

Autor: José Luis Teixeira

Atualizado: 20/04/2022

Capítulo 8. Modelo de Balanço Hídrico do Solo

8 - MODELO DE BALANÇO HÍDRICO DO SOLO	2
8.1 - Condições iniciais	2
8.2 - Zonas de rendimento máximo e de carência hídrica	3
8.2.1 - Definição	3
8.2.2 - Traçado das curvas limite	3
8.2.3 - Características relacionadas com a quebra de produção e a ascensão capilar	5
8.3 - Formulação do problema	6
8.3.1 - Equação genérica do balanço hídrico do solo	6
8.3.2 - Intervalos de tempo	7
8.3.3 - Variação temporal do volume de água armazenada no solo	7
8.3.3.1 - Equação geral	7
8.3.3.2 - Na zona de rendimento máximo	7
8.3.3.3 - Na zona de carência hídrica	8
8.4 - Execução do balanço hídrico pelo modelo ISAREG	8
8.4.1 - Rotina BALHID	9
8.4.2 - Descrição da rotina BALREG	11
8.4.3 - Descrição da rotina BALPRO	14

Capítulo 8. Modelo de Balanço Hídrico do Solo

8.0 - Preliminar

Neste capítulo é apresentada a formulação teórica utilizada no modelo ISAREG para a execução do balanço hídrico do solo. São ainda mostradas a forma como o programa processa as várias rotinas que o executam.

Chama-se a tenção para o facto de que a partura da publicação do livro FAO56 se utilizar o termo

- Evapotranspiração Cultural (ETc) para o que o programa designa Evapotranspiração Máxima (ETm)
- Evapotranspiração Cultural Ajustada (ETcaj) para o que o programa designa Evapotranspiração Cultural (ETc).

Para não estar a alterar todo o software resolveu-se manter a antiga designação pelo que se faz esta ressalva.

8.1 - Condições iniciais

A simulação da rega faz-se, no programa ISAREG, através do balanço hídrico do solo, que aplica a lei da continuidade a um prisma de solo de área unitária e cuja altura, em cada instante, é igual à profundidade do sistema radicular.

Nas culturas de Primavera-Verão, em Portugal, o início do ciclo vegetativo coincide, geralmente, com o início do período de rega. Neste período, o sistema radicular vai-se desenvolvendo até atingir um máximo que se mantém até à colheita. A Figura 8.1 representa esquematicamente este crescimento,

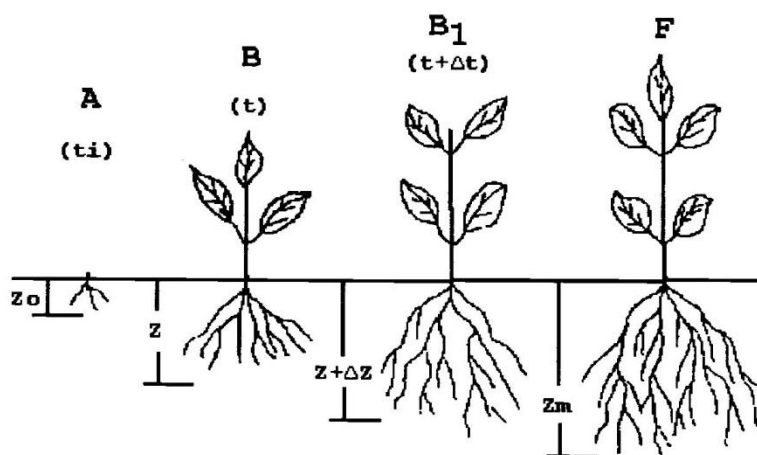


Figura 8.1 Variação da profundidade do balanço hídrico durante o período de rega

Nela estão indicadas:

- (A) as condições iniciais para o arranque da simulação (profundidade radicular z_0);
- (B) as condições num dia genérico t , (profundidade radicular z);
- (B_1) no dia $t+\Delta t$ (profundidade radicular $z+\Delta z$);
- (F) no final do período de rega (profundidade radicular máxima zm).

Note-se que z_0 representa a profundidade de sementeira ou do sistema radicular no início do período de rega e que $zm-z_0$ traduz a espessura das restantes camadas de solo que ainda virão a ser exploradas pelas raízes, cujos teores de humidade são pedidos pelo programa (vd. indicação das condições iniciais em 4.1.0).

8.2 Zonas de rendimento máximo e de carência hídrica

8.2.1 Definição

O conceito de reserva facilmente utilizável, RFU (vd. 2.1.0), deve ser encarado, no contexto deste modelo, como um conceito económico, não diretamente relacionado com o stress hídrico da cultura a nível celular, dado que, em alguns casos, a ausência de água em determinados períodos pode melhorar o rendimento final obtido. Assim, durante a realização do balanço hídrico do solo, considerar-se-á que a gama de variação do teor de humidade do solo pode ser dividida em três zonas:

- a zona de percolação (ZONA 1), em que o teor de humidade do solo está acima da capacidade de campo (CC);
- a zona de rendimento máximo (ZONA 2) que contém, em cada instante, o volume de água que, estando facilmente disponível na zona radicular, não prejudica o rendimento da cultura;
- a zona de carência hídrica (ZONA 3) onde, a baixos teores de humidade, correspondem forças de retenção de água no solo que a tornam dificilmente utilizável pelas culturas, com prejuízo no seu rendimento. No limite, o teor de humidade do solo poderá baixar até ao coeficiente de emurchecimento permanente (CE).

8.2.2 Traçado das curvas limite

O volume de água disponível para a cultura e que o solo é capaz de armazenar, pode, pois, dividir-se nas três zonas já referidas, representadas esquematicamente na Figura 8.2, delimitadas pelas três curvas seguintes:

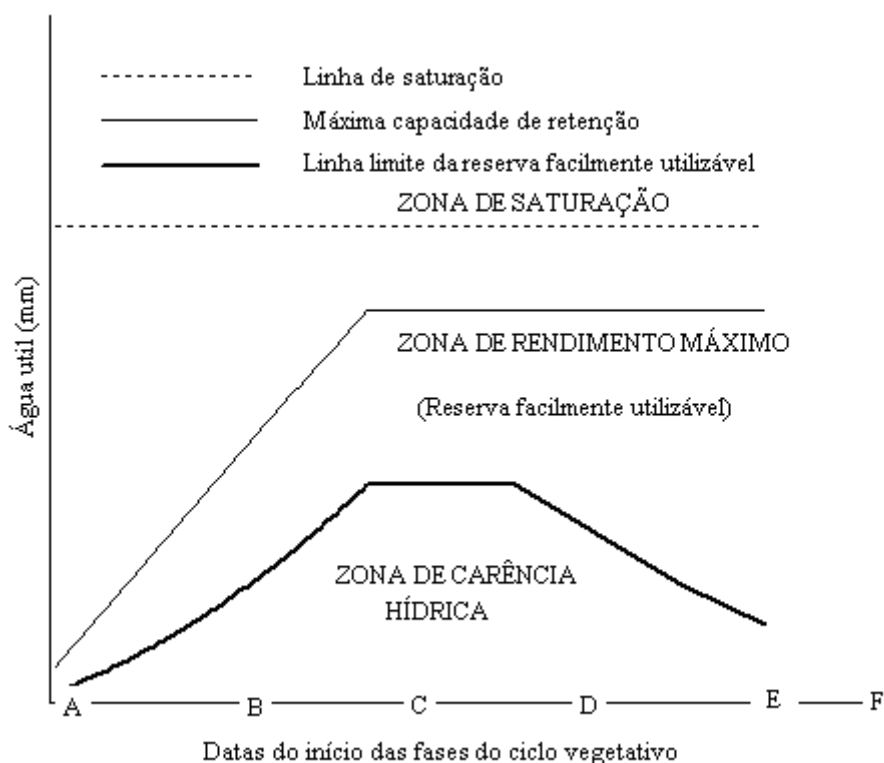


Figura 8.2- Delimitação das zonas de rendimento máximo e de carência hídrica

- A curva superior representa o volume máximo de água ($Rmax$) expresso em mm que, em cada instante, pode ser armazenado em boas condições de arejamento, na zona radicular (*linha de máxima capacidade*), coincidindo portanto com a curva que traduz a variação da RU ;
- A curva intermédia representa o volume ($Rmin$), expresso em mm, abaixo do qual se verifica quebra de rendimento (*linha limite do rendimento máximo*), coincidindo com a curva que traduz a variação do *Limite da reserva facilmente utilizável* ($Lrfu$);
- A inferior é uma reta horizontal de ordenada nula, que indica a ausência de água disponível quando o teor de humidade do solo iguala o seu coeficiente de emurchecimento permanente.

Seja $Rmax_k$ o valor de $Rmax$ no início de cada fase do ciclo vegetativo de ordem k . Para um solo com várias camadas, o seu valor é calculado pela equação:

$$Rmax_k = \sum_{i=1}^{n-1} (U_i \times pc_i) + \left[z_k - \sum_{i=1}^{n-1} pc_i \right] \times U_n \quad [8.1]$$

em que n é o número de camadas de solo que, no instante considerado, são atravessadas pelas raízes, U_i (mm/m) e pc_i (m) são respetivamente a capacidade utilizável e a espessura de cada camada e z_k (m) é a profundidade do sistema radicular no início da fase de ordem k .

Uma vez calculados os valores de $Rmax$ para o início de todas as fases do ciclo vegetativo indicadas ($Rmax_k$) e considerando que a função que traduz o crescimento das raízes é linear, o ponto genérico da curva que fornece o valor de $Rmax$ num dia t , de uma fase em que se verifica crescimento radicular, é calculado por interpolação linear entre os valores de $Rmax$ para as fases de ordem $k+1$ e k . Assim, é:

$$Rmax = \frac{Rmaxv}{\Delta t} t + Rmax_k \quad [8.2]$$

em que $Rmaxv$ é a variação de $Rmax$ durante a fase considerada e tv é o tempo de duração da fase (dias).

Nas fases do ciclo em que já não se verifica crescimento do sistema radicular, ter-se-á: $Rmaxv=0$ e [8.2] transforma-se em:

$$Rmax = Rmax_k \quad [8.3]$$

que é a equação de uma reta horizontal.

Considerando que, na mesma fase, p varia linearmente entre o seu valor inicial (p_k) e final (p_{k+1}), aquele parâmetro pode ser calculado, no dia t , pela relação:

$$p = \frac{pv}{tv} tp + p_k \quad [8.4]$$

sendo pv a variação do parâmetro p durante a fase considerada.

O ponto genérico da linha limite de rendimento máximo ($Rmin$) é calculado, atendendo às relações estabelecidas em [2.6] e [4.2], por:

$$Rmin = Rmax(1 - p) \quad [8.5]$$

Substituindo $Rmax$ e p pelas expressões [8.1] e [8.4], o ponto genérico da curva do limite da reserva utilizável calcula-se, dentro da mesma fase do ciclo vegetativo, por:

$$Rmin = \left(\frac{Rmaxv}{tv} t + Rmax_k \right) \times \left(1 - \frac{pv}{tv} t - p_k \right) \quad [8.6]$$

ou mais explicitamente, considerando de novo [8.5] no cálculo de $Rmin_k$, vem:

$$Rmin = Rmin_k - \left[Rmax_k \frac{pv}{tv} - \frac{Rmaxv}{tv} (1 - p_k) \right] t - Rmaxv \frac{pv}{tv^2} t^2 \quad [8.7]$$

que traduz a equação de uma parábola, contrariando a formulação tradicional apresentada em Doorenbos e Pruitt (1977).

Esta equação pode ser simplificada nalguns casos particulares:

a) quando R_{max} é constante (devido à constância de z) tem-se $R_{maxv}=0$ e a equação escreve-se:

$$R_{min} = R_{min_k} - \left[R_{max_k} \frac{pv}{tv} \right] t \quad [8.8]$$

b) quando pv é zero (reserva facilmente utilizável constante), tem-se:

$$R_{min} = R_{min_k} + \left[\frac{R_{maxv}}{tv} (1 - p_k) \right] t \quad [8.9]$$

c) quando R_{maxv} e pv são nulos, fica:

$$R_{min} = R_{min_k} \quad [8.10]$$

Nos dois primeiros casos obtém-se a equação de uma reta unindo os valores de R_{min} no início e no final da fase (formulação apresentada por Doorenbos e Pruitt, 1977), enquanto no último caso a reta é horizontal (formulação tradicional do balanço hídrico pelos métodos de Thornthwaite e de Thornthwaite-Mather).

8.2.3 Características relacionadas com a quebra de produção e a ascensão capilar

A estimativa da *quebra de produção*, Qy , provocada pelo esquema de rega escolhido e/ou por restrições impostas, faz-se através da equação

$$Qy = 1 - \frac{Ya}{Ym} = ky \left(1 - \frac{ETc}{ETm} \right) \times 100 \quad [8.11]$$

obtida diretamente do modelo de Stewart [2.23], sendo Qy expresso em percentagem da produção máxima, e Ya e Ym os rendimentos atuais e máximos da cultura

A evapotranspiração cultural varia com o volume de água útil armazenada na zona radicular (R). Quando este se encontra na zona de rendimento máximo tem-se: $ETc=ETm$, obtendo-se a produção máxima. Pelo contrário, na zona de carência hídrica, a planta diminui o seu poder evapotranspirante, diminuindo ETc à medida que o solo vai perdendo água. Assim, introduzindo a hipótese de linearidade (Teixeira, 1986), é:

$$ETc = \frac{R}{R_{min}} ETm \quad [8.12]$$

$$Ks = \frac{R}{R_{min}} \quad [8.13]$$

em que ETc é a taxa de evapotranspiração cultural (mm/dia) quando o solo dispõe do volume de água útil R (mm) e Ks é o coeficiente de stress. Nesta equação pode verificar-se que quando R está sobre o limite da Reserva Facilmente Utilizável (LRFU) $R=R_{min}$, é $ETc=ETm$ e que o declive da reta que traduz aquela variação linear é o coeficiente de stress.

O comportamento da ascensão capilar Ac , para um dado solo com um certo teor de humidade na presença de uma toalha freática, varia também com a zona considerada. Assim, o seu cálculo faz-se considerando que (CEMAGREF, 1982; Teixeira, 1986) na zona de rendimento máximo é $Ac=0$, e que na zona de carência hídrica Ac é inversamente proporcional ao teor de água no solo, atingindo o seu valor máximo (potencial de ascensão capilar G) quando $R=0$, ou seja, quando o teor de humidade do solo é igual ao coeficiente de emurchecimento permanente (CE).

Nestas condições, a equação que permite, em cada instante, calcular Ac em função de R , é:

$$Ac = G - \frac{G}{R_{min}} R \quad [8.14]$$

$$Ac = G(1 - ks) \quad [8.15]$$

8.3 Formulação do problema

8.3.1 Equação genérica do balanço hídrico do solo

Para um determinado intervalo de tempo Δt (dias) a equação de balanço pode escrever-se do seguinte modo:

$$\Delta R = (P - ET_c + R_g - E_s + A_c - D_r) \times \Delta t \quad [8.16]$$

sendo ΔR (mm) a variação do volume de água armazenada no solo durante aquele intervalo de tempo. Os volumes afluentes (mm/dia) são:

- a precipitação (P)
- a rega (R_g)
- a ascensão capilar (A_c)

e os volumes efluentes (mm/dia) são:

- a evapotranspiração cultural (ET_c)
- o escoamento superficial (E_s)
- as perdas por drenagem e percolação profunda (D_r)

Considerando que a precipitação efetiva (Pe) pode ser definida por

$$Pe = P - E_s \quad [8.17]$$

a equação [8.16] toma o aspeto

$$\Delta R = (Pe - ET_c + R_g + A_c - D_r) \times \Delta t \quad [8.18]$$

Considere-se, agora, que o intervalo de tempo Δt está incluído na fase de crescimento radicular. Na aplicação da equação [8.18], D_r é o volume de água que o solo não consegue armazenar até à profundidade $z + \Delta z$ (fase C da Figura 8.1) e que, portanto, emigra para as camadas inferiores. Este volume, ou parte dele, será armazenado nestas camadas se, aí, o solo não estiver saturado. Quer isto dizer que o volume D_r pode ser utilizado posteriormente pela planta se tiver sido armazenado a uma profundidade inferior à profundidade z_m . Por outro lado, o volume de água armazenado na espessura de solo Δz (vd. Figura 8.1), que não estava disponível para a cultura no início do intervalo, ficará durante este período em contacto com o sistema radicular; no 2º membro de [8.16] deverá então acrescentar-se o termo V_r , que representa aquele volume e que corresponde a uma entrada de água no sistema.

O novo aspeto da equação é agora:

$$\Delta R = [(Pe + V_r) - ET_c + R_g + A_c - D_r] \times \Delta t \quad [8.19]$$

Consequentemente, no modelo ISAREG, temos duas situações distintas: serão efetuados simultaneamente dois balanços:

a) Quando V_r é nulo (caso culturas em que foi indicada uma profundidade do sistema radicular constante em todo o período de rega) será feito apenas um balanço até à profundidade do sistema radicular, utilizando a equação [8.18]

b) No caso geral, em que se considerou a variação da profundidade radicular ao longo do ciclo vegetativo, mediante a indicação de diferentes valores da profundidade radicular no ficheiro de culturas serão realizados dois balanços:

- o primeiro, até à profundidade do sistema radicular, traduzido por [8.19]
- o segundo, calculado apenas para as camadas inferiores de solo que, no intervalo de tempo considerado, estão abaixo da zona radicular a acima da profundidade máxima que será atingida pelo sistema radicular (entre z e z_m na figura 8.1). Este balanço é traduzido pela equação [8.20]

$$V = Dr - V_r - Dr_p \quad [8.20]$$

em que V é o volume de água nestas camadas no final do intervalo considerado e Dr_p é o volume de água perdido para as camadas abaixo da profundidade máxima z_m . V_r é uma entrada de água no sistema, calculada, no início de cada intervalo, em função do crescimento radicular estimado para esse intervalo. A sua introdução na rotina que calcula o balanço hídrico faz-se conjuntamente com a precipitação. O volume de água que, com exceção da ascensão capilar, aflui ao sistema designa-se pela variável PV definida por:

$$PV = P_e + V_r \quad [8.21]$$

A nova formulação de [8.18], depois de introduzida esta variável, é:

$$\Delta R = (PV - ET_c + R_g + A_c - Dr) \times \Delta t \quad [8.22]$$

8.3.2 Intervalos de tempo

O período de rega é discretizado de modo que, num mesmo intervalo de tempo Δt , não haja variação nos parâmetros do modelo ou nas funções que os definem. Deste modo, para a definição dos valores de Δt , são considerados os seguintes aspetos:

a) os parâmetros meteorológicos, os coeficientes culturais e a ascensão capilar consideram-se constantes durante intervalos com o passo de tempo P_t (dia, decêndio ou mês). Os primeiros porque são diretamente fornecidos com este passo de tempo, os segundos porque, sendo aplicados a ET_o , foram entretanto avaliados por interpolação para aqueles intervalos (vd. 5.0) e a ascensão capilar por conveniência de programação;

b) os parâmetros das funções lineares que traduzem o crescimento do sistema radicular e a variação da RFU (vd. 2.1.0), bem como os que definem a oportunidade e a quantidade de rega (vd. 4.1), mantêm-se constantes durante a mesma fase do ciclo vegetativo.

Nestas condições, o programa começa por discretizar o período de rega em intervalos de tempo constantes e iguais a P_t . Em seguida, identifica os intervalos em que há mudanças de fase do ciclo vegetativo, subdividindo-os em $n+1$ intervalos para n mudanças de fase. A cada intervalo é atribuído um código consoante ele corresponde a uma mudança de fase, a um valor de P_t ou a ambos os casos, ficando o programa apto a mudar os *inputs* conforme as características do intervalo considerado.

8.3.3 Variação temporal do volume de água armazenada no solo (R)

8.3.3.1 Equação geral

Entre duas regas consecutivas é $R_g=0$, e [8.20] simplifica-se para:

$$\Delta R = (PV - ET_c + A_c - Dr) \times \Delta t \quad [8.23]$$

As relações, que traduzem a variação temporal de R nas zonas de rendimento máximo e de carência hídrica, obtêm-se resolvendo esta equação diferencial. O processo de cálculo depende, como se verá, da zona considerada e da evolução da profundidade do sistema radicular.

8.3.3.2 Na zona de rendimento máximo

Nesta zona é: $Dr=0$, porque se está abaixo da capacidade de campo; $ET_c=ET_m$, visto que a cultura está numa situação de conforto hídrico; e $A_c=0$, porque não se estabelece o gradiente necessário para provocar a ascensão capilar. Assim, a equação [8.21] simplifica-se:

$$\Delta R = (PV - ET_m) \Delta t \quad [8.24]$$

Tomando diferenciais e integrando em ordem ao tempo, considerando as condições limites enunciadas para a zona de rendimento máximo, fica:

$$R(t) = R_i + (PV - ETm)t \quad [8.25]$$

em que R_i representa o volume de água armazenado pelo solo no início do intervalo.

8.3.3.3 Na zona de carência hídrica

Quando existe "stress" hídrico, Ac e ET variam com o teor de água no solo. Atendendo a [8.12] e [8.13], a equação geral de balanço [8.23] passa a escrever-se:

$$\Delta R = \left(PV - \frac{ETm}{R_{min}} R + G - \frac{G}{R_{min}} R \right) \Delta t \quad [8.26]$$

Ou, introduzindo o coeficiente de stress (Ks) definido em [8.13]

$$\Delta R = [PV - Ks \times ETm + G(1 - ks)] \Delta t \quad [8.27]$$

Considerando que num determinado intervalo de tempo Δt , sendo R_i o valor da reserva no início do intervalo e R o seu valor no final fica:

$$\Delta R = R_{k+1} - R_k \quad [8.28]$$

Sendo agora R calculado por:

$$R = R_i + [PV - Ks \times ETm + G(1 - ks)] \Delta t \quad [8.29]$$

No algoritmo utilizado pelo programa quando se está na zona de stress hídrico o cálculo é sempre feito com o intervalo de um dia ($\Delta t=1$) considerando que nesse dia o valor de Ks é constante e igual ao seu valor no início do dia. É uma simplificação porque é fácil verificar que quando o solo está a perder ou a ganhar água o Ks vai diminuindo ou aumentando linearmente. Esta simplificação permite utilizar diretamente a equação [8.29] na simulação do balanço hídrico quando se está em situação de stress hídrico, com a formulação discretizada mostrada na equação [8.30], considerando agora o índice k para o início do dia e o índice $k+1$ para o final do dia (início do dia seguinte).

$$R_f = R_i + PV - ks_i \times ETm + G(1 - ks_k) \quad [8.30]$$

Em que:

R_f = Reserva de água do solo no final do dia (início do dia seguinte)

R_i = Reserva de água no solo no início do dia

Ks_i = Coeficiente de stress, calculado em função da reserva de água no início do dia

PV = $Pe + Vr$ em que Pe é a precipitação efetiva ocorrida dia k e Vr é o volume de água que passa a estar acessível à planta devido ao crescimento radicular nesse dia.

ETm = Evapotranspiração máxima calculada para o dia k .

G = Potencial de ascensão capilar constante ou calculado para o dia k , quando foi indicado como variável no ficheiro de ascensão capilar

:

Quando a profundidade radicular é constante ($Vr=0$) a equação simplifica-se substituindo PV por Pe .

$$R_{k+1} = R_k + Pe - ks_k \times ETm + G(1 - ks_k) \quad [8.31]$$

8.4 Execução do balanço hídrico pelo modelo ISAREG

8.4.1 Rotina BALHID

A rotina BALHID controla a execução do balanço hídrico pelo programa ISAREG. Na Figura 8.3 apresenta-se um fluxograma desta rotina, onde interessa salientar

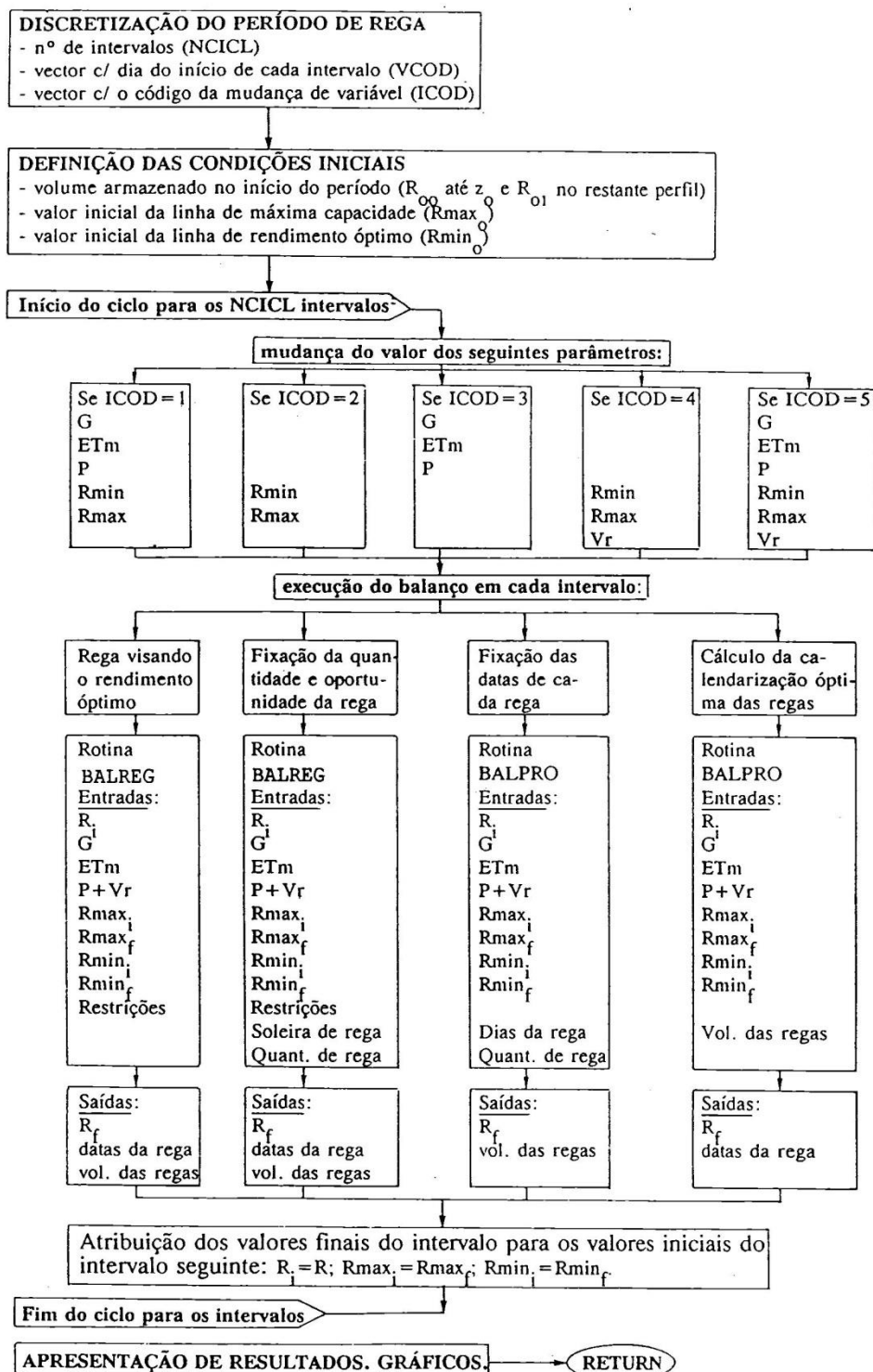


Figura 8.3 - Esquema genérico da rotina BALHID.

a) discretização do período de rega

Consideram-se dois vetores, o primeiro em que é armazenado o dia do início de cada intervalo (VCOD) e o segundo (ICOD) em que se guarda o código referente à mudança de parâmetro que provocou a sua definição. O programa efetua as seguintes operações para o seu preenchimento:

i) executa uma pesquisa em que, para cada dia, verifica se a cultura está na fase de crescimento radicular (cuja identificação é feita verificando se o valor de z para o início de uma fase é diferente do seu valor para o início da fase seguinte), se já decorreram os dias correspondentes ao passo de tempo P_t (vd. 3.0) ou se houve uma mudança de fase do ciclo vegetativo. Cada vez que uma daquelas situações se altera, tal dia é armazenado no vetor VCOD;

ii) atribui, aos elementos do vetor ICOD, o código característico do tipo de mudança registada, segundo a tabela seguinte:

$$x \Rightarrow 1 \quad y \Rightarrow 2 \quad x \cup y \Rightarrow 3 \quad x \cup z \Rightarrow 4 \quad x \cup y \cup z \Rightarrow 5$$

onde:

x - representa a mudança das variáveis meteorológicas G , ET_m e P_e (valores médios referentes ao dia, decêndio ou mês);

y - indica uma mudança na fase do ciclo vegetativo, portanto, a introdução de novos valores dos parâmetros que definem as linhas limite da reserva facilmente utilizável e de máxima capacidade de retenção (R_{min} e R_{max} respetivamente);

z - indica a existência de crescimento radicular, o que, como se referiu, obriga a considerar intervalos diários para definição de R_{min} e R_{max} .

b) Definição das condições iniciais

Ao primeiro intervalo é sempre atribuído o código 3, se o programa não identificou a existência de crescimento radicular, ou o código 5, em caso contrário. Ser-lhe-ão ainda associadas todas as condições iniciais, que são:

i) os valores iniciais da linha de máxima capacidade (R_{max_0}) e da linha limite da reserva facilmente utilizável (R_{min_0}), calculados para os valores p e de z , que constam do ficheiro de dados culturais, para o início da primeira fase do ciclo vegetativo (p_0 e z_0);

ii) os volumes de água armazenada na zona superficial (R_{00}) até à profundidade z_0 e nas camadas inferiores (R_{01}) entre z_0 e a profundidade máxima (z_m) calculam-se, transformando a percentagem da RU , fornecida pelo utilizador para aquelas duas zonas (vd. 4.1.0), em volume de água armazenado nas respetivas espessuras de solo.

c) Balanço da água no solo para os vários intervalos

Claramente identificada a discretização do período de rega e definidas as condições iniciais, a Figura 8.3 (onde os índices "i" e "f" se referem, respetivamente, às condições no início e no final do intervalo considerado) apresenta um ciclo que efetua sequencialmente o balanço hídrico, executado tantas vezes quantas o número de intervalos ($NCICL$).

O estudo da variação do teor de água no solo, em cada intervalo, faz-se chamando uma rotina, que depende do esquema de rega proposto (vd. Figura 5.1): BALREG para os esquemas tipo 1, 2, 5 e 6 e BALPRO para os esquemas 3 e 4.

Os parâmetros de entrada de cada uma destas rotinas referem-se às condições de água do solo no início do intervalo e aos elementos característicos do esquema de rega, restrições e ascensão capilar.

Os parâmetros de saída referem-se às condições hídricas do solo no final do período (entrada para o período seguinte) e aos elementos que dependem do esquema de rega escolhido.

Nos esquemas de rega tipos 1, 2, 5 e 6, a rotina BALREG, chamada pela rotina BALHID, fornece a esta:

- o número de regas durante o período considerado;
- o volume e data de cada rega e a evapotranspiração cultural verificada durante o respetivo intervalo.

Nos esquemas tipo 3 e 4, em que a rotina BALHID chama a rotina BALPRO, salienta-se:

- o dia da rega, como elemento de entrada da rotina;
- o volume da rega, como entrada ou saída para a rotina BALHID, dependendo da opção escolhida (vd. 4.1.3);
- as condições de humidade do solo no dia indicado para a rega, como saídas para a rotina BALHID.

A evapotranspiração cultural, a ascensão capilar e o teor de humidade do solo, no final do período, são saídas comuns da rotina BALHID para todos os esquemas de rega apresentados. Terminado o ciclo referente aos vários intervalos a considerar, a rotina BALHID apresenta:

- os resultados em função do esquema de rega escolhido, que são sempre apresentados no visor, podendo ser armazenados em ficheiro se, no início do programa, se indicou um código do ficheiro de saída diferente de "N";
- as saídas gráficas dos resultados.

8.4.2 Descrição da rotina BALREG

Para efeitos da execução do balanço hídrico do solo, considere-se o reservatório solo dividido em três zonas: a zona 1 corresponde a um teor de humidade do solo superior à capacidade de campo, as zonas 2 e 3 correspondem, respetivamente, às zonas de rendimento máximo e de carência hídrica (vd. Figura 8.2).

O esquema de cálculo da rotina BALREG é apresentado na Figura 8.4.

As equações utilizadas são identificadas na figura com o mesmo número do texto, pelo que as várias opções que nela se apresentam, relativamente à utilização de diferentes equações, correspondem à ocorrência das situações em que cada uma delas deverá ser utilizada, e que foram já convenientemente enumeradas (vd. 8.2).

O programa começa por identificar em que zona se situa o volume armazenado no início do período (R_i), sendo de considerar apenas as duas alternativas⁽²⁾ seguintes:

a) Se R_i se situa na zona 3

O cálculo é feito diariamente até se atingir o final do período (t_f) ou até que o volume armazenado no solo passe para a zona 2, o que pode acontecer:

- porque foi atingida a oportunidade de rega, sendo o volume da rega suficiente para que o volume armazenado ultrapasse a linha limite da reserva facilmente utilizável;
- porque a entrada de água no sistema (PV) excede a taxa máxima de extração (ET_m).

Nesta zona de carência hídrica são calculados, em cada dia, os valores da evapotranspiração real e da ascensão capilar, sendo sempre acumulados numa memória, cujo conteúdo constitui um elemento de saída da rotina.

Conhecidos, no final de cada dia, os valores da humidade no solo (em % de humidade e/ou em volume) e da relação ET_c/ET_m , verifica-se se a oportunidade de rega foi atingida. Em caso negativo, o cálculo repete-se para o dia seguinte (se ele pertencer ao intervalo considerado). Em caso afirmativo, o programa vai pesquisar a existência de restrições que possam afetar a rega. Se estas estão ativas, podem suceder duas situações (não explicitadas na Figura 8.4):

- inibição da rega, que acontecerá quando a restrição foi imposta para um intervalo e a rega atual não o respeita, ou quando, para esse período, se definiu um volume limitado já gasto em regas anteriores;

⁽²⁾ No dia inicial nunca é considerada a hipótese de o volume de água se encontrar na zona 1, visto que no final do período anterior o excesso de água é redistribuído [8.18] ou considerado perdido por percolação profunda.

- diminuição do volume calculado através da quantidade de rega porque, para esse período, a água disponível não é suficiente para executar a totalidade da rega (neste caso a regra é fornecer todo o volume ainda disponível).

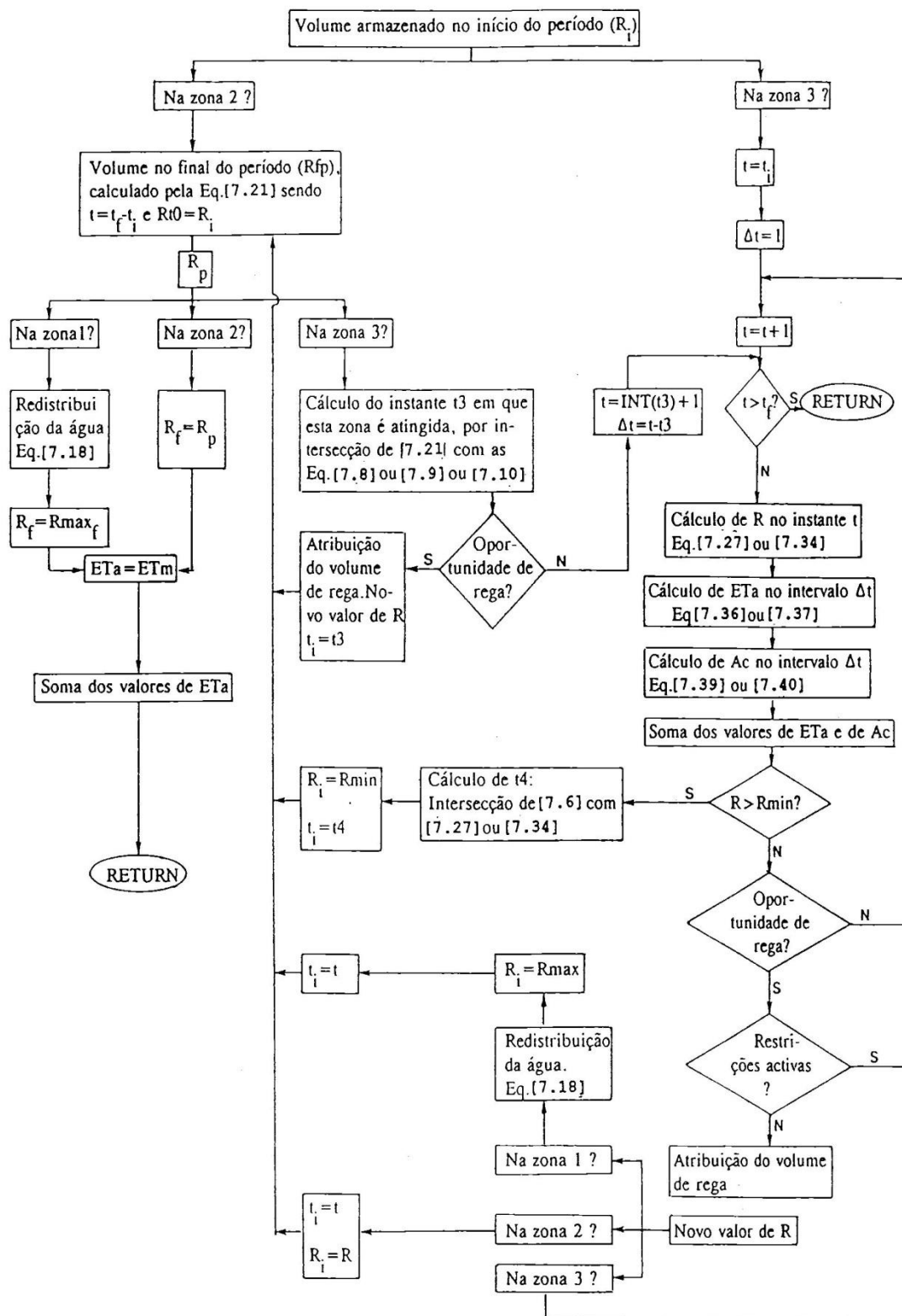
Atribuída (ou não) a rega, em função das restrições, o programa testa novamente a zona em que se encontra o volume de água armazenada no solo (R):

- se R está na zona 1, a rega terá sido exagerada, sendo necessário simular a redistribuição da água no solo, que se processa através do segundo balanço explicitado na equação [8.18], o que, evidentemente, só não corresponderá a perdas na fase de desenvolvimento radicular;
- se R está na zona 2, a rega foi suficiente para colocar a humidade do solo na zona de rendimento máximo, e o cálculo continua seguindo o - se R está na zona 2, a rega foi suficiente para colocar a humidade do solo na zona de rendimento máximo, e o cálculo continua seguindo o algoritmo utilizado para aquela zona a partir do dia atual, com as condições de humidade atingidas depois da rega;
- se R está na zona 3, a rega não foi suficiente para se atingir a zona de rendimento máximo e o cálculo deverá continuar a ser feito, diariamente, na zona de carência hídrica.

b) Se R_i se situa no zona 2

O programa vai calcular o volume R_p que ficará armazenado no final do período, admitindo que aquele se mantém sempre na zona de rendimento máximo. Três hipóteses são de considerar:

- se R_p está na zona 2, a hipótese estava correta, a reserva no final do período será $R_f = R_{fp}$ e a evapotranspiração durante o período iguala a evapotranspiração máxima ($ET_c = ET_m$).
- se R_p está na zona 1, o afluxo de água foi superior à extração ($PV > ET_m$), pelo que se deve proceder à redistribuição da água nas condições já indicadas (eq. [8.20]). Neste caso, o volume armazenado no final do período será o que corresponde à máxima capacidade de retenção do solo (R_{maxf});
- Se R_p está na zona 3, é necessário calcular o instante (t_3) em que é atingida a zona de carência hídrica e o volume armazenado correspondente. Até esse instante, o programa considera a evapotranspiração máxima. Se o esquema de rega visa o rendimento máximo, é este o instante em que é contabilizada a rega (caso as restrições não estejam ativas neste período). Quando as restrições estão ativas ou quando o esquema de rega é do tipo 2, passa-se ao cálculo diário na zona de carência hídrica.



8.4.3 Descrição da rotina BALPRO

A rotina BALPRO, que é chamada nos esquemas de rega tipo 3 e tipo 4, quando o dia de rega é um dado do problema, difere fundamentalmente do esquema da rotina anteriormente descrita (BALREG) nos seguintes aspectos:

- sendo a oportunidade da rega imposta pelo dia de rega, o teste para a consideração da rega consiste em saber se, no decorrer do programa, aquele dia já foi ultrapassado, sendo necessário prever, ao contrário da rotina BALREG, a existência de uma rega na Zona 2;
- ausência da consideração de restrições.

Na Figura 8.5 apresenta-se um esquema dos cálculos efetuados pela rotina BALPRO. Nesta figura interessa, sobretudo, sublinhar os aspectos em que o esquema de cálculo difere do utilizado nas rotinas anteriormente referidas.

A rotina começa por localizar a zona correspondente ao volume armazenado no início do intervalo seguindo para o cálculo diário se foi referenciada a zona 3, onde a rega será atribuída quando o seu dia for atingido.

Se foi referenciada a zona 2, testa-se a existência ou não de uma rega no intervalo considerado.

a) Se não está prevista mais nenhuma rega neste período, é seguido um esquema idêntico ao que a BALREG executa nesta zona, dado que não será considerada qualquer rega neste intervalo.

b) Quando, no período em causa, existe pelo menos mais uma rega, calcula-se o volume de água armazenada no dia de rega (R_r), supondo que até esse dia o volume de água se mantinha na zona 2, seguindo-se a localização deste valor:

- se está na zona 1, a rega seria desnecessária e faz-se, se for caso disso, a redistribuição da água pelas camadas inferiores, sendo portanto no final da rega $R=R_{max}$;
- se está na zona 2, o volume da rega é somado a R_r , obtendo-se um valor atualizado de R . Pode eventualmente haver necessidade de redistribuição se a rega for em excesso (caso em que será $R=R_{max}$);
- se está na zona 3, calcula-se o instante t_3 em que esta zona é atingida, seguindo depois o programa para o cálculo diário, onde será atribuída a rega quando o seu dia for atingido.

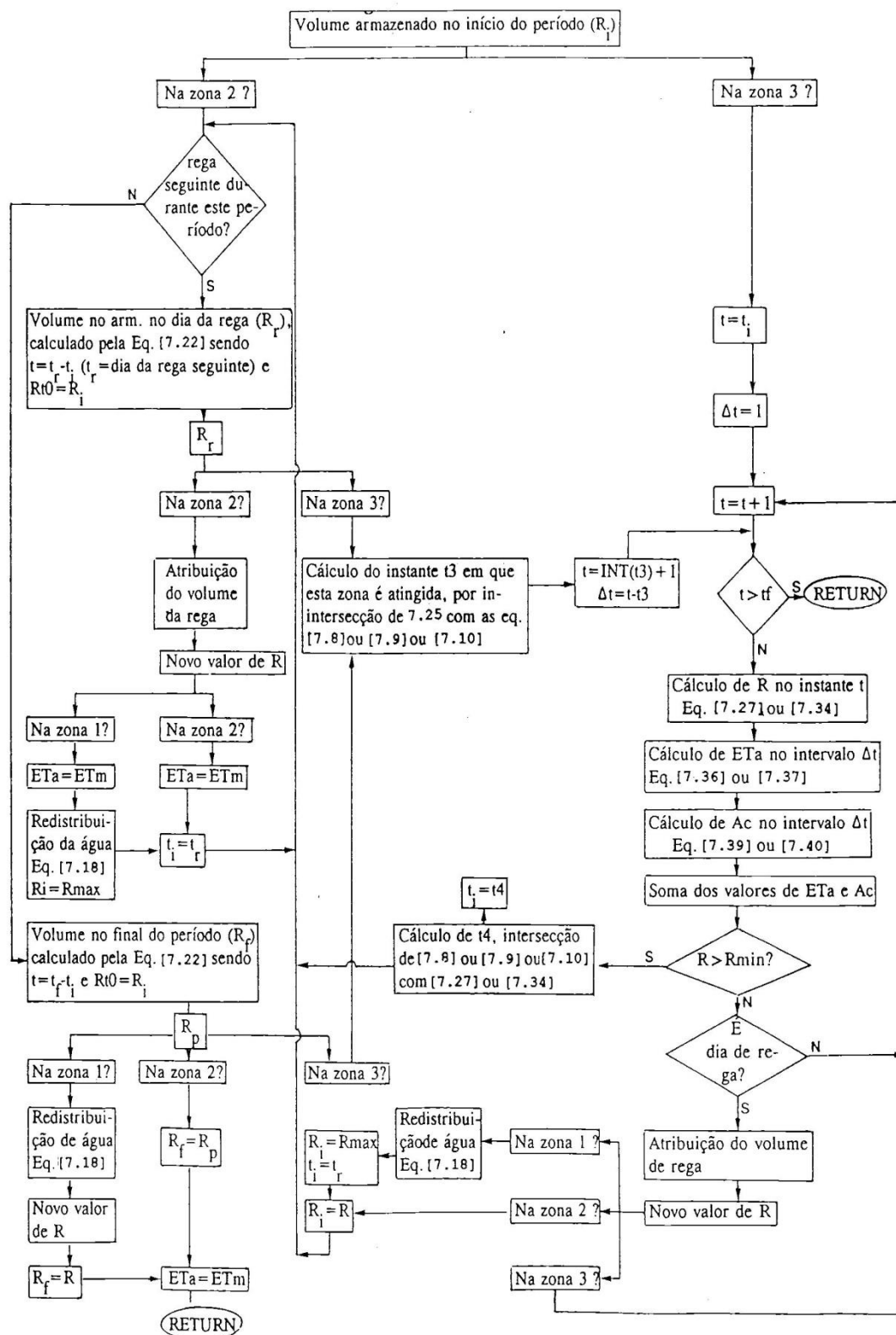


Figura 8.5 - Esquema genérico da rotina BALPRO..