

*****
SUBROUTINE CALCULO_HB(R,betaf,H0,L0,H0L0,HBH0,BOTTOM,XNIVELMARE,
*xp,yp,np,ntipo,valor_HBH0,HB)

c    Cálculo do R2%, R1/10 e R1/3
real H0L0(4,30),HBH0(4,30), L0, H0,xp(30),yp(30),hb, inicio,fim

NPO=0
pi=4*atan(1.)

write(34,*)'h0=',h0
write(34,*)'xnivelmare=',xnivelmare
DECLIVE=tan(Betaf*pi/180)
C    do i=1,np
c    write(34,*)xp(i),yp(i)
C    enddo

if(BOTTOM.eq.10)n=1
if(BOTTOM.eq.20)n=2
if(BOTTOM.eq.30)n=3
if(BOTTOM.eq.100)n=4
valor_H0L0=H0/L0

C    For i = 1 To np
C        xp(i) = Perfil(i, 1)
C    yp(i) = Perfil(i, 2)
C    Next i
WRITE(34,*)'ESTOU NO TIPO DE CURVA=',N
write(34,*)' '

c    calculo de HB
do j=1,15
WRITE(34,*)'ESTOU AQUI VALOR_H0L0=',J,VALOR_H0L0
if (valor_H0L0 .GE.0.07)THEN
valor_HBH0=HBH0(N,15)
write(34,*)'O valor de HB/L0 é maior do 0.07=',valor_HBH0
GOTO 333
ENDIF

if (valor_H0L0 .LE.0.002)THEN
valor_HBH0=HBH0(N,1)
write(34,*)'O valor de HB/L0 é menor do 0.002=',valor_HBH0
GOTO 333
ENDIF

IF (VALOR_H0L0 .lt. H0L0(N,J)) then
inicio=HBH0(n,j-1)

```

```

        fim=HBH0(n,j)
        valor_HBH0=inicio+(fim-inicio)*(VALOR_H0L0-H0L0(n,j-1))
        */(H0L0(n,j)-H0L0(n,j-1))
        write(34,*)' '
        write(34,*)'inicio, fim, valor_HBH0=',inicio, fim, valor_HBH0
        goto 333
        else

        goto 666
    ENDIF
666 CONTINUE
    ENDDO
    write(34,*)' '

C    ITERACAO PARA CALCULO DO R
c    primeira estimativa de R
333  R=H0

c    calculo de HB
    HB=valor_hbh0*h0

c    inicio e fim da runup, yini e yfim
    YINI=-VALOR_HBH0*H0+XNIVELMARE
3535 YFIM=R+XNIVELMARE
    WRITE(34,*)'Os valores de valor_HBH0,HB,R=',valor_HBH0,HB,R

c    calculo da area
    WRITE(34,*)' '
    WRITE(34,*)'Estou a entrar na subrotina area '
    CALL AREA(XP,YP,NP,YINI,YFIM,FINAL_AREA)

c    calculo da cota beta
    COTAGBETA=2*FINAL_AREA/((HB+R)**2)

c    calculo do declive_novo
    DECLIVE_NOVO=1./COTAGBETA
    write(34,*)' '
    WRITE(34,*)'Area, cotaGbeta e declive_novo',
    *FINAL_AREA,COTAGBETA, DECLIVE_NOVO
    WRITE(34,*)' '

c    calculo do R_novo
    write(34,*)'Calculo do novo R para o tipo =',ntipo
    if(ntipo.eq.1)then
        R_NOVO= H0*(2.99-2.73*exp(-0.57*DECLIVE_NOVO/sqrt(H0/L0)))
    elseif(ntipo.eq.2)then
        R_novo=H0*(2.72-2.56*exp(-0.58*DECLIVE_NOVO/sqrt(H0/L0)))
    else
        R_novo= H0*(2.17-2.18*exp(-0.70*DECLIVE_NOVO/sqrt(H0/L0)))
    endif

    NPO=NPO+1

    ajuda1=R_NOVO-R
    ajuda=declive_NOVO-declive
    write(34,*)' '
    WRITE(34,*)'R,R_NOVO, ajuda=',R,R_NOVO,ajuda1
    WRITE(34,*)'DECLIVE,DECLIVE_NOVO=',DECLIVE,DECLIVE_NOVO,ajuda

c    Verificar se ja convergiu
    
```

```

IF(abs(R_NOVO-R).GT.0.001) THEN
R=R_NOVO
write(34,*)' '
write(34,*)'*****'
write(34,*)'*****estou a efetuar nova interpolacao',npo
write(34,*)'*****'
GOTO 3535
ELSE

```

```

c   valores finais de R2 e de betaf
    R2=R_NOVO
    BETAF=ATAN(DECLIVE_NOVO)*180/PI
    ENDIF
    WRITE(34,*)'ESTOU A SAIR e o R_final=',R
    END

```

```

*****
SUBROUTINE AREA(XP,YP,NP,YINI,YFIM,FINAL_AREA)
REAL xp(30), yp(30), x(32), y(32)
write(34,*)'YINI=',yini
write(34,*)'yfim=',yfim
ip = 0
DO i = 2,np
    If (ip.EQ.0 .And. yp(i).GT. yini) Then
        ip = 1
        y(ip) = yini
        x(ip) = xp(i - 1) + (xp(i) - xp(i - 1)) * (yini - yp(i - 1))
        * / (yp(i) - yp(i - 1))
    End If
    If (ip > 0) Then
        ip = ip + 1
        If (yp(i) >= yfim) Then
            y(ip) = yfim
            x(ip) = xp(i - 1) + (xp(i) - xp(i - 1)) * (yfim - yp(i - 1))
            */(yp(i) - yp(i - 1))
            GOTO 555
        Else
            x(ip) = xp(i)
            y(ip) = yp(i)
        End If
    End If
ENDDO
555  FINAL_Area = 0
    write(34,*)'ip=',ip
    do i=1,ip
    write(34,*)'valores i,x,y=',i,x(i),y(i)
    enddo
    DO i = 1,ip - 1
    FINAL_Area = FINAL_Area + (X(i + 1) -X(i)) * ((Y(i) - Y(1)) +
    *(Y(i + 1)-Y(1)))/2.
    ENDDO
    write(34,*)'final_area dentro da subrotina=',final_area
    END

```

## 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Mase, H., Tamada, T., Yasuda, T., Hedges, T. S. & Reis, M. T. (2013). Wave runup and overtopping at seawalls built on land an in very shallow water. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 139 (5), 346-357.
- Saville, J. T. (1958). Wave run-up on composite slopes. Proc. 6th International Conference on Coastal Engineering, Gainesville, Florida, ASCE, 691-699.

## Autores:



Conceição Juana Fortes

Investigadora Principal



Maria Teresa Reis

Investigadora Auxiliar



Patrícia Neves

Aluna de Mestrado