

CARACTERIZAÇÃO DA SECA AGRONÔMICA ATRAVÉS DE NOVO MODELO DE BALANÇO HÍDRICO, NA REGIÃO DE LAGUNA, LITORAL SUL DE SANTA CATARINA

HUGO JOSÉ BRAGA¹ e NILSON AUGUSTO VILLA NOVA²

RESUMO - No presente trabalho estuda-se o problema da ocorrência da seca agronômica na região de Laguna, litoral Sul do Estado de Santa Catarina. A caracterização da seca agronômica efetivou-se pelo critério de "dias consecutivos" determinados através de novo modelo de balanço hídrico, denominado Balanço Hídrico Seriado Diário Modificado (BIIM). A partir das contagens dos "dias secos consecutivos" obtiveram-se as probabilidades teóricas de ocorrência de um dado número de dias secos consecutivos por períodos quinzenais e trimestrais, com ênfase para períodos quinzenais aos níveis de 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% e 80% de probabilidade teórica. Assim, os períodos que apresentaram maior severidade quanto a seca agronômica correspondem aos meses de primavera-verão, ou seja, outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março, mesmo para solos com uma capacidade de água disponível máxima (CAD) de 175mm.

CHARACTERIZATION OF AGRICULTURAL DROUGHT BY APPLYING A NEW MODEL OF WATER BALANCE IN THE REGION OF LAGUNA; SOUTHERN COST OF THE STATE OF SANTA CATARINA, BRAZIL

ABSTRACT - A study was carried out in order to identify the occurrence of the agricultural drought in the region of Laguna, on the southern coast of the State of Santa Catarina, Brazil. Agricultural drought was characterized by applying the criterion "consecutive drought-days" as determined by a new

1. Eng^o Agr^o, M.Sc., Empresa Catarinense de Pesquisa Agropecuária S.A. - EMPASC, Cx. Postal D-20, CEP 88000, Florianópolis - SC.
2. Eng^o Agr^o, Dr., Departamento de Física e Meteorologia-ESALQ, CEP 13400, Piracicaba - SP.

model of water balance referred to as the "Modified Daily Water Balance Model" (MWB). The theoretical probabilities of consecutive drought days for periods of 15 days, 1 month and 3 months were obtained by counting the consecutive drought days, placing emphasis on periods of 15 days at the following levels of theoretical probabilities: 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% and 80%. The data obtained suggested that the periods in which agricultural drought was more severe corresponded to the spring-summer period, i.e., October, November, December, January, February and March, even for soils with maximum water storage capacity of 175mm.

INTRODUÇÃO

A caracterização da seca agronômica, através de estudos de probabilidades, é de grande importância para se definir as melhores épocas de plantio, escolha de cultivares adequadas, avaliação de riscos, necessidades de água para irrigação, previsão de colheitas, enfim, como estudo básico para decisões de um melhor planejamento agrícola. Numerosos trabalhos têm sido conduzidos internacionalmente no sentido de se determinar o consumo e utilização de água pelas plantas, seu armazenamento no solo e disponibilidade. Entretanto, nenhum dos métodos atualmente disponíveis de medida de umidade do solo é satisfatório para a rotina de campo usada pelo agricultor. Mesmo quando em trabalhos de pesquisa, os métodos em geral são dispendiosos e consomem muito tempo de operação e interpretação, sendo necessárias muitas amostras para a confiabilidade estatística. Essas razões e o progresso atingido na determinação e estimativa da evapotranspiração conduziram ao desenvolvimento da técnica do balanço hídrico, como um método de se estimar a umidade do solo. Essa metodologia apresenta baixo custo dos equipamentos envolvidos, simplicidade de medidas e razoável precisão dos resultados. A utilização dos métodos climatológicos de balanço de água no solo para estimativa das necessidades de irrigação e os estudos das ocorrências de secas têm facilitado suas determinações, principalmente em áreas de grandes extensões e carentes de informa-

ção e recursos. O conceito de planejamento de irrigação e de ocorrência de dias secos, sob o aspecto agrícola, usando dados climáticos, não é novo, THORNTHWAITE (1946), PENMAN (1949a, 1949b e 1952), VAN BAVEL & WILSON (1952), VAN BAVEL (1953), BAVEL (1954), MATHER (1954), PRUITT & JENSEN (1955), PIERCE (1960), MORETTI (1956), JENSEN *et al.* (1971), DAMARIO & ESCALES (1971) e SCARDUA (1979). O Zoneamento Agroclimático do Estado de Santa Catarina, realizado em 1978, através do método do balanço hídrico de THORNTHWAITE & MATHER (1955), mostrou que o litoral sul desse Estado apresenta isolinhas de deficiência hídrica anual de até 125mm, para um solo com capacidade máxima de armazenamento de água de 75mm. Considerando que essa característica assume papel importante na limitação das atividades agrícolas, principalmente nas épocas de primavera e verão, fizeram-se necessários estudos mais detalhados sobre balanço hídrico nessa área, pois os clássicos balanços hídricos mensais realizados em termos de normais climatológicos não fornecem as informações desse processo. O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de caracterizar a ocorrência da seca, sob o aspecto agrícola, através da determinação das probabilidades (risco) de ocorrência da seca agrônômica, pelo critério de "dias secos consecutivos" por períodos quinzenais, mensais e trimestrais, na região de Laguna, litoral sul do Estado de Santa Catarina.

MATERIAL E MÉTODOS

A área abrangida pelo estudo localiza-se na região de Laguna, litoral sul do Estado de Santa Catarina, constituindo-se de planícies litorâneas, com aproximadamente 300.000 ha. As informações meteorológicas utilizadas para essa caracterização constituem-se de 26 anos (1955-1980) de dados diários de precipitação, bem como médias mensais de temperatura do ar, insolação, umidade relativa, velocidade do vento e evaporação de "Piché", referentes à Estação Meteorológica de Laguna, pertencente ao 8º DISME/INMET-MA, definida pela latitude Sul de 28°29'23", longitude Oeste de 48°48'12" e pela altitude de 30,9 metros. Procedeu-se o levantamento e amostragem de quatro das

principais unidades de solo ocorrentes na região de Laguna, com a intenção de se ter uma idéia da capacidade de água disponível máxima (CAD) que os mesmos podem reter. Esses solos foram amostrados em três profundidades básicas de 15,45 e 80cm, representando os perfis de 0 a 30 cm, de 30 a 60 cm e de 60 a 100 cm, respectivamente. Determinou-se a densidade global, através de anéis volumétricos (de UHLAND) e, através de amostras deformadas, definiram-se as curvas características de água para cada profundidade e solo estudado (relação $\Psi_m \times \theta$), pela seguinte expressão:

$$CAD = \int_0^{z=H} \int_{\theta_{pm}}^{\theta_{cc}} d\theta \cdot dz \cong (\theta_{cc} - \theta_{pm}) H \quad (1)$$

onde CAD é a capacidade de água disponível máxima que o solo pode reter em mm de altura d'água; θ_{cc} e θ_{pm} são as umidades por volume nos limites da capacidade de campo e no ponto de murchamento, respectivamente, em cm^3/cm^3 e H é a profundidade da camada de solo considerada em mm. Adotaram-se as tensões de umidade do solo de 1/3 de atmosfera para caracterizar a capacidade de campo para os solos argilosos e 1/10 de atmosfera para os solos arenosos e de 15 atmosfera para o Ponto de Murchamento, conforme HILL, citado por GRAWELL (1968) e MEDINA (1975). Como, também, a água disponível no solo para o normal desempenho das funções fisiológicas das plantas é função da demanda atmosférica e da espécie vegetal, utilizou-se a seguinte expressão para caracterizar a ÁGUA DISPONÍVEL EFETIVA (ÁGUA LIVREMENTE DISPONÍVEL):

$$ADE = P \cdot CAD \quad (2)$$

sendo ADE a Água Disponível Efetiva para a planta em mm; P a parte fracional da CAD prontamente disponível, que é a função da demanda atmosférica (ETP) e da espécie vegetal (culturas do grupo 4), de acordo com os critérios preconizados pela FAO (1979). O FATOR P, por outro lado, pode ser também definido como a fração da CAD, na qual a condição de EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL (ETR) mantém-se igual a EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL ou de REFERÊNCIA (ETP e ETO). Os trabalhos da FAO (1979) utilizam a

chamada Evapotranspiração Máxima ou Demanda Ideal (ET_m) como elemento indicativo da demanda atmosférica. Entretanto, por simplificação e conveniência, adotamos a evapotranspiração potencial ou de referência (ETP ou ETo). Desenvolveu-se uma equação exponencial para exprimir o fator P em função da ETP, conforme os valores do grupo 4 (FAO, 1979) com a finalidade de facilitar a contabilização balanço hídrico, já que o mesmo foi realizado com auxílio do computador. Ficando assim expressa:

$$P = 1,0454 \cdot \exp(-0,1015765 \text{ ETP}) \quad (3)$$

$$(r^2 = 0,98)$$

Adotou-se a Evapotranspiração Potencial - ETP ou de Referência ETo média diária para cada mês do calendário e para cada mês da série de 26 anos estudados (1955 - 1980); devido as dificuldades inerentes à medida e/ou estimativa da ETP para períodos diários. A estimativa da ETP foi obtida pela adaptação e simplificação do método de PENMAN (1948), segundo metodologia utilizada por VILLA NOVA & OMETTO (1981) com modificações no termo energia. Assim, definiram-se equações de estimativa da ETP média diária mensal, para cada mês do calendário, com utilização da Evaporação de "Piché".

A caracterização da seca agrônômica efetivou-se pelo desenvolvimento de um método de balanço de água no solo, através da junção de diversos métodos, teorias e critérios existentes, como os utilizados por VAN BAVEL (1952), VAN BAVEL (1953), THORNTHWAITE & MATHER (1955), DENMEAD & SHAW (1962) e FAO (1979). Esse método, denominado Balanço Hídrico Seriado Diário Modificado (BHM), leva em consideração não apenas a capacidade de água disponível máxima do solo, mas também a planta (cultura) e a demanda atmosférica (ETP), definida através da ÁGUA DISPONÍVEL EFETIVA (ADE). O BHM, à semelhança daquele utilizado por THORNTHWAITE (1948) e THORNTHWAITE & MATHER (1955), baseia-se em uma contabilização entre o que entra de água para o solo, na forma de precipitação, e o que sai na forma evapotranspiração potencial. A quantidade de água que por ventura excedeu os limites da CAD, foi considerada como excesso, sendo perdida por drenagem profunda ou deflúvio superficial (Run-off). Considerou-se a ETP = ETR até o limite de utilização da água do solo

definido pela equação (2). O limite que definiu a água remanescente no solo, abaixo da qual $ETR < ETP$ foi chamado de ARMAZENAMENTO CRÍTICO e definido matematicamente pela seguinte expressão:

$$AR_{Crítico} = (1 - P) CAD \quad (4)$$

Assim, toda água solicitada através da demanda atmosférica, definida pela ETP, é prontamente atendida até atingir o armazenamento crítico, ou toda ADE ter sido consumida. Dessa forma, o secamento ou diminuição da água no solo segue um modelo retilíneo até atingir o $AR_{Crítico}$. Abaixo desse limite, assume-se que a diminuição da água no perfil do solo apresenta uma queda exponencial, igual a adotada por THORNTHWAITE & MATHER (1955). No trabalho original desses autores, a relação entre a demanda atmosférica, definida pela coluna negativo acumulado, ou seja, somatório de $(P - ETP)$ negativo e o armazenamento, apresentado através de tabelas para diversas CAD, é dada pela seguinte expressão:

$$ARM_T = CAD \cdot \exp(bN_T) \quad (5)$$

onde, ARM_T = armazenamento da água no solo dado pela expressão de THORNTHWAITE & MATHER (1955), em mm; N_T = negativo acumulado, ou seja, somatória da diferença negativa entre $P - ETP$, correspondente, em mm; b = coeficiente angular, valor negativo, função da CAD. Nesse modelo, vê-se que o esgotamento da água segue uma curva exponencial negativa, desde o valor inicial da demanda (negativo acumulado). De acordo com o modelo utilizado no presente trabalho, assumiu-se que o decaimento ou diminuição do armazenamento é linear até um valor negativo acumulado, correspondente ao armazenamento crítico, ou seja, depois da ADE ter sido consumida e, abaixo do qual, o processo torna-se exponencial, como o modelo original de THORNTHWAITE & MATHER(1955). O valor do FATOR P , como já vimos, é uma quantidade dependente do valor médio diário da demanda (ETP) e do tipo de cultura, conforme critérios da FAO(1979). A Fig. 1, apresenta um gráfico representativo da relação entre o armazenamento da água no solo e o negativo acumulado, para 50 mm de CAD, pelo modelo de

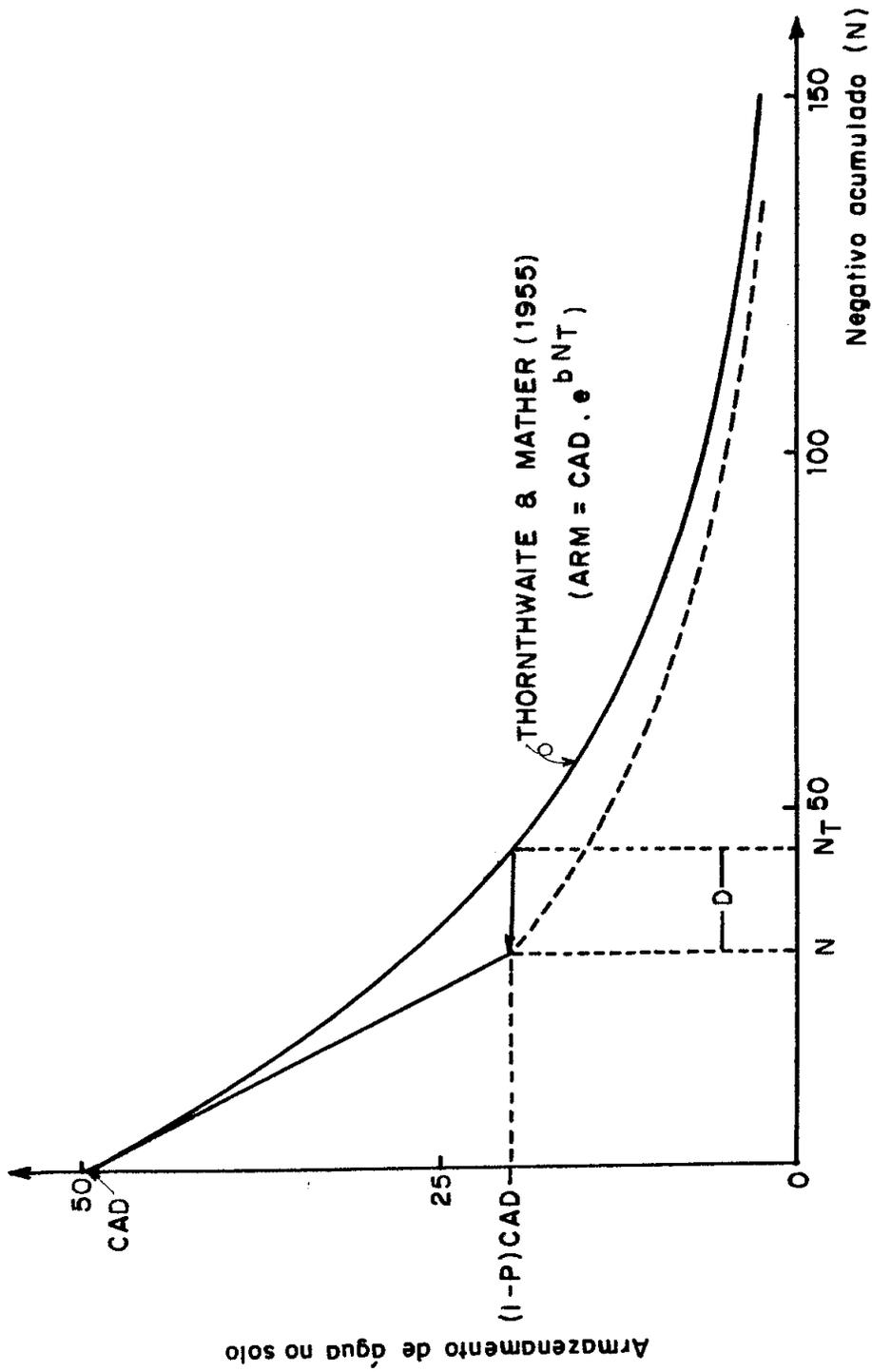


FIGURA 1. Relação entre o Armazenamento da Água no Solo e o Negativo Acumulado (N), pelo método de THORNTHWAITE e MATHER (1955) e o modificado neste trabalho, para uma CAD de 50 mm.

THORNTIWAITE & MATHER (1955) e o modificado nesse trabalho. O armazenamento da água no solo e o negativo acumulado, referente a parte retilínea ($ARM_{(1)}$) são dados pelas seguintes expressões:

$$ARM_{(1)} = CAD - N \quad (6)$$

e

$$N = CAD - ARM_{(1)} \quad (7)$$

Quando: $ARM \geq ARM_{Crítico} = (1 - P) CAD$

ou

$$N \leq P.CAD$$

Sendo N, o valor do negativo acumulado (mm); CAD = capacidade de água disponível máxima do solo (mm). Referente a parte curvilínea, o armazenamento de água no solo é dado pela expressão:

$$ARM_{(2)} = CAD \cdot \exp(bN_T) \quad (8)$$

Quando: $ARM < ARM_{Crítico} = (1 - P) CAD$

ou

$$N > P.CAD$$

Onde N_T corresponde ao negativo acumulado e utilizado na equação original exponencial de THORNTIWAITE & MATHER (1955). Como podemos ver pela Fig. 1, o N_T para um mesmo armazenamento, em comparação com a equação (6), tem um somativo acumulado maior, por serem modelos diferentes. Dessa forma, no $ARM_{Crítico}$, o valor do armazenamento calculado pela expressão (6) e (8) tem a mesma magnitude, apenas diferem no somatório dos valores de N e N_T . Isso se deve ao fato de que no modelo idealizado pela equação original (8) tem decaimento ou diminuição da água no solo mais lento, isto é, acumulando um valor mais elevado de negativo acumulado N, quando comparado com $ARM_{(1)}$ (retilíneo), até o $ARM_{Crítico}$. Assim temos:

$$N_T = N + D \quad (9)$$

Onde D, é uma diferença de negativo acumulado entre as expressões $ARM_{(2)}$ e $ARM_{(1)}$. No limite correspondente ao $ARM_{\text{Crítico}}$, $ARM_{(1)} = ARM_{(2)}$, ou seja:

$$CAD - N = CAD \cdot \exp(bN_T) \quad (10)$$

Isolando da expressão (10), a variável N_T e sabendo-se que no $ARM_{\text{Crit.}}$ o negativo acumulado N é igual a P.CAD, temos:

$$N_T = \frac{\ln \left\{ \frac{(CAD-N)}{CAD} \right\}}{b}$$

ou

$$N_T = \frac{\ln \left\{ \frac{(CAD-P.CAD)}{CAD} \right\}}{b} = \frac{\ln (1 - P)}{b} \quad (11)$$

pela expressão (9) sabemos que:

$$D = N_T - N \text{ e no } ARM_{\text{Crítico}}, N = P.CAD$$

Logo, $D = N_T - P.CAD$ e como N_T é definido pela expressão (11), o valor de D, no ponto crítico fica assim definido:

$$D = \frac{\ln (1 - P)}{b} - P.CAD \quad (12)$$

$$\text{Assim, } N_T = N + D = N + \frac{\ln (1 - P)}{b} - P.CAD \quad (13)$$

Substituindo (13) em (8), vem:

$$ARM_{(2)} = CAD \cdot \exp \left\{ b \left[N + \frac{\ln (1 - P)}{b} - P.CAD \right] \right\} \quad (14)$$

Isolando o valor N de (14), temos:

$$N = \frac{\ln \left[\frac{ARM_{(2)}}{CAD} \right] - \ln (1 - P) + b \cdot P.CAD}{b} \quad (15)$$

As equações (14) e (15) definem os valores correspondentes do armazenamento de água no solo e do negativo acumulado N, quando:

$$\text{ARM} < (1 - P) \text{CAD} = \text{ARM}_{\text{Crítico}}$$

ou

$$N > P \cdot \text{CAD}$$

Portanto, no BHM existem duas expressões gerais que definem o valor do armazenamento de água no solo, ou seja, são definidas pelas equações (6) e (8), sendo seus limites de abrangência definidos pelos valores de ETP média diária, CAD e fator P. O valor do coeficiente angular b do modelo de THORNTHWAITE & MATHER (1955) é função do valor da CAD utilizada. Através da análise e estudo estatístico pela análise de regressão dos valores tabelados dos diversos CADs, encontrou-se uma relação entre CADs e b_s , da seguinte forma: a CAD = 100 mm, possui um $b = -0,0102559384$ e para valores abaixo desse CAD, existe uma relação inversa, isto é, para a CAD = 50 mm o b correspondente é igual a $-0,0205118768$. Para a CAD = 200 mm, possui um $b = -5,0653931 \times 10^{-3}$. Assim, para os CADs entre 100 e 200, podem ser encontrados os correspondentes valores dos coeficientes angulares (b), por uma simples relação inversa.

O conceito de seca agronômica aqui adotado, é o mesmo preconizado por VAN BAVEL (1953), isto é, a condição onde ha uma insuficiente disponibilidade de água na zona das raízes, para promover um ótimo crescimento e desenvolvimento da planta. Dessa forma, pelo balanço hídrico seriado diário modificado (BHM), toda vez que os limites de umidade do solo atingiam valores abaixo do $\text{ARM}_{\text{Crítico}}$, caracterizava-se como um "dia seco".

"DIA SECO", corresponde ao período de 24 horas no qual o armazenamento de água no solo encontra-se abaixo do $\text{ARM}_{\text{Crit.}}$, ou a ADE ter sido consumida, no qual o processo de crescimento, desenvolvimento e produção final da planta (cultura) é apreciavelmente diminuído. Pela contagem de "dias secos" obtidos através do BHM, obteve-se as frequências e frequências acumuladas

complementares ou probabilidade empírica de ocorrência da seca agrônômica por períodos quinzenais, mensais e trimestrais. Os "dias secos" foram computados em seqüências, como forma de melhor se estudar sua severidade. Os "dias secos consecutivos" ou seqüências foram agrupados em classes, dependentes do intervalo de tempo escolhido, isto é, quinzenal, mensal e trimestral e obtidas suas freqüências acumuladas complementares ou probabilidades empíricas. Para estudo quinzenal foram utilizadas 9 classes, sendo: zero, 1-2, 3-4, 5-6, 7-8, 9-10, 11-12, 13-14 e 15-16. Para o período mensal foram: zero, 1-3, 4-6, 7-9, 10-12, 13-15, 16-18, 19-21, 22-24, 25-27 e 28-31. Em termos trimestrais, foram adotadas 11 classes: 1-10, 11-19, 20-28, 29-37, 38-46, 47-55, 56-64, 65-73, 74-83, 84-92. Portanto, para cada período quinzenal de cada mês do calendário, para cada mês e trimestre, foram determinadas as freqüências e as probabilidades empíricas de ocorrência de cada classe e do número mínimo de "dias secos consecutivos" dado pelo limite inferior de cada classe, para as diversas CADs utilizadas. Procedeu-se, também, a verificação do ajustamento da distribuição de probabilidades empíricas da variável aleatória, número mínimo de dias secos consecutivos, à curva normal, conforme procedimentos anteriormente adotados por SCARDUA (1979). Como houve um bom ajustamento à curva normal, pode-se traçar em papel de probabilidade para cada período quinzenal, mensal e trimestral e cada quantidade de água disponível máxima (CAD), os gráficos das retas que relaciona o número mínimo de dias secos consecutivos e as probabilidades teóricas de sua ocorrência. Através dessas retas, foram obtidos os dados necessários para o traçado de gráficos que relacionam os números mínimos de dias secos consecutivos esperados aos níveis de probabilidade de 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% e 80% em cada quinzena e para cada capacidade de água disponível máxima (CAD).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As capacidades de água disponíveis máximas encontradas para os quatro solos e camadas foram as seguintes, em ordem

crescente: 10,6mm; 21,3mm; 22,3mm; 37,1mm; 39,3mm; 50,7mm ; 56,0mm; 90,1mm; 104,4mm; 108,8mm; 161,9mm e 193,0mm. Para a devida representação do balanço hídrico, essas diversas quantidades de água disponível máxima, foram agrupadas em cinco classes: para as CADs de 10,6, 21,3 e 22,3mm, adotou-se a CAD de 18mm; para 37,1 e 39,3mm, adotou-se o valor de 38mm; para 50,7 e 56,0mm, o valor de 50mm; para 90,1, 104,4 e 108,8mm, o valor de 100mm e para 161,9 e 193,0, o valor de 175mm.

As equações de estimativa da ETP, pelo método simplificado, ficaram assim definidas:

a) Mês de janeiro

$$ETP = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} Q_0(0,04427 + 0,22013 \frac{n}{N} + 0,03380 \sqrt{e_a}) + 0,41Ep \quad (16)$$

b) Mês de fevereiro

$$ETP = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} Q_0(0,04033 + 0,2084 \frac{n}{N} + 0,03461 \sqrt{e_a}) + 0,41Ep \quad (17)$$

c) Mês de março

$$ETP = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} Q_0(0,00262 + 0,19140 \frac{n}{N} + 0,04269 \sqrt{e_a}) + 0,41Ep \quad (18)$$

d) Mês de abril

$$ETP = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} Q_0(-0,01762 + 0,13493 \frac{n}{N} + 0,04913 \sqrt{e_a}) + 0,41Ep \quad (19)$$

e) Mês de maio

$$ETP = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} Q_0(-0,04299 + 0,07193 \frac{n}{N} + 0,05565 \sqrt{e_a}) + 0,41Ep \quad (20)$$

f) Mês de junho

$$ETP = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} Q_0(-0,03504 + 0,01839 \frac{n}{N} + 0,05431 \sqrt{e_a}) + 0,41Ep \quad (21)$$

g) Mês de julho

$$ETP = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} Q_0(-0,02200 + 0,03003 \frac{n}{N} + 0,05194 \sqrt{e_a}) + 0,41E_p \quad (22)$$

h) Mês de agosto

$$ETP = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} Q_0(0,03941 + 0,08181 \frac{n}{N} + 0,03673 \sqrt{e_a}) + 0,41E_p \quad (23)$$

i) Mês de setembro

$$ETP = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} Q_0(0,06758 + 0,14559 \frac{n}{N} + 0,02937 \sqrt{e_a}) + 0,41E_p \quad (24)$$

j) Mês de outubro

$$ETP = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} Q_0(0,06600 + 0,18071 \frac{n}{N} + 0,03045 \sqrt{e_a}) + 0,41E_p \quad (25)$$

l) Mês de novembro

$$ETP = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} Q_0(0,05564 + 0,19818 \frac{n}{N} + 0,03355 \sqrt{e_a}) + 0,41E_p \quad (26)$$

m) Mês de dezembro

$$ETP = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} Q_0(0,05547 + 0,21068 \frac{n}{N} + 0,03263 \sqrt{e_a}) + 0,41E_p \quad (27)$$

Onde:

Δ = tangente à curva de saturação, função da temperatura média mensal - mmHg/°C (Tabela da FAO, 1979);

γ = constante psicométrica, aproximadamente 0,6mmHg/°C (psicômetro comum);

Q_0 = radiação extra-terrestre em mm/dia, função do mês e latitude (Tabela da FAO, 1979);

$\frac{n}{N}$ = razão de insolação;

n = insolação mensal observada no heliógrafo da estação meteorológica, em horas e décimos;

N = insolação ou brilho solar teórico máximo, função da época

do ano (mês) e latitude (valores tabelados - FAO, 1979);

e_a = pressão atual de vapor d'água; média mensal em mmHg calculada pela expressão: $e_a = \frac{UR\% \cdot e_s}{100}$ (mensal);

e_s = pressão de saturação do vapor d'água, função da temperatura média mensal;

UR% = umidade relativa média mensal em percentagem;

EP = evaporação de "Pichê", média diária mensal, em mm/dia;

ETP = evapotranspiração potencial média diária de cada mês em milímetros de evaporação equivalente (mm/dia).

Pelo intermédio das equações de 16 a 27, calculou-se a ETP média diária para cada mês do calendário e para cada ano da série de 26 anos, sendo tais valores utilizados no computo do balanço hídrico diário seriado modificado (BHM).

Nas Figs. de 2 a 5, estão representadas as retas que relacionam a ocorrência de um número mínimo de dias secos consecutivos e a sua probabilidade teórica de ocorrer para cada quinzena de cada mês do calendário, para cada mês e trimestre do ano e para a capacidade de água disponível máxima (CAD) de 18mm*. O número mínimo de dias secos consecutivos foi determinado, inicialmente, pelo limite inferior das distribuições das frequências observadas do número de dias secos consecutivos, de terminados pelo BHM.

Nas Figs. de 6 a 10 foram traçados gráficos que relacionam o número mínimo de dias secos consecutivos para cada quinzena de cada mês, para cada CAD estudada, aos níveis de probabilidade teórica de 10%, 20%, 40%, 50%, 60% e 80%. Isso quer dizer que, tomando-se como exemplo a CAD de 18mm na 1ª quinzena do mês de janeiro, há 80% de probabilidade teórica de se obter um número mínimo de dias secos consecutivos igual a 5,4 dias ou, de outra forma, que há uma probabilidade teórica de ocorrer um número mínimo de dias secos consecutivos igual a

* As demais figuras contendo as retas correspondentes às CADs de 38, 50, 100 e 175mm foram aqui suprimidas devido ao seu grande número.

CAD = 18 mm

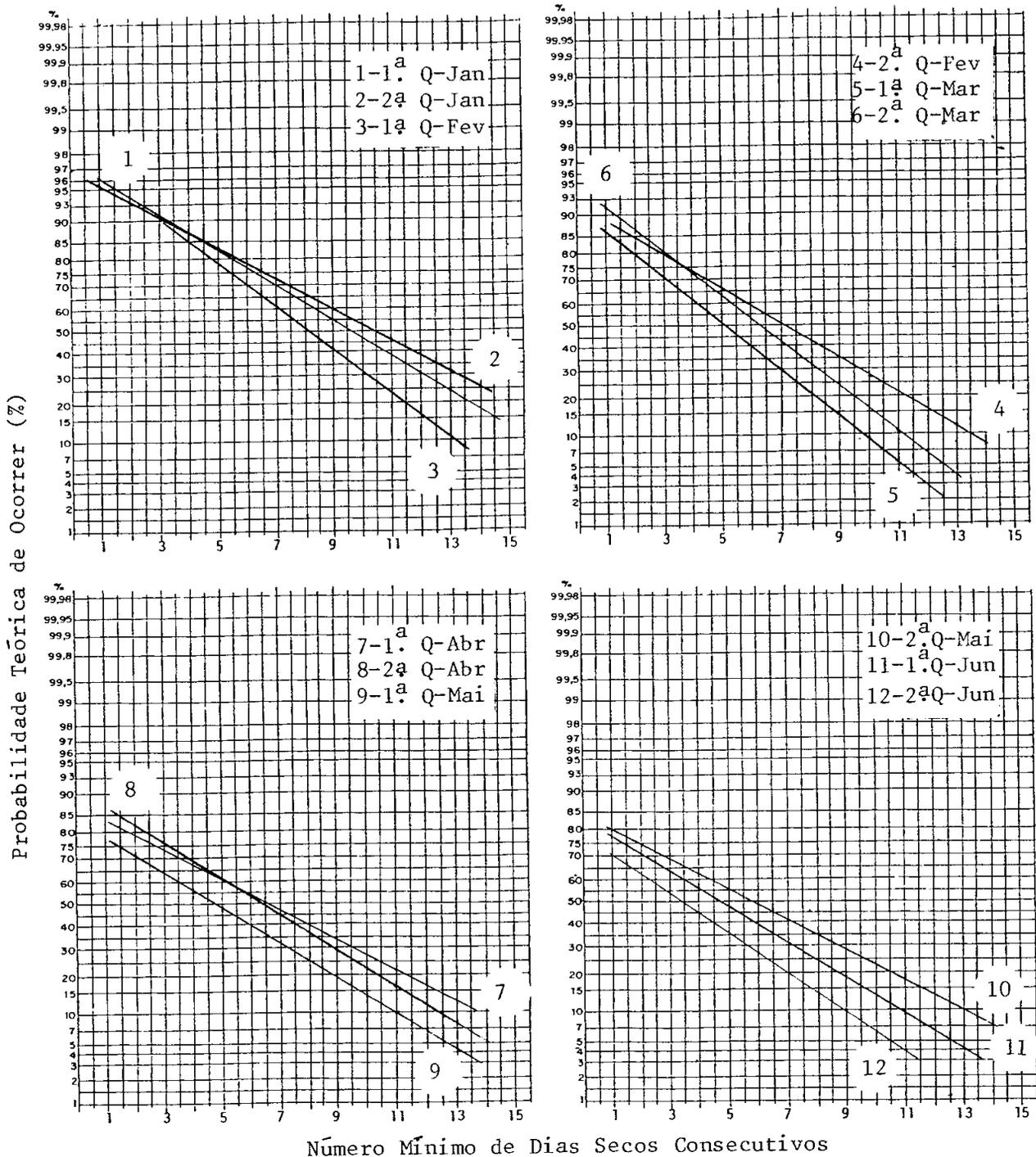


FIGURA 2. Probabilidade Teórica de Ocorrer um dado Número Mínimo de Dias Secos Consecutivos, em cada quinzena de cada mês do calendário e para 18 mm de Capacidade de Água Disponível Máxima - CAD.

CAD = 18 mm

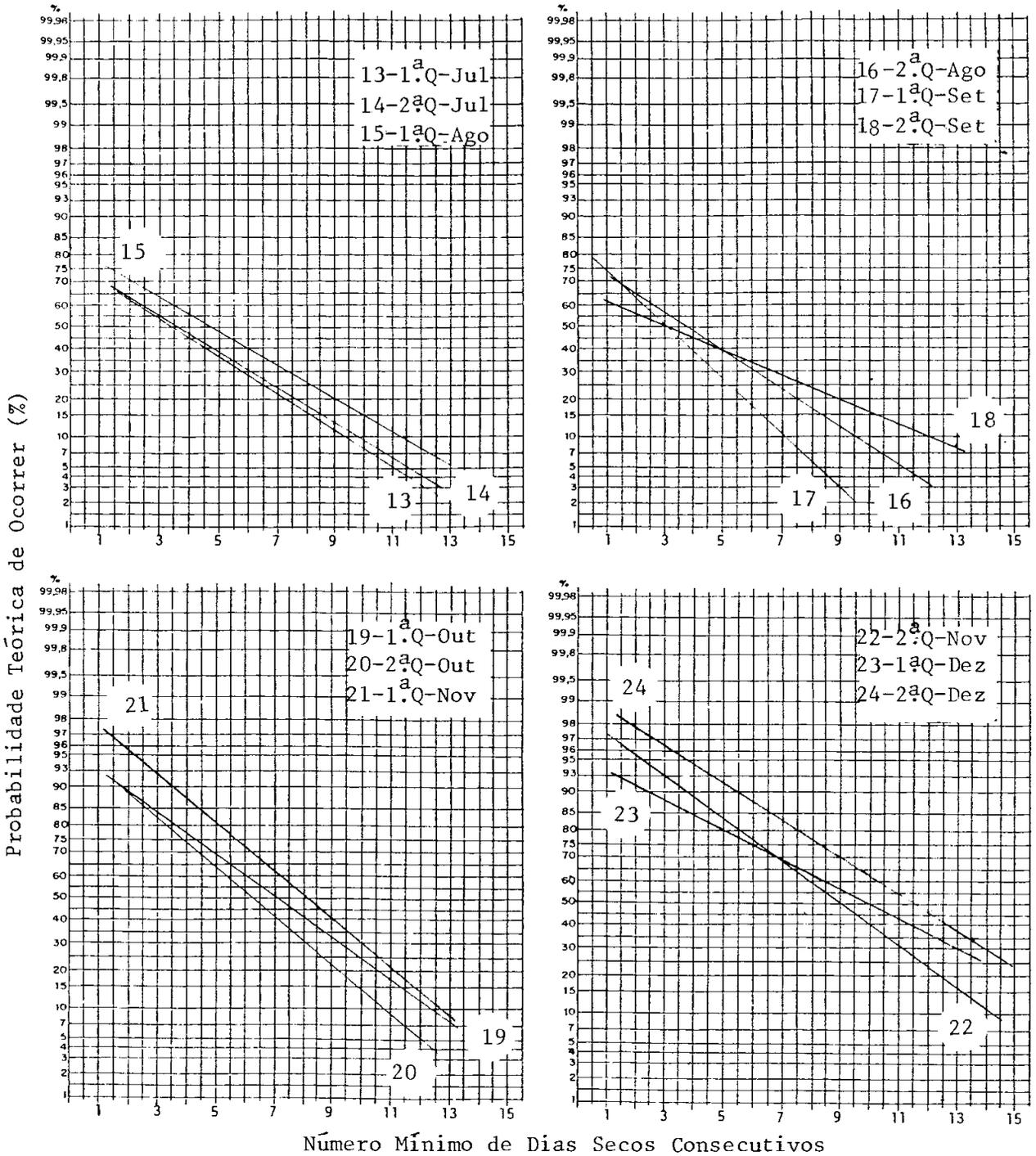


FIGURA 3. Probabilidade Teórica de Ocorrer um dado Número Mínimo de Dias Secos Consecutivos, em cada Quinzena de cada mês do calendário e para 18 mm de Capacidade de Água Disponível Máxima - CAD.

CAD = 18 mm

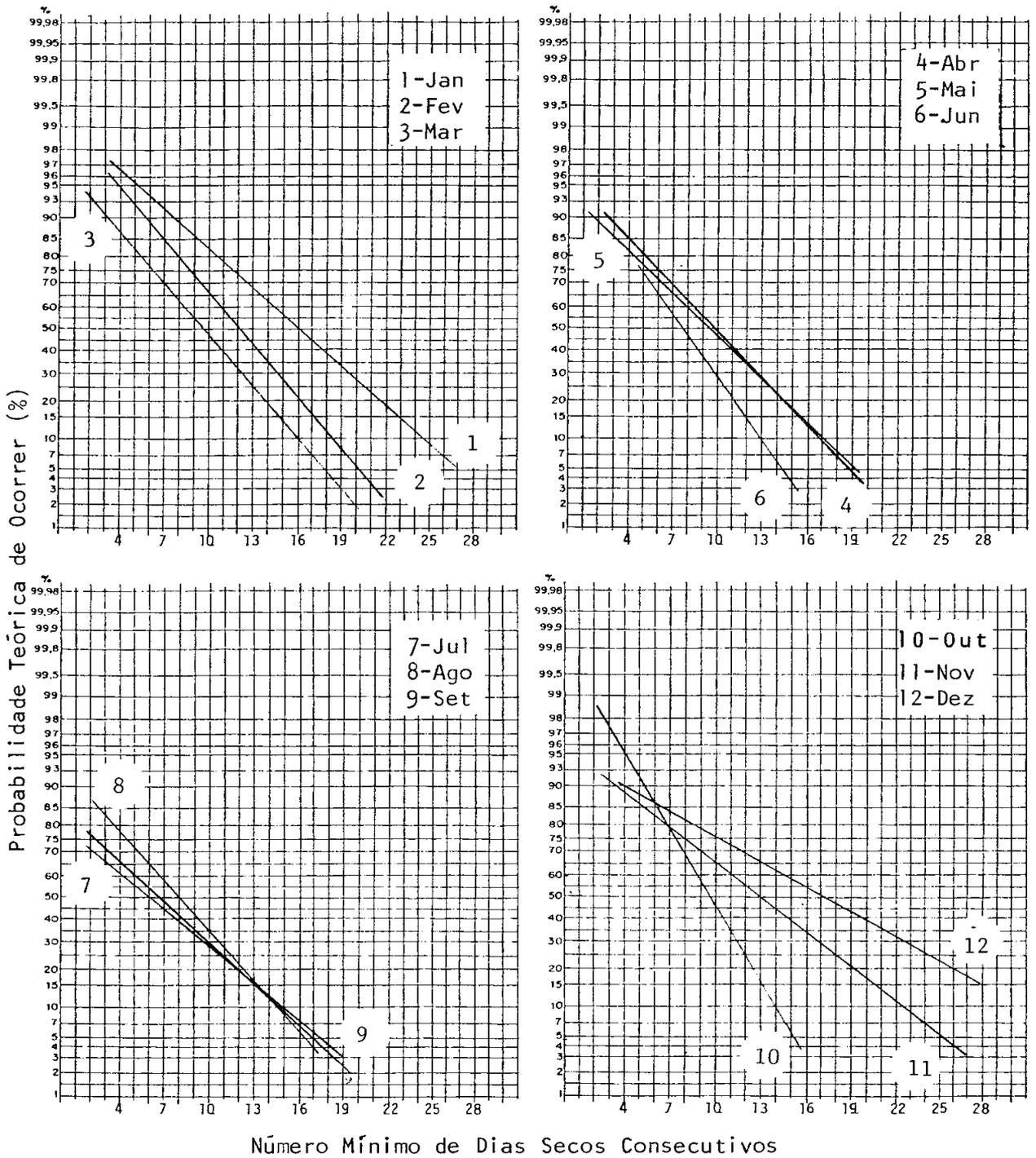
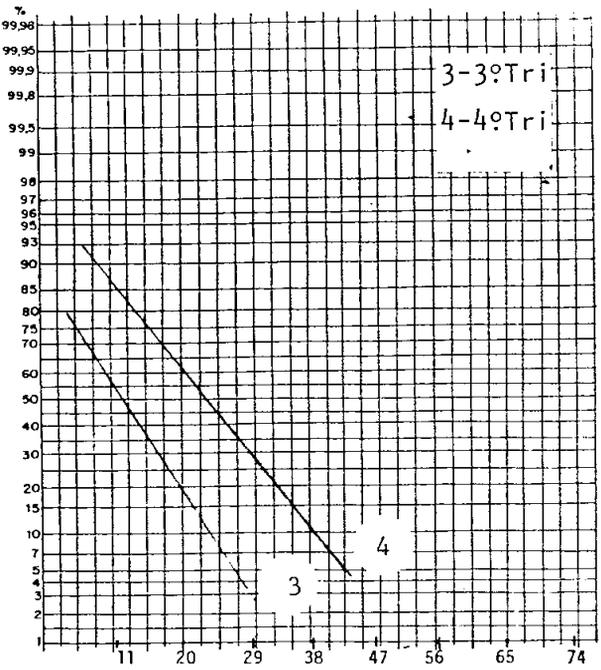
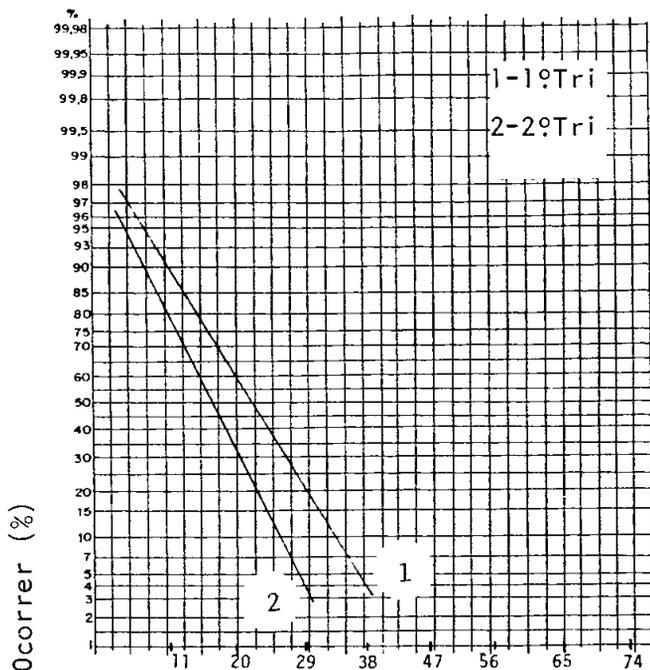
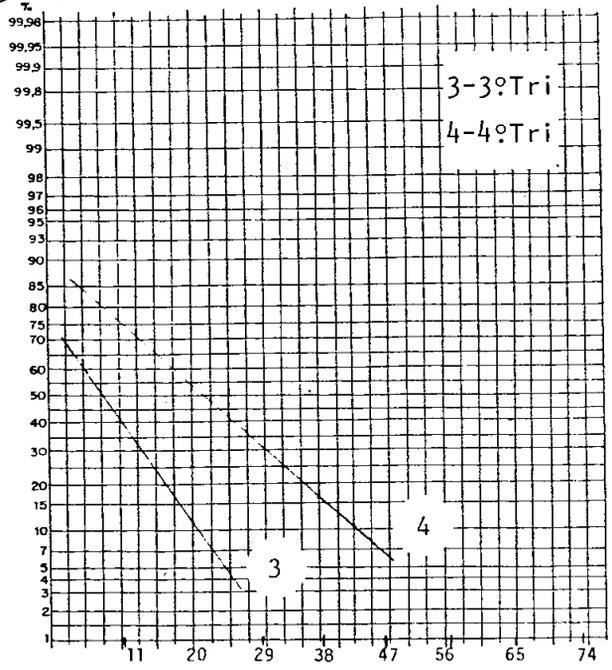
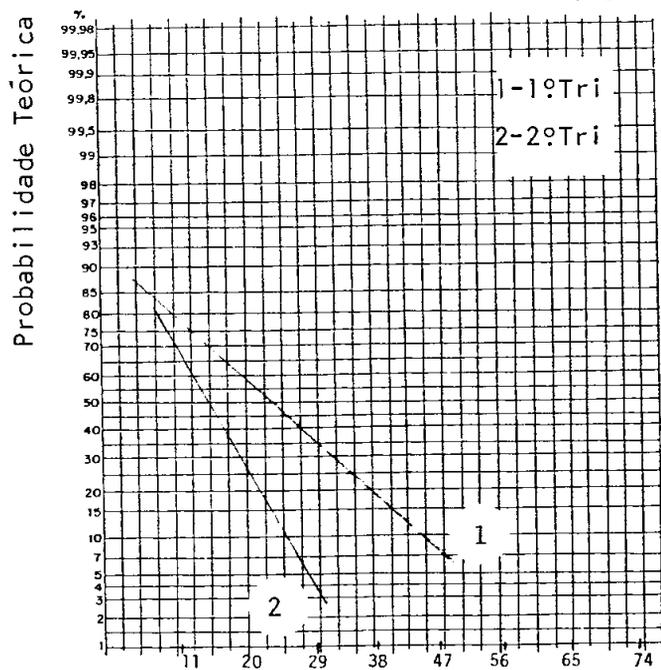


FIGURA 4. Probabilidade Teórica de ocorrer um dado Número Mínimo de Dias Secos Consecutivos, para cada mês do calendário e para 18 mm de Capacidade de Água Disponível Máxima - CAD

CAD = 18 mm



CAD = 38 mm



Número Mínimo de Dias Secos Consecutivos

FIGURA 5. Probabilidade Teórica de Ocorrer um dado Número Mínimo de Dias Secos Consecutivos, para cada Trimestre do Ano e para 18 mm e 38 mm de Capacidade de Água Disponível Máxima - CAD.

5,4 dias, na 1.^a quinzena de janeiro, ao nível de 80%. Essas figuras foram obtidas com o intento de se ter uma visão geral de como se comporta a seca quanto aos períodos mais ou menos severos, durante as 24 quinzenas do ano e para cada CAD. Através de sua análise, pode-se saber o risco de insucesso que uma cultura pode ter, plantando-se numa ou noutra época, necessidades de irrigação, enfim, como orientação para um melhor planejamento agrícola.

Como era de se esperar, à medida que aumenta a CAD do solo, menor o número de períodos de estiagem ocorrem. Pela análise dos gráficos das Figs. de 6 a 10, pode-se observar que os meses de outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março, correspondendo ao 4.^o e 1.^o trimestre do ano, são os que se evidenciam pelo maior número de dias secos consecutivos e nas maiores seqüências, em qualquer nível de CAD, mesmo para 175mm. As quinzenas correspondentes aos meses de abril-maio também se evidenciaram pelo número de dias secos consecutivos apresentados. A ocorrência de dias secos, sua marcha anual, assemelha-se muito com a da evapotranspiração potencial, tendo sua severidade evidenciada nos meses mais quentes do ano, diminuindo à medida que se aproxima dos meses de inverno. Podemos ressaltar ainda que, mesmo para 175mm de CAD, a severidade da seca é de tal forma acentuada nos meses de outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março que, para o mês de janeiro, 2.^a quinzena, há 50% de probabilidade teórica de ocorrer um número mínimo de 6,5 dias secos consecutivos.

Isso vem nos informar que a ocorrência da seca agrônômica, mais acentuada do 1.^o e 4.^o trimestres, não se deve apenas à baixa capacidade de armazenamento de água dos solos, mas também e principalmente às insuficientes precipitações nessas épocas do ano, aliado à alta demanda atmosférica.

Considerando o solo arenoso amostrado, "Araranguá", de grande ocorrência na região e de baixa capacidade de armazenamento de água, em torno de 38mm em um metro de profundidade, apresenta seca agrônômica em todos os meses do ano ao nível de 10% e 20% de probabilidade (Fig. 7). Aos mesmos níveis de probabilidade, verifica-se que nos meses mais quentes, isto é, 1.^o e

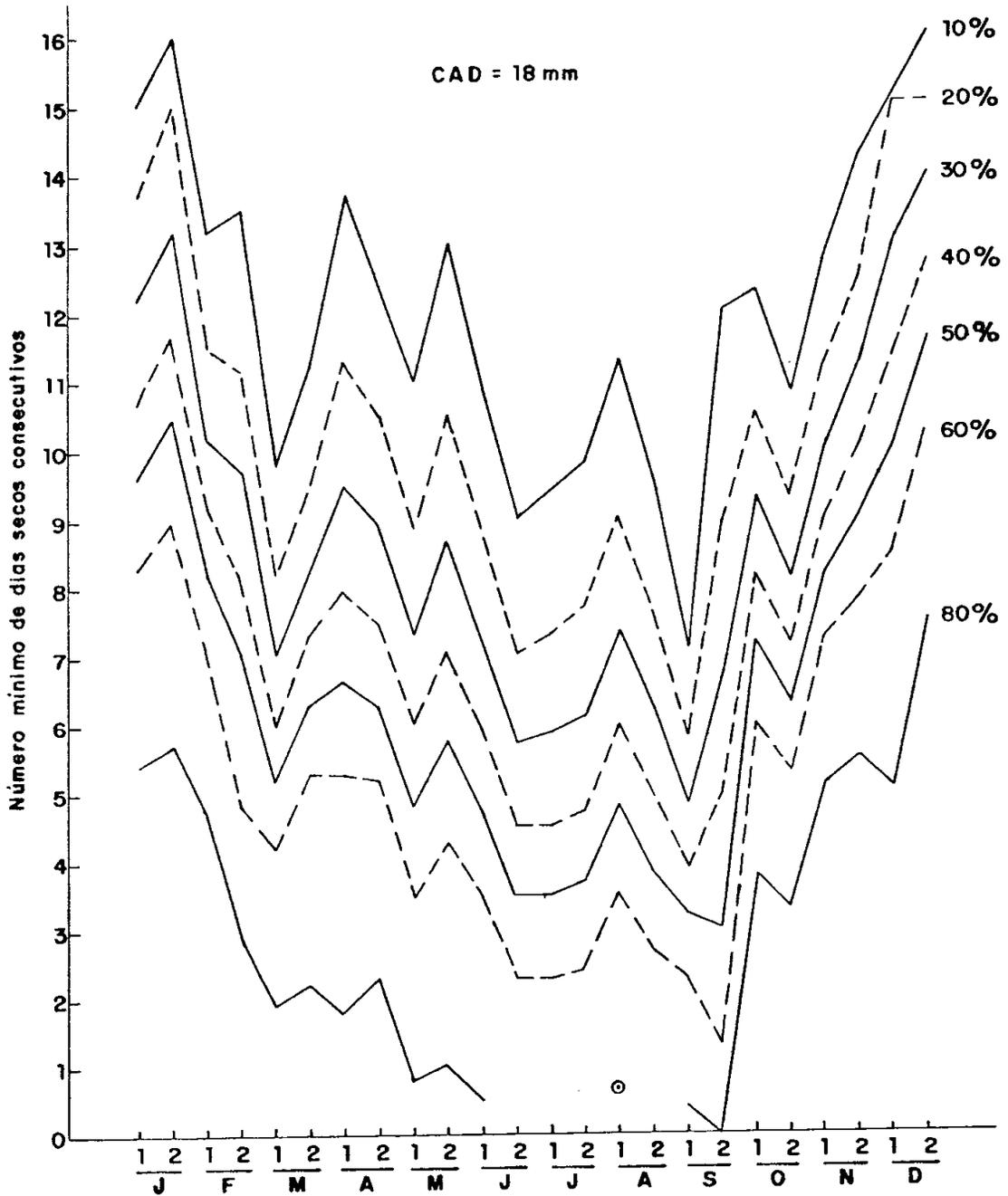


FIGURA 6. Número Mínimo de Dias Secos Consecutivos esperados, em cada quinzena de cada mês do calendário, aos níveis de 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% e 80% de Probabilidade Teórica, para 18 mm de CAD.

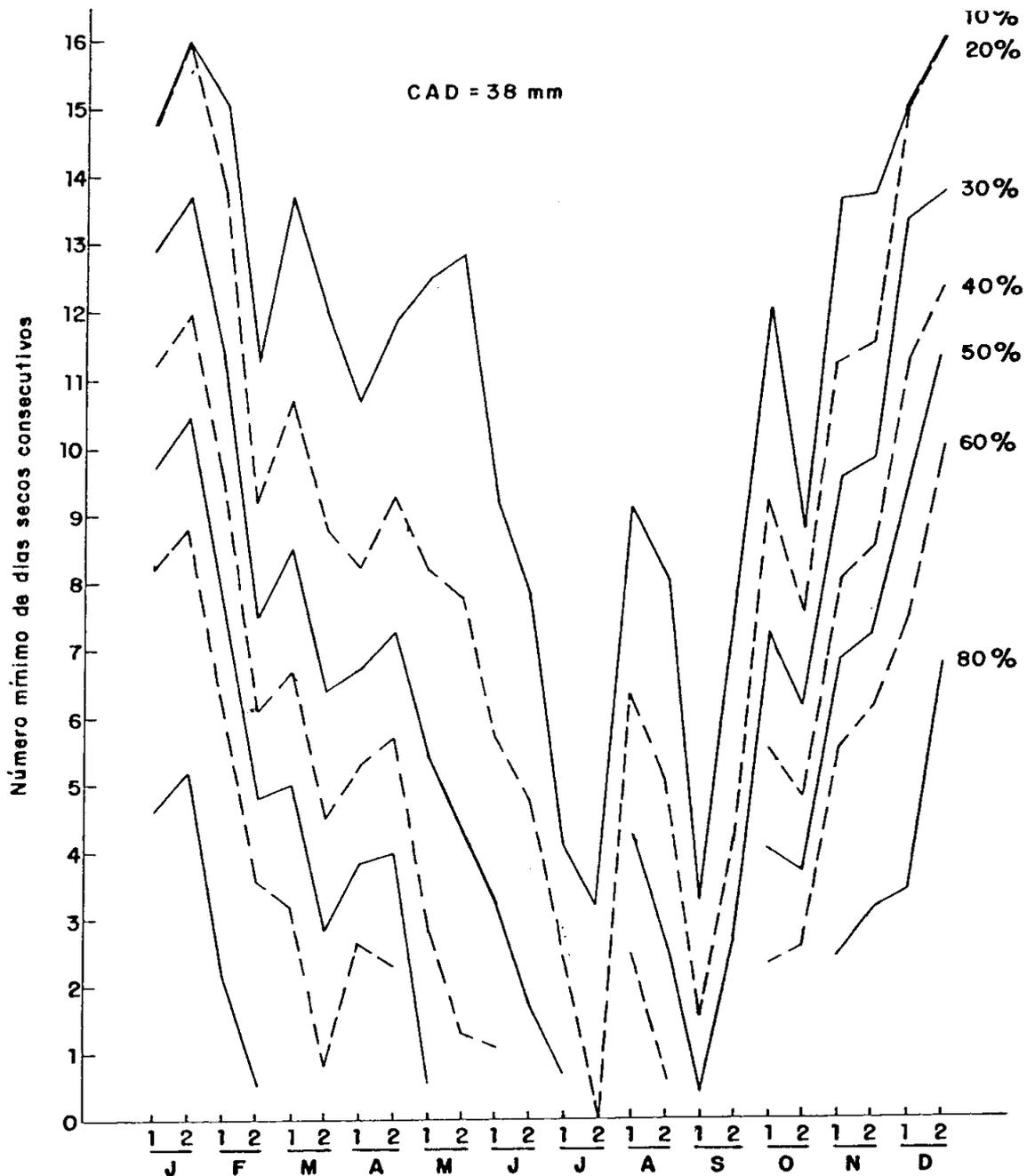


FIGURA 7. Número Mínimo de Dias Secos Consecutivos esperados, em cada quinzena de cada mês do calendário, aos níveis de 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% e 80% de Probabilidade Teórica, para 38 mm de CAD.

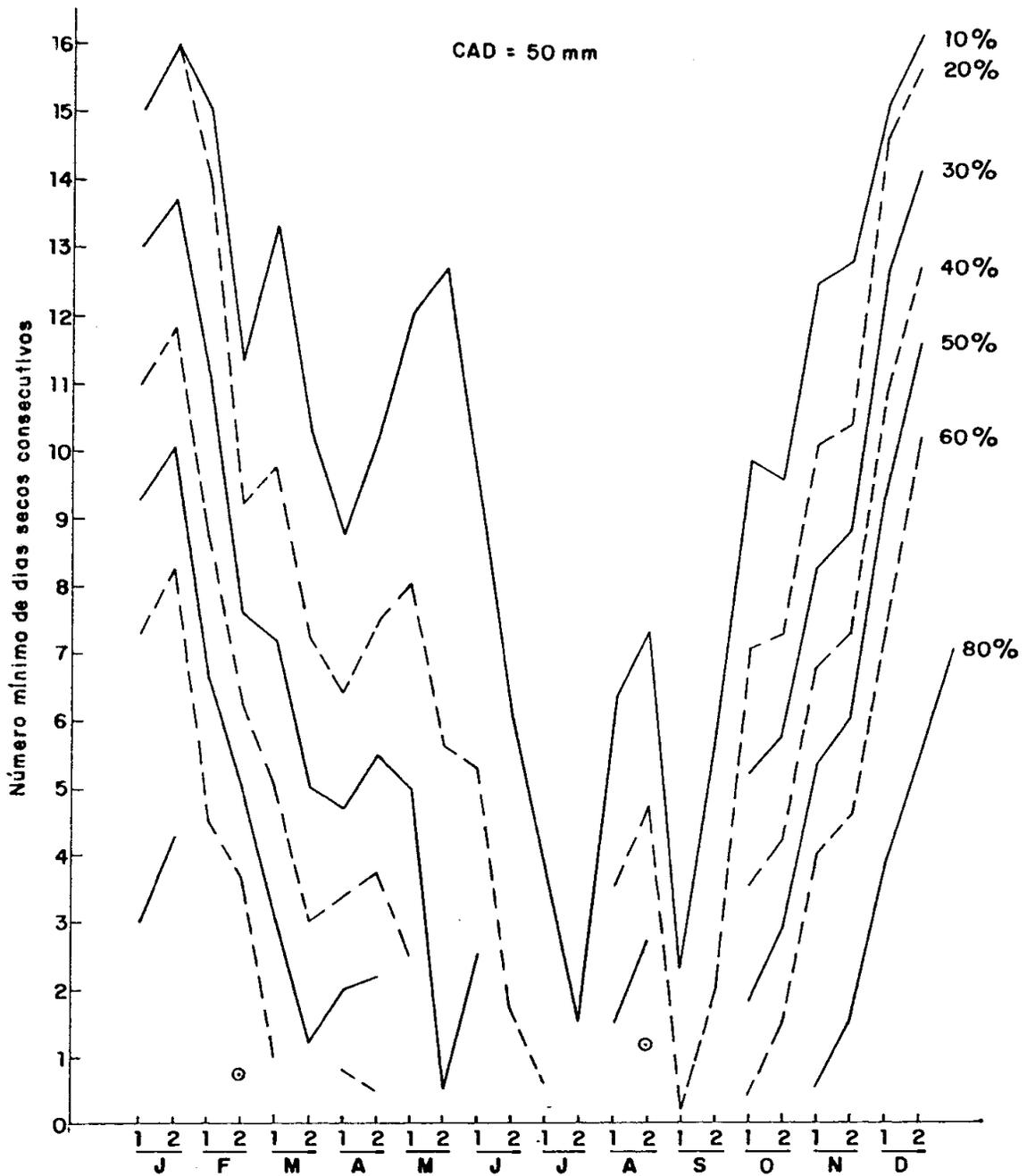


FIGURA 8. Número Mínimo de Dias Secos Consecutivos esperados, em cada quinzena de cada mês do calendário, aos níveis de 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% e 80% de Probabilidade Teórica, para 50 mm de CAD.

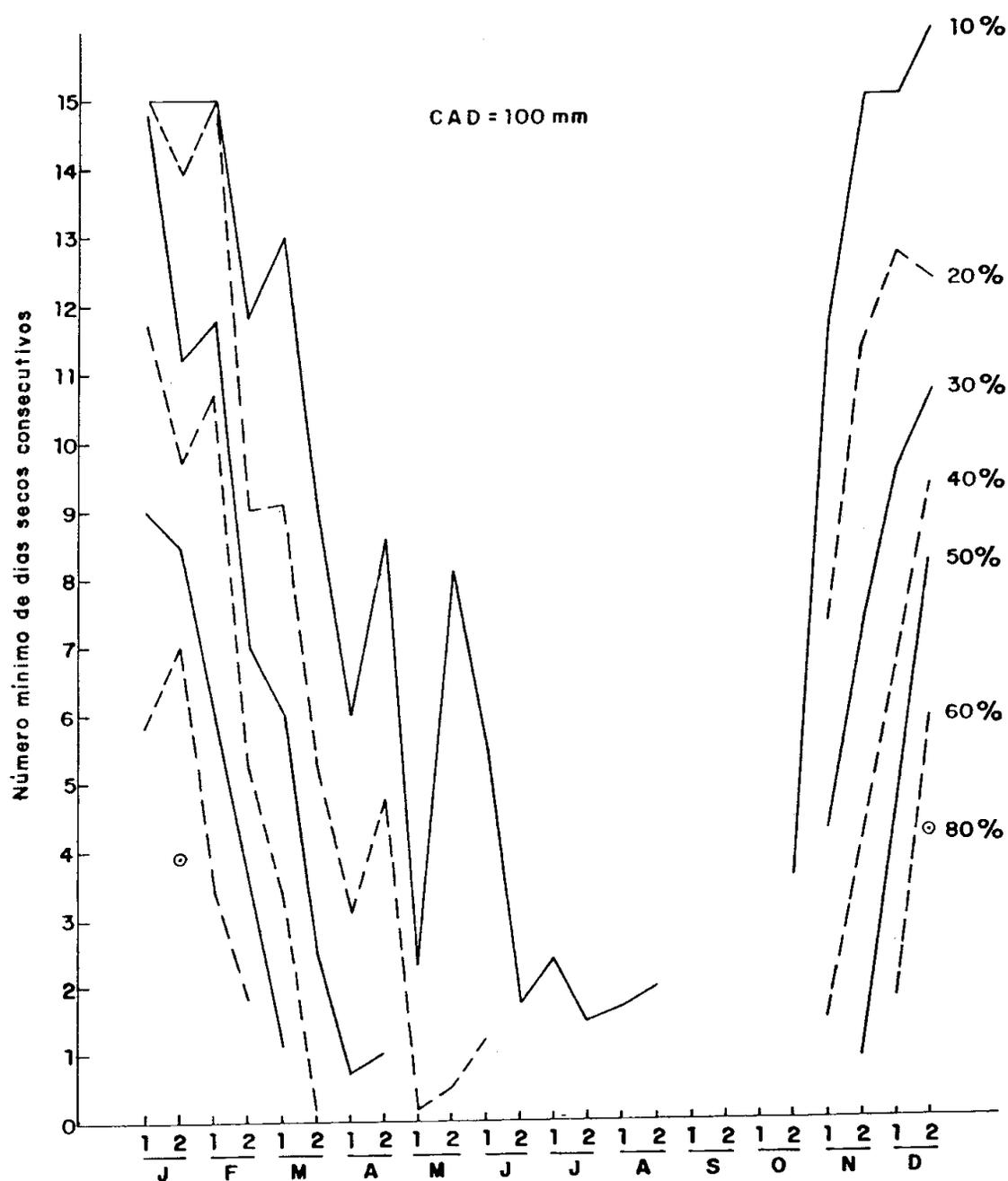


FIGURA 9. Número Mínimo de Dias Secos Consecutivos esperados, em cada quinzena de cada mês do calendário, aos níveis de 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% e 80% de Probabilidade Teórica, para 100 mm de CAD.

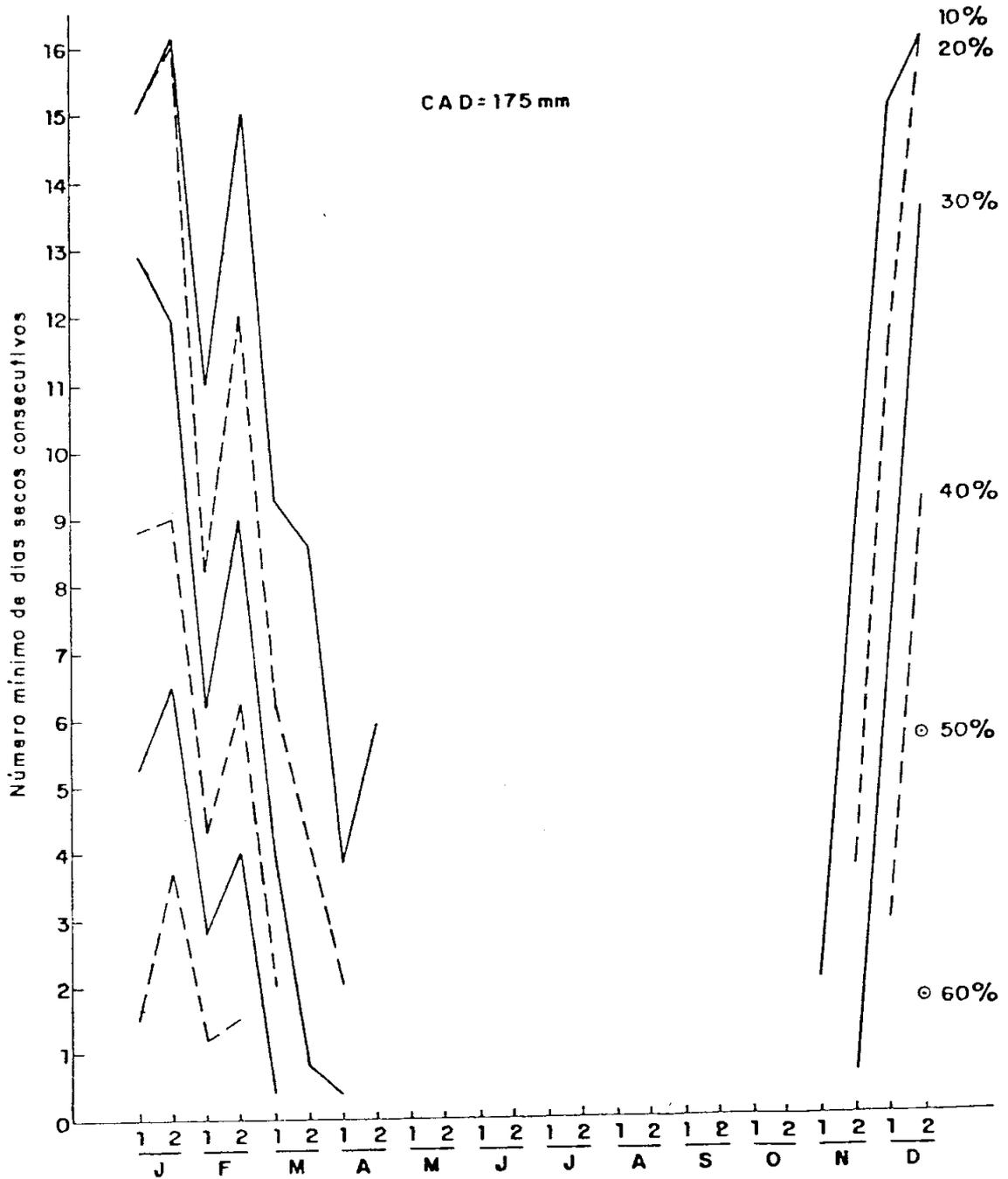


FIGURA 10. Número Mínimo de Dias Secos Consecutivos esperados, em cada quinzena de cada mês do calendário, aos níveis de 10%, 20%, 30%, 40%, 50% e 60% de Probabilidade Teórica, para 175 mm de CAD.

4º trimestres, a menor seqüência provável de dias secos é de 8,7, verificada na 2.^a quinzena do mês de outubro, traduzindo a severidade com que a seca agrônômica se manifesta nesse solo.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem as seguintes conclusões:

1) Para a região estudada, os meses com maiores ocorrências de dias secos totais, bem como em seqüências maiores evidenciaram-se no 1º e 4º trimestres do ano, ou seja, nos períodos de primavera-verão, embora o número total de dias secos para cada período diminua à medida que a CAD aumentava. Os meses de outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março foram os que se destacaram pelo maior número de dias secos consecutivos, e em maiores seqüências, em qualquer nível de CAD estudado, mesmo para 175mm. As seqüências correspondentes aos meses de abril e maio também apresentaram elevado número de dias secos consecutivos. Os meses correspondentes ao 3º trimestre do ano foram os que se mostraram menos suscetíveis à ocorrência da seca agrônômica.

2) De uma maneira geral, a seca agrônômica é bastante severa na região de Laguna nos meses correspondentes à primavera-verão, mesmo considerando-se os solos com maior capacidade de água disponível (CAD). Assim, podemos calcular que a ocorrência da seca agrônômica na região de Laguna/SC, não somente se deve à baixa capacidade de armazenamento de água dos solos, como também às insuficientes precipitações, principalmente nos meses de primavera-verão, aliada à alta demanda atmosférica.

REFERÊNCIAS

- DAMARIO, E.A. & ESCALES, A. Agroclimatología de la sequia en la Región semi-árida Sudooccidental Pampeana Argentina. Rev. Fac. de Agron., La Plata, 47(2):225-74, 1971.
- DENMEAD, O.P. & SHAW, R.H. Availability of soil water to plants as affected by soil moisture and meteorological conditions.

- Agronomy Journal, Washington, 54(5):385-90, 1962.
- EMPRESA CATARINENSE DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Zoneamento agroclimático do Estado de Santa Catarina. Porto Alegre, Pallotti, 1978. 150p.
- FAO. Yield response to water. Rome, 1979. 193p. (FAO. Irrigation and drainage paper, 33).
- GRADWELL, M.W. The moisture-holding properties of waitiatu soil and methods of their determination. New Zealand Journal of Agricultural Research, Wellington, 11:631-54, 1968.
- JENSEN, M.E.; WRIGHT, J.L. & PRATT, J.B. Estimating soil moisture depletion from climate, crop and soil data. Trans' action of the ASAE. Michigan, 14:954-9, 1971.
- MATHIER, J.R. The determination of soil moisture from climate data. Bulletin of the American Meteorological Society, Easton, USA, 35:63-8, 1954.
- MEDINA, H.P. Água no solo. In: MORIZ, A.C. Elementos de pedologia. 2ed., Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1975. p. 45-57.
- MORETTI FILHO, J. Caracterização da seca agrônômica na Zona canavieira do Estado de São Paulo como base para os estudos de irrigação. Piracicaba, ESALQ/USP, 1965. 93p. (Tese de Livre-Docência).
- PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water bare soil, and grass. Proceedings, Royal Society, Series A, 193: 120-45, 1948.
- PENMAN, H.L. Meteorology and agriculture. Quart. J.Roy.Met. Soc., 75:298-324, 1949a.
- PENMAN, H.L. The dependence of transpiration on weather and soil conditions. Journal of Soil Science, 1:74-89, 1949b.
- PENMAN, H.L. The physical bases of irrigation control. In: INTERNATIONAL HORTICULTURAL CONGRESS, 13., London, 1952. Report.
- PIERCE, L.T. A practical method of determining evapotranspi-

- ration from temperature and rainfall. Transaction of the ASAE, 3(1):77-81, 1960.
- PRUITT, W.O. & JENSEN, M.C. Determining when to irrigate. Agricultural Engineering, St. Joseph, 36(4):389-93, 1955.
- SCARDUA, J.A. Ocorrência de dias secos consecutivos na região de Cachoeira de Itapemirim, Estado do Espírito Santo. Piracicaba, ESALQ/USP, 1979. 78p. (Tese Mestrado).
- THORNTON, C.W. The moisture-factor in climate. Trans.Am. Geophy. Union, 27:41-8, 1946.
- THORNTON, C.W. An approach towards a rational classification of climate. Geographical Review, 38:35-94, 1948.
- THORNTON, C.W. & MATHER, J.R. The water balance. Centerton, New Jersey, Drexel Institute of Thechnology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, 8).
- VAN BAVEL, C.H.M. & WILSON, T.V. Evapotranspiration estimates as criteria for determining time of irrigation. Agricultural Engineering, 33:417-20, 1952.
- VAN BAVEL, C.H.M. A drought criterion and its application in evaluating drought incidence and hazard. Agronomy Journal, Washington, 45:167-72, 1953.
- VILLA NOVA, N.A. & OMETTO, J.C. Adaptação e simplificação do Método de Penman às condições climáticas do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 4., Fortaleza, 1981.