

Recebido em 31 de Julho de 1973

Evolução do teor em matéria orgânica de solos sujeitos a diferentes tratamentos (*)

por

ARIO LOBO AZEVEDO

(Cadeira de Agricultura Geral e Máquinas Agrícolas)

1 — INTRODUÇÃO

1.1. Considerações preliminares

Vamos partir do princípio que a agricultura, em senso lato (isto é, actividade agrícola, florestal e pecuária), é «a actividade económica complexa que visa a produção de bens, especialmente de desfruto, quer explorando a fertilidade do solo por intermédio da vida latente contida no embrião vegetal, quer transformando os produtos vegetais e animais por intermédio das indústrias anexas» (8).

Em face do processo biológico inerente à própria pedogénese pode o problema da fertilidade do solo, ou melhor, da potencialidade do solo

(*) Versão, levemente modificada, do trabalho que constitui o Relatório Final do Curso de Engenheiro Silvicultor, realizado na Secção de Agricultura Geral, Máquinas Agrícolas, Cultura Mecânica e Culturas Arvenses, integrado no Projecto de Investigação TLA/2 — Estudos de planos de explorações agrícolas, subsidiado pelo Instituto da Alta Cultura.

para fornecer às plantas os nutrientes necessários para o seu desenvolvimento, ser descrito como faz Jacks (29) como «essentially a cycle of solar energy, in which the energy is absorbed by green plants in the form of light, and used to build up complex organic compounds in the plant tissues, whence it is returned to the soil to be gradually dissipated as heat during decomposition, leaving a residue of mineral plant food which gives the next generation of plants an increased capacity of absorbing solar energy. The process goes on until a state of maximum fertility is attained, at which the intake of solar energy by the plants growing in the soil is equalled by its dissipation by other organisms».

Dáí a importância que tem sido acordada à evolução do teor em matéria orgânica dos solos como indicador do seu nível de potencialidade produtiva.

O teor em matéria orgânica dos solos que se encontram em estações situadas em condições geomorfológicas comparáveis e formados a partir de materiais originais semelhantes tende para valor que é fortemente influenciado pelo clima. H. Jenny (30) mostrou que em condições naturais o teor em matéria orgânica está relacionado com a temperatura média anual do ar T (em °C) e a humidade H (quociente médio anual da precipitação pelo déficit de saturação) de acordo com a função

$$MO = A e^{-a T} (1 - e^{-b H}) \quad (\text{Eq. 1.1})^*.$$

Sempre que o equilíbrio é perturbado verifica-se alteração do teor em matéria orgânica. O problema pode ser analisado segundo um modelo já clássico admitindo que a variação do teor da matéria orgânica ΔA no intervalo Δt num ecossistema não-fechado é dada por

$$\Delta A = -c_1 A + c_2 A + k_2 \quad (\text{Eq. 1.2}),$$

(*) A equação que Jenny de facto apresentou relaciona o teor em azoto total da camada superficial de solos de pradaria de textura média com a temperatura e a humidade em situação que se supõe de equilíbrio num ecossistema natural. Não há grande perigo na generalização deste tipo de função ao caso da matéria orgânica, como aliás o próprio Jenny faz, uma vez que na grande maioria dos casos a maior parte do azoto total é azoto da matéria orgânica do solo e portanto a sua determinação um processo de avaliação desta. Mas mesmo que não se considere tratar-se de um ecossistema natural pode perfeitamente aceitar-se que relações de tipo semelhante se encontrem em ecossistemas de substituição desde que estes se mantenham durante período de tempo suficientemente longo para se estabelecerem novas condições de equilíbrio.

onde c_1 é a taxa de decomposição da matéria orgânica do solo, c_2 a taxa com que a matéria orgânica mineralizada no intervalo Δt é recuperada por nova síntese e k_2 a quantidade de matéria orgânica alógena que entra no sistema; admite-se além disso, como hipótese de trabalho mais simples, que as perdas são proporcionais às existências.

No caso mais favorável $c_1 = c_2$, mas como regra $|c_1| > |c_2|$, pelo que se pode escrever $-c_1 + c_2 = -k_1$, e o modelo ser representado pela seguinte equação diferencial

$$\frac{d A}{d t} = -k_1 A + k_2 \quad (\text{Eq. 1.3}).$$

Este modelo pode ser tornado um pouco mais complexo se se admitir, como fizeram Hénin *et al.* (27), que a Equação 1.3 representa apenas a evolução da matéria orgânica lábil - A - e que k_1 é a taxa de destruição englobando mineralização de uma parte da matéria orgânica fresca por acção microbiana e transformação da outra em húmus ou matéria orgânica estável - B.

Se designarmos por k_3 a fracção da matéria orgânica fresca que se transforma em matéria orgânica estável ou húmus (coeficiente que a escola de Hénin designa por coeficiente iso-húmico) e por k_1 a taxa de mineralização do húmus, pode escrever-se

$$\frac{d B}{d t} = -k_1 B + k_1 k_3 A \quad (\text{Eq. 1.4}),$$

sendo agora k_1 o coeficiente de transformação do conjunto de matéria orgânica fresca introduzida no solo.

A resolução das Equações 1.3 e 1.4 não é difícil e conduz respectivamente a

$$A(t) = \frac{k_2}{k_1} - \left(\frac{k_2}{k_1} - A_0 \right) e^{-k_1 t} \quad (\text{Eq. 1.5})$$

e

$$B(t) = \frac{k_3}{k_1} k_2 - \left(\frac{k_3}{k_1} k_2 - B_0 \right) e^{-k_1 t} - k_3 \left(\frac{k_2}{k_1} - A_0 \right) \frac{k_1}{k_1 - k_1} \left(e^{-k_1 t} - e^{-k_1 t} \right) \quad (\text{Eq. 1.6}),$$

onde A_0 e B_0 são os valores iniciais de A e B (para $t = 0$).

O estudo da Equação 1.5 diz-nos que

a) para $\frac{k_2}{k_1} - A_0 > 0$, a função é monotonamente crescente e assintótica a $\frac{k_2}{k_1}$;

b) para $\frac{k_2}{k_1} - A_0 < 0$ monotonamente decrescente e assintótica a $\frac{k_2}{k_1}$;

c) para $\frac{k_2}{k_1} - A_0 = 0$, a função é constante e igual a $\frac{k_2}{k_1}$.

Para se proceder ao estudo da Equação 1.6 e uma vez que os k_1 são constantes positivas, fazendo

$$a = \frac{k_3}{k_1} \cdot k_2 \quad (\text{Eq. 1.7}),$$

$$b = \left(\frac{k_3}{k_1} k_2 - B_0 \right) - k_3 \left(\frac{k_2}{k_1} - A_0 \right) \frac{k_1}{k_1 - k_1} \quad (\text{Eq. 1.8}) \text{ e}$$

$$c = k_3 \left(\frac{k_2}{k_1} - A_0 \right) \frac{k_1}{k_1 - k_1} \quad (\text{Eq. 1.9}),$$

a Equação 1.6 toma a forma

$$B(t) = a + b e^{-k_1 t} + c e^{-k_1 t} \quad (\text{Eq. 1.10}),$$

donde se tira

$$B'(t) = -b k_1 e^{-k_1 t} - c k_1 e^{-k_1 t} \quad (\text{Eq. 1.11}).$$

Se $(b + c) \geq 0$ vem necessariamente $B'(t) \leq 0$, isto é, a Equação 1.10 (e portanto a Equação 1.6) é respectivamente monotona-

mente crescente e monotonamente decrescente e, em ambos os casos, assintótica a $\frac{k_3}{k_4} k_2$.

Se $b < 0 < c$ a Equação 1.11 muda de sinal quando

$$t_n = \frac{1}{k_1 - k_1} \log_e \frac{-b k_4}{c k_1} \quad (\text{Eq. 1.12}),$$

donde se for

$$t_n > 0 \quad (\text{n\~{a}o interessa } t_n \leq 0)$$

haverá um máximo ou mínimo, para $t = t_n$, consoante

$$B''(t_n) = b k_4^2 e^{-k_1 t_n} + c k_1^2 e^{-k_1 t_n} \quad (\text{Eq. 1.13}),$$

for menor ou maior que zero.

Se $(b \cap c) = 0$, situação que se verifica sempre que

$$\left(\frac{k_3}{k_4} k_2 - B_0 = 0 \right) \cap \left(\frac{k_2}{k_1} - A_0 = 0 \right), \text{ a função é constante e}$$

igual a $\frac{k_3}{k_4} k_2$.

Se $c < 0 < b$ verifica-se situação semelhante à já referida, mudando a Equação 1.11 de sinal de acordo com a Equação 1.12 e mantendo-se idêntico o restante comportamento da função.

Em muitos casos porém não é possível determinar o valor dos k_1 , por não haver elementos de informação suficientes e há que simplificar os modelos atrás referidos. A primeira simplificação que ocorre fazer, e que muitas vezes conduz a resultados aceitáveis, consiste em não considerar na Equação 1.2 a quantidade de matéria orgânica alógena que entra no sistema ou admitir que ela é nula ($k_2 = 0$) ou, o que é a mesma coisa, considerar o modelo representado pela equação diferencial

$$\frac{d A}{d t} = - k_1' A \quad (\text{Eq. 1.14}),$$

ou na forma integrada

$$A(t) = A_0 e^{-k'_1 t} \quad (\text{Eq. 1.15}),$$

equação que não é mais que a equação de Salter & Green (47) com o aspecto que lhe deu Jenny (30).

A taxa aparente de decomposição k'_1 é menor que a de decomposição k_1 , mas para taxas elevadas de decomposição a diferença é pequena (22) (47) e pode portanto ser utilizada na falta de melhor elemento.

1.2. O âmbito do trabalho

A última secção (resultados e discussão, interpretação de conjunto) da dissertação de concurso para um lugar de investigador da especialidade de Pedologia Florestal do Quadro da Direcção Geral dos dos Serviços Florestais e Aquícolas de Arlinda Leal Franco de Oliveira (41) é, por assim dizer, iniciada com a transcrição de trecho de um trabalho de Joaquim Sampaio onde este notável divulgador ao analisar «problemas da matéria orgânica na agricultura alentejana» se queixa que pode apenas citar «números que só interessam à França» e chama a atenção para a necessidade da obtenção de índices «para de certa maneira se saber como actuar nas questões de manutenção dos níveis convenientes à produção mais económica. Sabendo-se os consumos anuais e as quantidades de matéria orgânica que se leva ao terreno por via dos diversos materiais incorporados, pode fazer-se um balanço do *deve e haver* que permita determinar os saldos respectivos. O técnico da divulgação tem de possuir elementos — que só a investigação lhe pode dar — que lhe permitam orientar o agricultor quanto à melhor maneira de conservar o seu solo» (48).

Arlinda de Oliveira aproveita depois outro passo de Joaquim Sampaio em que este desabafando diz «lamento não possuir os elementos que me permitam medir a degradação a que já chegaram os solos alentejanos — e não sei se existem...» (48), para acrescentar que «ainda que nos faltem os elementos de medição que permitam saber do balanço da matéria orgânica dos solos do País parece no entanto conhecer-se a causa da sua degradação» (41). Cita depois trabalhos

de José Almeida Alves, desenvolve referindo que «entretanto, assistimos ao aparecimento em vários países de métodos de quantificação das relações da fertilidade com a dinâmica da matéria orgânica dos solos», metodologia essa que é a apresentada no parágrafo anterior [1.1], e acaba por afirmar que julga tais métodos deverem com a «maior urgência» ser «aplicados, com os devidos ajustamentos, ao estudo da evolução da matéria orgânica dos solos de Portugal» (41).

Nos últimos parágrafos da sua dissertação escreveu Arlinda de Oliveira:

«Foi nossa intenção, ao finalizar o trabalho com a inclusão deste assunto, dizer quão necessário se torna estabelecer para os vários solos uma maneira de apreciar o grau de evolução da sua matéria orgânica — para assim se saber explicar porque razão nuns casos há acumulação de matéria orgânica livre, e noutros, pelo contrário, mobilização da reserva de húmus existente.»

«Quer os solos se destinem à reflorestação, à agricultura intensiva ou à pastagem, deve-se saber tirar deles os melhores resultados técnicos e económicos, mas preservando-os sempre como um capital de reserva — e só uma avaliação concreta dos coeficientes isohúmicos ou outros semelhantes tal poderá permitir. Se o trabalho que realizámos sobre a matéria orgânica puder representar um ponto de partida para esse conhecimento já nos sentimos de certo modo satisfeitos» (41).

Os modelos apresentados para poderem ser aplicados a casos concretos exigem a determinação por via experimental das constantes de proporcionalidade de diversas equações. Neste campo avultam as tentativas levadas a cabo por investigadores norte-americanos, nomeadamente Hans Jenny e seus seguidores, e franceses de que S. Hénin e a sua escola são o melhor exemplo. Em todo o caso não deve deixar de referir-se que numa primeira fase o problema que se pretende analisar é o da capacidade do solo como fornecedor natural de nutrientes às plantas e não considerar o solo como meio através do qual são armazenados e depois entregues às culturas os nutrientes fornecidos pelos fertilizantes minerais (28).

Utilizando elementos obtidos em diversos ensaios realizados em Portugal continental por diversos investigadores, procura-se neste trabalho determinar constantes de proporcionalidade que tornem possível a utilização de alguns daqueles modelos nas condições aqui prevaletentes.

2. O CASO DO ALQUEIVE

2.1. *O problema em estudo e os elementos utilizados*

Dentro de certos sistemas de exploração da terra a passagem de uma fase menos intensiva do aproveitamento do solo — o pousio — para uma mais intensiva — a cultura de cereais e outros grãos — faz-se através do alqueive. Esta operação, praticada na região mediterrânea desde a mais remota antiguidade*, pode definir-se como um conjunto de operações de mobilização do terreno (em geral lavouras, mas por vezes também gradagens, escarificações e até subsolagens superficiais**) que se realizam nas folhas entregues ao pousio visando destruir a vegetação infestante e de forma a permitir fazer as culturas que se pretendem, provocando maior actividade da flora microbiana do solo através da alteração das condições de arejamento e do regime hídrico do solo, o que conduz a mineralização mais rápida da matéria orgânica do solo, mobilizando-se e pondo-se assim à disposição das culturas os nutrientes minerais nela armazenados.

Tal conjunto de operações — o alqueive — leva cerca de um ano a ser executado, iniciando-se os trabalhos no princípio do Inverno com a lavoura ou ferro «de abrição», «de alqueive» ou «de relva», seguindo-se depois — Primavera entrada — um segundo ferro dito «de atalho» ou «de deslavra» e mais tarde, já no Verão, um outro ferro «de aterceiro» ou «de aterceirar». Entre os ferros de lavoura é usual proceder-se a gradagens. A partir do ferro «de aterceirar» tem lugar o labor de preparação do terreno para a sementeira do cereal, o que se verifica no fim do Outono ou princípios do Inverno seguinte.

A expressão alqueive é também utilizada para designar o conjunto de operações que conduzem à preparação do terreno para a sementeira do cereal em rotações contínuas, sem pousio portanto e mais intensivas que aquelas em que era utilizado o tradicional e milenário alqueive. Neste caso as operações têm início no Verão, época em que se dá o ferro «de abrição» e só depois das primeiras chuvas de Outono é que se dá segundo ferro, podendo ou não praticar-se o «aterceiro» conforme o ano decorre.

(*) Veja-se por exemplo da Odisseia o Livro V — Calipso.

(**) O alqueive tradicional era realizado utilizando o arado, ou seja recorrendo a araduras ou a arações em vez de lavouras realizadas com charruas, e possivelmente a gradagens com a antiga grade portuguesa. As outras operações referidas são de introdução relativamente recente.

Os elementos utilizados nesta parte do trabalho são os resultados dos ensaios realizados em Elvas por J. Almeida Alves na Estação de Melhoramento de Plantas, no período que vai de 1949 a 1958, elementos esses que se encontram reunidos e estudados no trabalho publicado em 1961 intitulado «O Problema da Manutenção da Fertilidade na Agricultura do Sul» (3).

Os ensaios que interessam ao caso vertente são aqueles em que foi sistematicamente realizado o alqueive tradicional de um ano antecedendo a cultura do trigo. A identificação dos ensaios ali descritos e dos elementos que estes facultam será feita recorrendo à sigla AS seguida, quando tal for considerado indispensável, por algarismos correspondendo à numeração dos capítulos e parágrafos do trabalho referido. Para certos casos porém, e para facilitar a consulta dos dados a partir dos quais se tenta determinar as constantes de proporcionalidade, esses elementos encontram-se reunidos no Anexo I.

A caracterização dos solos e do clima da estação onde foram implantados os ensaios encontram-se em AS. 2.

2.2. A evolução do azoto

No Quadro 2.1 encontram-se reunidos os valores de k'_{1n} calculados para o tratamento «alqueive → trigo» em diversos ensaios, N_0 designando o valor do teor do solo em azoto no início do ensaio ($t = 0$), k'_{1n} a taxa aparente de evolução do azoto total para quatro (N_4), cinco (N_5) ou seis (N_6) anos de ensaio e \bar{k}'_{1n} a média dos valores destas taxas.

QUADRO 2.1

Ensaio	AS. 4132 Alqueive → → trigo	AS. 42131 Alqueive → → trigo	AS. 4222 Alqueive → → trigo	AS. 5231 Alqueive → → trigo	
Solo	FA 85	FA 81	FA 89	FA 85	
N_0	0,0794	0,1024	0,0916	0,1260	
k'_{1n}	N_4	0,006	0,026	0,046	0,033
	N_5	0,008	0,019	0,020	0,026
	N_6	0,007	0,017	0,031	0,012
\bar{k}'_{1n}	0,007	0,021	0,032	0,023	

Para o cálculo da taxa aparente de decomposição média \bar{k}'_{1n} foram apenas considerados os dados correspondentes ao quarto, quinto e sexto anos do ensaio, tendo-se adoptado este procedimento uma vez que a análise da variância de todos os dados apreciados em conjunto e considerando-os como um único ensaio repetido em diversos locais (Quadro 2.2) — o que aliás não está muito longe da realidade — ter permitido através do teste de Scheffé mostrar que a partir da quinta posição relativa é que as diferenças eram de facto significativas (Quadro 2.3).

QUADRO 2.2

Origem da variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
Locais	0,00651178	3	0,00217059	350,10 (0,001)
Anos	0,00053409	6	0,00008902	14,36 (0,001)
Erro	0,00011174	18	0,00000620	
Total	0,00715761	27		

QUADRO 2.3

N.º	Código	Total	Primeiro diferente
1	5	0,3562	2
2	7	0,3614	5
3	6	0,3622	5
4	4	0,3628	5
5	3	0,3734	6
6	1	0,3994	—
7	2	0,4014	—

Por outro lado esta maneira de considerar o problema confirma aquilo que observação cuidada correntemente nos mostra de ter que admitir que há dificuldades no arranque de um processo biológico deste tipo, parecendo haver como que uma resistência, ou inércia, que se opõe ou impede a perfeita e imediata instalação dos mecanismos de

decomposição da matéria orgânica, sendo necessário aguardar algum tempo antes de se poder detectar a tendência de evolução do processo que se instalou.

2.3 A evolução do carbono

No Quadro 2.4 reuniram-se os valores de k'_{1c} calculados para o tratamento «alqueive → trigo» em diversos ensaios, sendo as notações utilizadas semelhantes à do Quadro 2.1, *mutatis mutandis*.

QUADRO 2.4

Ensaio	AS. 4133 Alqueive → → trigo	AS. 42132 Alqueive → → trigo	AS. 4323 Alqueive → → trigo	AS. 5232 Alqueive → → trigo
Solo	FA 85	FA 81	FA 89	FA 85
C_0	0,681	0,822	0,807	1,014
k'_{1c}	C_1	0,009	0,030	0,027
	C_2	0,009	0,024	0,018
	C_3	0,011	0,014	0,020
\bar{k}'_{1c}	0,010	0,023	0,022	0,010

Também aqui foram considerados os dados correspondentes ao quarto, quinto e sexto anos do ensaio, pois procedimento análogo ao empregado no estudo da evolução do azoto [2.2] assim o sugeriu e como mostra a análise de variância de todos os dados apreciados em conjunto (Quadros 2.5 e 2.6).

QUADRO 2.5

Origem da variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
Locais	0,397458	3	0,132486	145,27 (0,001)
Anos	0,032346	6	0,005391	5,91 (0,001)
Erro	0,016407	18	0,000912	
Total	0,446211	27		

QUADRO 2.6

N.º	Código	Total	Primeiro diferente
1	6	3,050	6
2	4	3,063	6
3	5	3,088	6
4	7	3,098	6
5	3	3,234	—
6	1	3,334	—
7	2	3,425	—

Nalguns ensaios teve Almeida Alves (3) a possibilidade de proceder também à análise do humus, reunindo-se no Quadro 2.7 os valores de k'_{1h} calculados segundo as regras já referidas, mas apenas neste caso, dado o menor número de elementos de informação, não se procedeu à análise de variância de todos os dados tomados em conjunto.

QUADRO 2.7

Ensaio	AS. 4133 Alqueive → trigo	AS. 42132 Alqueive → trigo
Solo	FA 85	FA 81
H_0	26,52	104
k'_{1h}	H_1	0,038
	H_5	0,012
	H_1	0,007
\bar{k}'_{1h}	0,019	0,008

2.4 A taxa de decomposição

A taxa aparente da decomposição de matéria orgânica para o caso do tratamento «alqueive → trigo» apresenta valores que variam de um pouco menos de 1% a cerca de 2%, e num caso é da ordem dos 3%.

Para o carbono verifica-se consistência nos valores determinados em dois ensaios realizados no solo FA 85 ($k'_{10} = 0,01$ em ambos os ensaios) e valores praticamente iguais nos ensaios implantados nos solos FA 81 e FA 89 (k'_{10} respectivamente igual a 0,023 e a 0,022). Acontece porém que os valores da taxa aparente da decomposição do húmus são muito mais elevados no caso do solo FA 85 (da mesma ordem de grandeza dos k'_{10} calculados para os solos FA 81 e FA 89) do que no caso do solo FA 81 (um pouco menor até que o valor do k'_{10} do FA 85).

Os resultados obtidos para o azoto são um pouco menos coerentes. Nos ensaios realizados nos solos FA 81 e FA 89 os valores de k'_{10} apesar de díspares são sempre elevados, mas nos ensaios com o solo FA 85 um dos valores de k'_{10} é excepcionalmente baixo e o outro é elevado, dentro da ordem de grandeza dos obtidos nos outros dois solos.

Os valores da taxa aparente de decomposição determinados para Elvas cabem perfeitamente no intervalo admitido por Hénin & Dupuis (24) para o coeficiente de decomposição aparente supondo também nula a adição de matéria orgânica, podendo no entanto acontecer, tal como se verificou também em França (39), definirem-se alguns conjuntos de valores que se acantonam junto do limite inferior ou mesmo um pouco abaixo deste.

Partindo de hipóteses semelhantes e analisando um caso comparável com o de Elvas (tratamento «alqueive → trigo», o cereal não adubado no entanto, e $C_n = 1,02\%$), Essafi (21) na Tunísia chega à conclusão de que o valor da taxa aparente de decomposição quer para o carbono quer para o azoto deve estar compreendido entre 1 e 1,5% ao ano.

Em face do que ficou exposto pode talvez concluir-se que para o Sul de Portugal a taxa aparente de decomposição k'_{10} , quer para o carbono quer para o azoto, deve estar normalmente compreendida entre 0,01 e 0,02, sendo de utilizar a primeira nas situações em que actuem menos intensamente os factores que favorecem a mineralização da matéria orgânica do solo e a segunda no caso oposto; em casos particulares de condições excepcionalmente adversas é justificável a adop-

ção de valores de k' , mais elevados, não sendo de excluir valor tão elevado como 0,03.

3. O CASO DA FERTILIZAÇÃO ORGANICA

3.1. O cálculo de coeficientes iso-húmicos

Para o cálculo de coeficientes iso-húmicos foram utilizados dados de dois ensaios, um dos quais fornecendo elementos quanto à estrumação (AS.511) e outros quanto à sideração com o grão da Gramicha (AS.413). Os dados a partir dos quais foram calculadas as constantes de proporcionalidade encontram-se reunidos no Anexo II. Os elementos de que se dispõe apenas permitem uma avaliação algo grosseira dos coeficientes iso-húmicos e, mais do que isso, os valores que se obtêm conduzem-nos, como regra, antes a uma primeira aproximação da taxa aparente e não da taxa real de transformação da matéria orgânica fresca em matéria orgânica estável ou húmus.

3.2. O coeficiente iso-húmico do estrume

Num dos seus ensaios Almeida Alves compara a evolução do teor em carbono (e a do teor em azoto também) em dois talhões onde num o alqueive revestido de grão-de-bico que antecede o trigo é um talhão estrumado (à razão de 40 ton/ha) e no outro não é estrumado. No Quadro 3.1 encontram-se os valores de k'_{1c} e k'_{1n} calculados do modo habitual.

QUADRO 3.1

Ensaio		AS. 511 Alqueive × grão de bico → trigo	AS. 511 Alqueive estrumado × grão de bico → trigo
Solo		FA 85	FA 85
C_0		0,681	0,681
k'_{1c}	C_4	0,014	-0,023
	C_5	0,020	-0,022
	C_6	0,022	-0,021
\bar{k}'_{1c}		0,019	-0,022
N_0		0,0794	0,0794
k'_{1n}	N_4	0,0220	-0,0031
	N_5	0,0002	-0,0279
	N_6	0,0128	-0,0200
k'_{1n}		0,0112	-0,0170

Comparando-se os valores de k'_1 para o tratamento «alqueive × grão de bico → trigo» com os obtidos para o tratamento «alqueive → trigo» (Quadros 2.1 e 2.4) executado sobre o mesmo solo verifica-se que em relação ao azoto o tratamento aqui em estudo não difere muito do caso mais favorável considerado no Quadro 2.1 (ensaio AS.4132) mas em relação ao carbono a taxa aparente agora obtida é nitidamente mais desfavorável que as apresentadas no Quadro 2.4 (ensaios AS.4133 e AS.5232).

A quantidade de estrume empregada no tratamento «alqueive estrumado × grão de bico → trigo» conseguiu fazer mudar o sinal de k'_1 e é portanto mais do que suficiente para fazer face ao desgaste provocado por tratamento semelhante sem estrumação.

Uma vez que o valor inicial de C nos dois tratamentos é $C_0 = 0,681\%$ (e $N_0 = 1,174\%$), sabendo-se que o valor de espessura do Aa afectado pelos tratamentos foi 0,20 m (3, p. 56) e admitindo-se para a densidade aparente $d_{ap} = 1,15^*$ vem $A_e = 27\ 000\text{ kg/ha}$.

De acordo com os valores registados no Quadro 3.2 o solo perde em média por ano 2% do seu teor em carbono orgânico no caso do tratamento «alqueive × grão de bico → trigo» e há um ganho em média, por ano, de 2% do teor em carbono orgânico no caso do tratamento «alqueive estrumado × grão de bico → trigo». Pode pois aceitar-se que a quantidade de estrume adicionada (20 ton/ha)/ano foi suficiente não só para cobrir as perdas que se verificam em tratamento semelhante mas não-estrumado como também para assegurar um aumento consistente no teor em matéria orgânica do solo estrumado.

Se o teor em matéria seca do estrume empregado for de 20% ** o coeficiente iso-húmico é

$$k'_{3e} = 0,27.$$

Este valor do coeficiente iso-húmico é razoavelmente baixo e aproxima-se do menor dos valores apresentados por Hénin *et al.* (25)

(*) Para um perfil de solo calcário pardo Carvalho Cardoso (16) indica 1,03 como valor da densidade aparente. No entanto, de acordo com a tabela elaborada no Centro de Estudos de Pedologia Tropical, o valor mais usual da densidade aparente por camadas superficiais de textura franco-argilo-arenosa e teor em matéria orgânica inferior a 2% é 1,24. Daí ter-se adoptado o valor intermédio de 1.15.

(**) Almelda Alves não indica o teor de humidade do estrume empregado pelo que se foi buscar um valor do teor em humidade do estrume corrente mesmo entre nós (5).

para o estrume mais ou menos palhoso. Apesar de baixo tal valor do coeficiente iso-húmico é talvez perfeitamente aceitável uma vez que Almeida Alves caracteriza como segue a estrumação feita neste ensaio (3, p.251):

«De facto, como Lança (1901) escreveu 'não há razão nenhuma para chamar estrume aos montões de matéria em putrefacção, expostos ao ardor do sol e lavados pela chuva, que se encontram nas proximidades dos montes alentejanos, das aldeias, vilas e até das cidades.' Assim 'o lavrador lança à terra um palhuço que julga ser estrume' (Caldeira, 1924).»

«Que isto não é estrume, provam-no os resultados obtidos, e se é para lamentar que suceda em ensaios, nem por isso deixa de ter a sua utilidade, por demonstrar o erro da generalização de práticas de terminologia falsa como de êxito duvidoso, onde já se não deviam verificar.»

Em face deste comentário não repugna aceitar que o teor de humidade do «palhuço» possa ser de 75 % ou mesmo de 70 %, pelo que o valor do coeficiente iso-húmico descerá então de 0,27 para 0,22 ou para 0,18.

3.3. O coeficiente iso-húmico da sideração de grão da Gramicha

Os ensaios realizados por Almeida Alves com grão da Gramicha enterrado na fase de frutificação sugerem ser este o único tratamento que «parece manter o equilíbrio» (3, p. 106) no que respeita ao teor do solo em carbono orgânico*. De facto os valores de k'_{1c} para C_5 e C_0 são respectivamente iguais a $-0,00437$ e a $-0,00035$, pelo que se pode admitir que se atingiu uma situação de equilíbrio ou pelo menos de quase-equilíbrio. Em todo o caso o valor de k'_{1h} para H_1 , H_5 e H_6 é de $0,048$, parecendo sugerir que apesar de se verificar uma certa tendência para uma regularização da transformação da matéria orgânica fresca em matéria orgânica estável, esta última está sujeita a um intenso desgaste**.

O cálculo do coeficiente iso-húmico pode ser tentado considerando em primeira aproximação, como faz Jenny (31), que o coeficiente de mineralização quer da parte aérea, quer da parte subterrânea da cul-

(*) Os elementos a partir dos quais foram calculadas as constantes de proporcionalidade encontram-se reunidos no Anexo IV.

(**) Não pode porém deixar de referir-se que o valor de k'_{1n} para N_1 , N_5 e N_6 é igual a $-0,009$.

tura a siderar, quer ainda da própria matéria orgânica do solo é o mesmo.

Nestas condições, em situação de equilíbrio, pode escrever-se

$$k' = \frac{F + R}{F + R + Ae} \quad (\text{Eq. 3.1}),$$

onde k' é o coeficiente de mineralização, F a produção da parte aérea da cultura e R a produção do raizame.

Como não é conhecida com rigor suficiente a quota-parte da produção do raizame na produção total, vamos admitir valores para a razão R/F que cubram um campo razoavelmente largo e utilizar 0,25, 0,50, 1,00 e 2,00.

Os valores de k' calculados deste modo para a situação definida em [3.2] ($C_0 = 0,681\%$ e $Ae = 27\,000\text{ kg/ha}$), e não esquecendo que a sideração é feita ano sim, ano não, encontram-se reunidos no Quadro 3.2.

QUADRO 3.2

R/F	k'
0,25	0,07
0,50	0,09
1,00	0,11
2,00	0,16

Esta primeira estimativa de coeficiente iso-húmico é uma estimativa errada por defeito pois o coeficiente assim determinado além de dizer apenas respeito a uma taxa aparente [1.1], traduz por outro lado um fenómeno global reunindo num único parâmetro duas taxas de valor numérico muito diferente: a taxa de mineralização k' , e o coeficiente iso-húmico k_3 .

Para o cálculo do coeficiente iso-húmico seria necessário conhecer o valor de k_3 , o que não é possível fazer directamente a partir dos dados existentes. Mas pode tentar averiguar-se entre que limites ele

deve situar-se, para o que começemos por escrever a Equação 1.3 com a forma

$$\frac{dA}{dt} = -k_1A + (k_{3r}R + k_{3f}F) \quad (\text{Eq. 3.2}),$$

onde R e F são respectivamente as quantidades de matéria fornecida pela parte subterrânea e pela parte aérea das plantas, e k_{3r} e k_{3f} são por sua vez as taxas de destruição da parte subterrânea e da parte aérea.

Se se admite estar-se numa situação de equilíbrio vem

$$k_1Ae = k_{3r}R + k_{3f}F \quad (\text{Eq. 3.3}).$$

Vamos aceitar, como propõem Greenland & Nye (22) que k_{3r} e k_{3f} variam respectivamente entre um valor máximo de 1/2 e 1/4 e mínimo de 1/5 e 1/10, e trabalhar com razões R/F iguais a 0,33, 0,50 e 1,0, e calcular assim os valores de k_1 , assumindo que o ponto de partida é idêntico ao do caso analisado em [3.2], pelo que o valor de Ae será também igual a 27 000 kg/ha.

Atendendo ao facto de a quantidade de matéria orgânica verde incorporada pela sideração com o grão da Gramicha ser, pelo que diz respeito à parte aérea, de 17 t/ha e aceitando o valor de 80 % para o teor de humidade, tal quantidade de matéria verde corresponde a 3,4 t/ha de matéria seca (3, p. 90), os valores de k_1 calculados por este processo variam entre um mínimo de 0,021 e um máximo de 0,095 (Quadro 3.3).

QUADRO 3.3

R/F	Valores máximos de k_3 $k_{3r} = 0,50$ e $k_{3f} = 0,25$	Valores mínimos de k_3 $k_{3r} = 0,20$ e $k_{3f} = 0,10$
0,33	0,052	0,021
0,50	0,063	0,025
1,0	0,095	0,038

Em face dos valores de k' , obtidos em [2.2] (Quadro 2.1), em [2.3] (Quadro 2.4) e em [3.2] (Quadro 3.1), não devem ser talvez de considerar os valores de k_1 que se encontram reunidos na 2.^a coluna do Quadro 3.3, tendo sido a partir de valores muito próximos dos considerados na 3.^a coluna deste Quadro que se calcularam os valores do coeficiente iso-húmico aparente do grão da Gramicha k_{3g} que se reuniram no Quadro 3.4, tendo-se além disso introduzido mais o valor da razão R/F igual a 0,764 uma vez que a produção da matéria verde por parte das raízes do grão da Gramicha representa 43,3 % da produção total (51).

QUADRO 3.4

R/F	$k_1 = 0,02$	$k_1 = 0,03$	$k_1 = 0,04$
0,33	0,24	0,36	0,48
0,50	0,21	0,32	0,42
0,764	0,18	0,27	0,36
1,0	0,16	0,24	0,32

Por outro lado encontra-se na Fig. 3.1 resolvida graficamente a Equação 3.3 para valores de k_1 iguais a 0,03 e a 0,04 e da razão R/F iguais a 0,33 e 1,0. Nessa figura delimitou-se também o campo correspondente aos valores mais elevados e menos elevados de k_{3r} e de k_{3f} considerados no Quadro 3.3.

Tudo conjugado, parecem ser o valor de $k_1 = 0,03$ e o de $k_{3g} = 0,27$ os que conduzem a resultados mais plausíveis. O valor do coeficiente iso-húmico assim determinado enquadra-se perfeitamente dentro dos limites considerados por Hénin *et al.* (26) para os valores dos coeficientes iso-húmicos da adubação verde.

4. O CASO DO POUSSIO

4.1 O poussio e a manutenção da fertilidade

Analisando, se bem que esquematicamente, a evolução histórica da agricultura em termos de sistemas, A. Câmara (14) identifica o poussio com o «repouso das terras» e acrescenta que este «se conside-

rava necessário para entreter a sua produtividade» (sua, das terras). Por outro lado C. Helbling (23) ao abordar o mesmo assunto começa por dizer que «quando se trata de terras pobres...» é necessário fazer 'descansar' os terrenos de tempos a tempos e então a sucessão de culturas é completada com um largo período de repouso», acrescenta depois que «a este período durante o qual os terrenos deixam de ser cultivados, dá-se o nome de 'pousio'...» e desenvolve afirmando que «a terra assim em descanso, normalmente, cobre-se de vegetação espontânea, mais ou menos abundante, conforme a sua natureza, clima da região, forma como decorre o ano...» e «ao longo desse período, cuja duração dependerá das condições do meio, e que é impossível determinar 'a priori', consegue-se pelo menos em parte, a desejada 'regeneração' do terreno ou seja um enriquecimento em princípios fertilizantes sob forma assimilável, que lhes dará possibilidade de serem de novo entregues à cultura».

De acordo com o modelo representado pela Equação 1.5, durante o período de cultura verifica-se

$$\frac{k_2}{k_1} - A_0 < 0$$

e portanto há um decréscimo do teor em matéria orgânica do solo, e subsequente redução do seu potencial produtivo, verificando-se ao fim de m anos que A toma o valor $A_m < A_0$.

Com o pousio deve verificar-se situação

$$\frac{k_2}{k_1} - A_m > 0,$$

em que A_m é agora o valor inicial de um novo período de n anos ao fim do qual $A_n = A_0$, ou seja, situação idêntica à situação inicial.

Acontece porém que sempre que nos afastamos de uma situação de equilíbrio é difícil voltar a restabelecer essa situação. Em situação de equilíbrio dA/dt é nulo, pelo que, a partir da Equação 1.3, pode escrever-se:

$$k_1 A - k_2 = 0 \quad \text{ou} \quad k_2 = k_1 A_e \quad \text{(Eq. 4.1)}$$

em que A_e é o teor de matéria orgânica correspondente ao nível de equilíbrio. Se substituirmos os valores de k_1 dado por esta última expressão na Equação 1.3, vem

$$\frac{dA}{dt} = k_2 \left(1 - \frac{A}{A_e} \right) \quad (\text{Eq. 4.2})$$

ou, o que é a mesma coisa, fazendo $A/A_e = p$,

$$\frac{dA}{dt} = k_2 (1 - p) \quad (\text{Eq. 4.3}),$$

expressões que nos mostram que a taxa da variação da matéria orgânica é tanto maior quanto mais afastado se encontra o seu valor actual do nível de equilíbrio. Assim, por exemplo, a variação do aumento do teor em matéria orgânica numa situação a 50 % do nível de equilíbrio deve ser dupla da de uma situação a 75 % do nível de equilíbrio.

O problema central do pousio consiste pois em determinar a duração deste, de forma a assegurar-se retorno a uma posição de equilíbrio uma vez definida esta situação em relação ao nível de equilíbrio.

Para a resolução deste tema em termos mais gerais convém conhecer as quotas partes com que a porção aérea e a porção subterrânea das plantas (ou melhor dos povoamentos vegetais) contribuem para os totais de matéria orgânica formada, bem como os respectivos coeficientes iso-húmicos.

Os elementos de que se dispõe para a abordagem do problema do pousio são, por um lado, dados provenientes de ensaios realizados por Almeida Alves em Elvas (3) e a sua identificação far-se-á utilizando as regras referidas em [2.1], e, por outro, informações obtidas em diversos trabalhos que serão referidos na devida altura de acordo com as regras habituais de referenciação bibliográfica.

4.2. A produção de matéria orgânica nos pousios

São muito poucos os estudos que facultem informação quanto à produção de matéria verde (ou seca) de pousios. A maior parte dos trabalhos em que se estudam pousios limita-se a caracterizar a sua composição florística e só excepcionalmente aparecem elementos quantitativos respeitantes à produção de matéria orgânica, mas mesmo

QUADRO 4.1

Região	Local	Produção média da parte aérea (matéria seca) kg/ha
Caia (10)	Zona 1 (pastagem)	5076
	Zona 2 (pastagem)	3909
	Zona 3 (pastagem)	1143
Castelo de Vide (9)	Vale de Calcinhas (pousio de 1 ano)	2480
	Tapada da Cabeça (pousio de 1 ano)	3160
	Couto da Mão Parada (pousio de 2 anos)	3490
	Vale de Calcinhas (pousio de 2 anos)	2030
Elvas (17)	Tapada das Bonachas (pousio de 3 anos)	1540
	Argiloso 70	2109
	Arenoso 77	1463
	Cámbrico	1664
	Cámbrico Granito	1599 1906
Mora (15)	1.ª parcela	3600
	9.ª parcela	3500
	13.ª parcela (pousio de 3 anos)	1150
Moura (7)	Pastagem n.º 4 (pousio de 1 ano)	1703
	Pastagem n.º 3 (pousio de 2 anos)	1137

QUADRO 4.1 (continuação)

Região	Local	Produção média da parte aérea (matéria seca) kg/ha
Redondo (18)	Inventário n.º 1 (pastagem de 20 anos, gadanhada) Inventário n.º 2 (pousio de 2 anos, c/gado) Inventário n.º 3 (pousio de 1 ano, c/gado) Inventário n.º 4 (pousio de 1 ano, s/gado) Inventário n.º 5 (pousio de 2 anos, c/gado) Inventário n.º 6 (pousio de 1 ano, c/gado) Inventário n.º 7 (pousio de 1 ano, s/gado) Inventário n.º 8 (pousio de 1 ano, c/gado) Inventário n.º 9 (pousio de 1 ano) Inventário n.º 10 (pousio de 2 anos) Inventário n.º 11 (pousio de 2 anos, s/gado)	6761 580 1689 1323 877 1590 1384 1452 506 965 1856
Aviz (20)	2 (pousio de 1 ano) 5 (pousio de 1 ano)	5200 2700
Grândola (36)	Inventário n.º 2 (pousio de 1 ano, s/gado) (pousio de 1 ano, c/gado) Inventário n.º 3 (pousio de 2 anos, c/gado) (pousio de 2 anos, s/gado) Inventário n.º 6 (pousio de 2 anos, c/gado) Inventário n.º 7 (pousio de 1 ano, c/gado)	3019 1746 1614 1178 810 1541

esses dados são pouco precisos no que diz respeito à evolução dessa produção no tempo.

Da pesquisa bibliográfica a que se procedeu quanto a trabalhos onde se reunisse informação quantitativa da produção de matéria orgânica nos pousios no Alto Alentejo foi possível obter alguns dados que, sem permitirem uma caracterização razoável dessa produção, nos forneceram alguns elementos que ajudam a reduzir os limites dentro dos quais é provável que os valores se circunscrevem (Quadro 4.1).

Assim, por exemplo, Malato Beliz & Abreu (10) obtiveram para pastagens observadas no Caia em solos de várzea valores de produção de matéria orgânica que oscilam entre 5 492 e 26 970 kg/ha de matéria verde, o que, admitindo 80 % de humidade, corresponde a produção que varia entre 1 098 e 5 394 kg/ha de matéria seca, sendo o valor médio de 3 376 kg/ha de matéria seca.

Em Castelo de Vide, Malato Beliz (9) encontrou em solos razoavelmente ricos em matéria orgânica (M. O. = 3,4 %) produções médias em pousios de 2 anos 2 760 kg/ha de matéria seca e em pousios de 3 anos 1 540 kg/ha de matéria seca, o que conduz a uma produção média de 2 373 kg/ha de matéria seca, entre extremos observados de 3 870 e 640 kg/ha.

Nos arredores de Elvas, Chaves (17) encontra em solos de variados tipos, desde o arenoso ao argiloso, produções em matéria seca que variam entre 1 463 e 2 109 kg/ha, com uma média geral de 1 748 kg/ha. E para Aviz, Coutinho (20) apresenta valores da produção de pousios, expressa em matéria seca, que vão de 2 700 a 5 200 kg/ha, com uma produção média de 4 294 kg/ha.

Os elementos colhidos por Chicau (18) para Montoito (Redondo), mostram-nos valores bastante homogêneos para a produção dos pousios já no segundo ano, excepção feita aos inventários nos pousios existentes em solos mediterrânicos vermelhos e amarelos (de conglomerados e rochas detríticas não consolidadas) cujos resultados são nitidamente anómalos. De assinalar também o valor da produção da pastagem com cerca de vinte anos de duração existente num solo coluvial e que foi superior a 6 500 kg/ha de matéria seca.

Para Moura, região já um pouco afastada do Alto Alentejo mas cujos dados nos podem ainda ser muito úteis, há elementos colhidos por Uva Cansado (15) e Paes de Azevedo *et al.* (7). Em terrenos incultos em parcelas próximas do Rio Guadiana, Uva Cansado observou valores da produção do estrato herbáceo da ordem de 3 500 kg/ha de

matéria seca e num pousio de três anos a produção que registou foi de 1 150 kg/ha. Por sua vez Paes de Azevedo *et al.* avaliaram em solos mediterrâneos pardos a produção média de matéria seca de um pousio de um ano em 1 703 kg/ha e a de um pousio de dois anos em 1 137 kg/ha. Há também alguma informação facultando dados respeitantes à região de Grândola, sendo os valores encontrados por Mata (36) da mesma ordem de grandeza dos referentes às outras regiões analisadas.

Dados obtidos na província extremeña de Badajoz por Cima Garcia (19) levaram-no a admitir uma produção média anual de matéria verde de 12 159 kg/ha (cerca de 2 675 kg/ha de matéria seca) oscilando os valores extremos encontrados entre um máximo de 5 130 kg/ha e um mínimo de 770 kg/ha de matéria seca.

Quanto à evolução no tempo da produtividade em matéria orgânica dos pousios, apenas os estudos referentes a Castelo de Vide, ao Redondo, a Moura e Grândola fornecem alguns elementos, elementos esses que apesar de não permitirem quantificar convenientemente um esquema representativo dessa produção parecem no entanto confirmar conhecimento baseado em dados de observação corrente. Assim a produção da massa verde da parte aérea da vegetação herbácea é maior nos primeiros anos de pousio, decaindo depois, podendo no entanto acontecer que a produção do segundo ano seja superior à registada no primeiro ano de pousio.

Pode tentar-se além disso um processo indirecto de avaliação da produção de matéria orgânica nos pousios procurando estimar-se esta em função dos encabeçamentos que os pousios comportam.

Também esta via não é fácil de explorar dada a conhecida falta de valores da densidade pecuária aceitável para os diversos tipos de unidades agrostológicas. Não considerando os casos de excepção da potencialidade de produção forrageira de algumas das pastagens — que não devem ser consideradas pousios — referidos no Quadro 4.1, verifica-se com muita frequência, em especial nos poucos exemplos conseguidos para pousios de mais longa duração, que os valores da produção da parte aérea da vegetação não permitem grandes encabeçamentos.

Na verdade não só as produções totais registadas são muito pequenas como ainda há a considerar a proporção de matéria verde produzida e que não tem interesse forrageiro e o facto de o gado não conseguir consumir toda a forragem produzida. Os números apresentados quer por Chicau (18) quer por Paes de Azevedo *et al.* (7) sugerem que a quota-parte da matéria verde sem interesse forrageiro dimi-

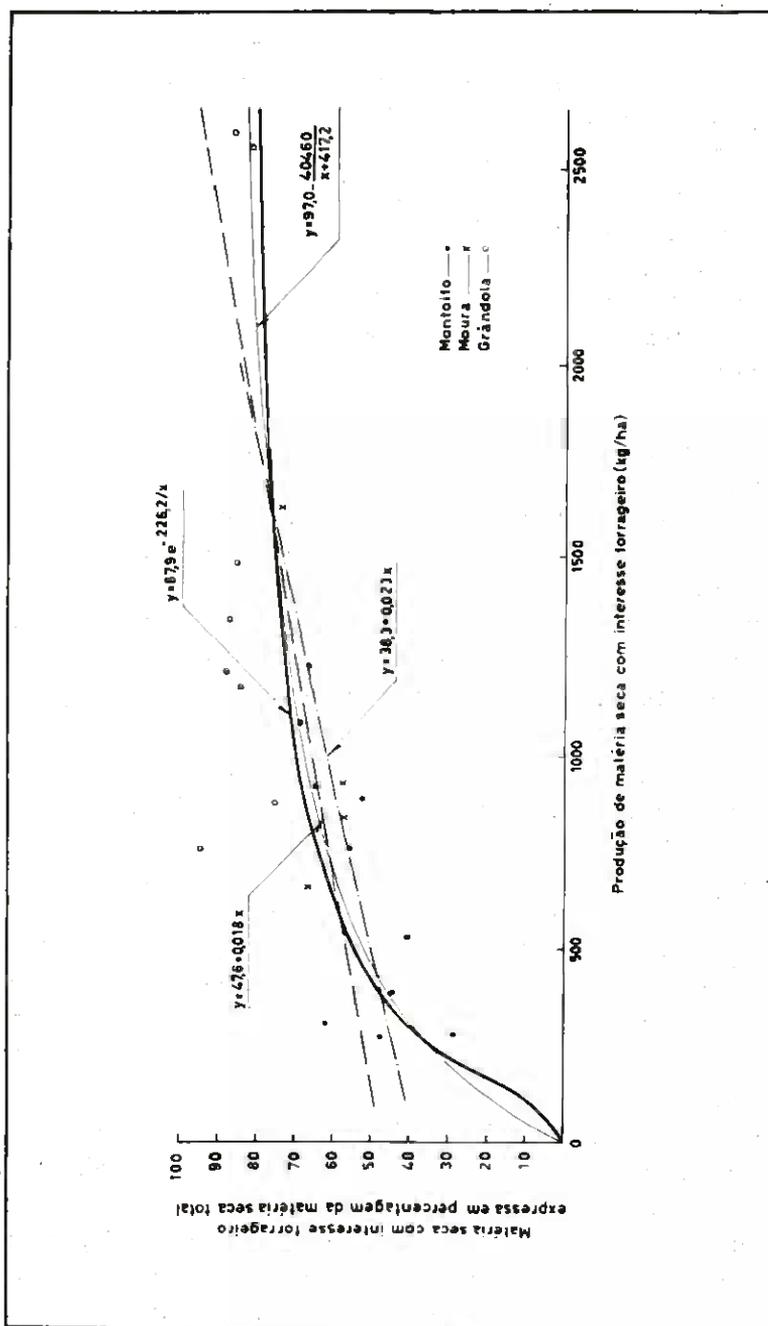


Fig. 4.1 — Relações entre a produção de matéria seca com interesse forrageiro e a produção de matéria seca total, em pousios

nui quando a produção total aumenta, se bem que os dados facultados por Mata (36) pareçam indicar o contrário (Fig. 4.1).

A estes dados ajustam-se bem curvas assintóticas (Fig. 4.1), quer do tipo hiperbólico

$$y = 97,0 - \frac{40\,460}{x + 417,2} \quad (R = 0,747) \quad (\text{Eq. 4.4}),$$

quer do tipo exponencial

$$y = 87,9 e^{-226,2/x} \quad (R = 0,742) \quad (\text{Eq. 4.5}),$$

onde x é a produção de matéria seca com interesse forrageiro, em kg/ha, e y a produção de matéria seca com interesse forrageiro expressa em percentagem da produção de matéria seca total do pousio*.

Em face do que ficou exposto não deve ser de admirar que os encabeçamentos de gado ovino sejam com muita frequência inferiores a uma cabeça/ha. Assim se considerarmos que um ovino de cerca de 50 kg de peso vivo necessita de 0,8 UF/dia, que o pousio é utilizado à volta de 8 meses por ano e que para perfazer uma UF são necessários 7 kg de matéria verde, ao encabeçamento de (1 cabeça/ha)/8 meses deverá corresponder uma produção de matéria verde utilizável de 1 500 kg/ha (300 kg/ha de matéria seca) e, atendendo aos dados reunidos na Fig. 3.1, a 3 400 kg/ha de matéria verde total (680 kg/ha de matéria seca total).

Quer Chicau (18) quer Mata (36) referem encabeçamentos compreendidos entre 1 e 2 cabeças/ha. Por outro lado elementos facultados por Cary & Firmino** permitem admitir para certas áreas do Alto Alentejo encabeçamentos de 1,13 cabeças/ha para pousios de mais baixa produtividade e encabeçamentos de 1,65 cabeças/ha para pousios de zonas mais favorecidas. Tais encabeçamentos, seguindo o mesmo

(*) Para a gama de valores que interessa ao caso vertente as equações de regressão lineares obtidas quer utilizando todos os dados

$$y = 47,6 + 0,018 x \quad (F_{1;21} = 14,49) \quad (\text{Eq. 4.6}),$$

quer não considerando os dados apresentados por Mata (36).

$$y = 38,3 + 0,023 x \quad (F_{1;14} = 14,19) \quad (\text{Eq. 4.7}),$$

onde y e x tem o mesmo significado que nas Equações 4.4 e 4.5, oferecem precisão mais que suficiente e são apesar de tudo muito semelhantes (Fig. 4.1).

(**) Comunicação particular. Agradece-se ao eng. F. Caldeira Cary a cedência destes elementos e a autorização para publicação de um extracto com os dados relevantes para o caso vertente (Anexo III).

rაციócinio atrás feito, conduzem respectivamente a produções de matéria seca total da ordem dos 770 e 1 120 kg/ha.

Se os trabalhos de fitogeografia (ou de fitossociologia) entre nós mais frequentemente publicados são aceitáveis quanto a informação respeitante à composição florística da vegetação, já muito pouca informação quantitativa oferecem quanto à produção da parte aérea da vegetação e ignoram por completo a parte subterrânea, quer qualitativa quer quantitativamente. Daí mais uma dificuldade no cômputo da quantidade de matéria orgânica incorporada ao solo devido aos pousios.

Villax & Alves (51) e Villax (50) apresentam dados referentes à produção de raízes por algumas plantas, exprimindo o peso da parte subterrânea dessas plantas em percentagem do peso da parte aérea. Os valores obtidos por estes autores são com muita frequência muito elevados, ultrapassando largamente os mais vulgarmente citados (22) (35). E é devido ao facto de esses valores serem algo elevados que Almeida Alves (3, p.91) acaba por preferir as percentagens de raízes calculadas por Pantanelli (43) e que são da ordem dos 10-12 %.

Como hipótese de trabalho vamos aceitar quotas-partes da porção subterrânea na produção total das plantas que constituem os pousios da ordem dos 15 %, 25 %, 33 % e 50 % e calcular ulteriormente deste modo a produção total, em matéria seca, de alguns dos pousios acima referidos e para os quais há informação quanto à produção da parte aérea.

4.3. A duração do pousio

Se, como foi apresentado em [4.1], o pousio é um longo período de repouso durante o qual se consegue, pelo menos em parte, a regeneração do terreno (ou seja o seu enriquecimento em princípios fertilizantes, que lhe permitirá a possibilidade de ser de novo entregue à cultura), o problema crucial do pousio é o da determinação do momento a partir do qual está assegurada essa regeneração. Ou, o que é a mesma coisa, a determinação do período de n anos de pousio que é necessário fazer seguir ao período de m anos durante o qual o terreno foi sujeito a determinada sequência de culturas.

O estudo desta questão pode ser centrado na análise do modelo de rotação descontínua considerado por C. Helbling (23).

Alq → Cult → Cult → Pn

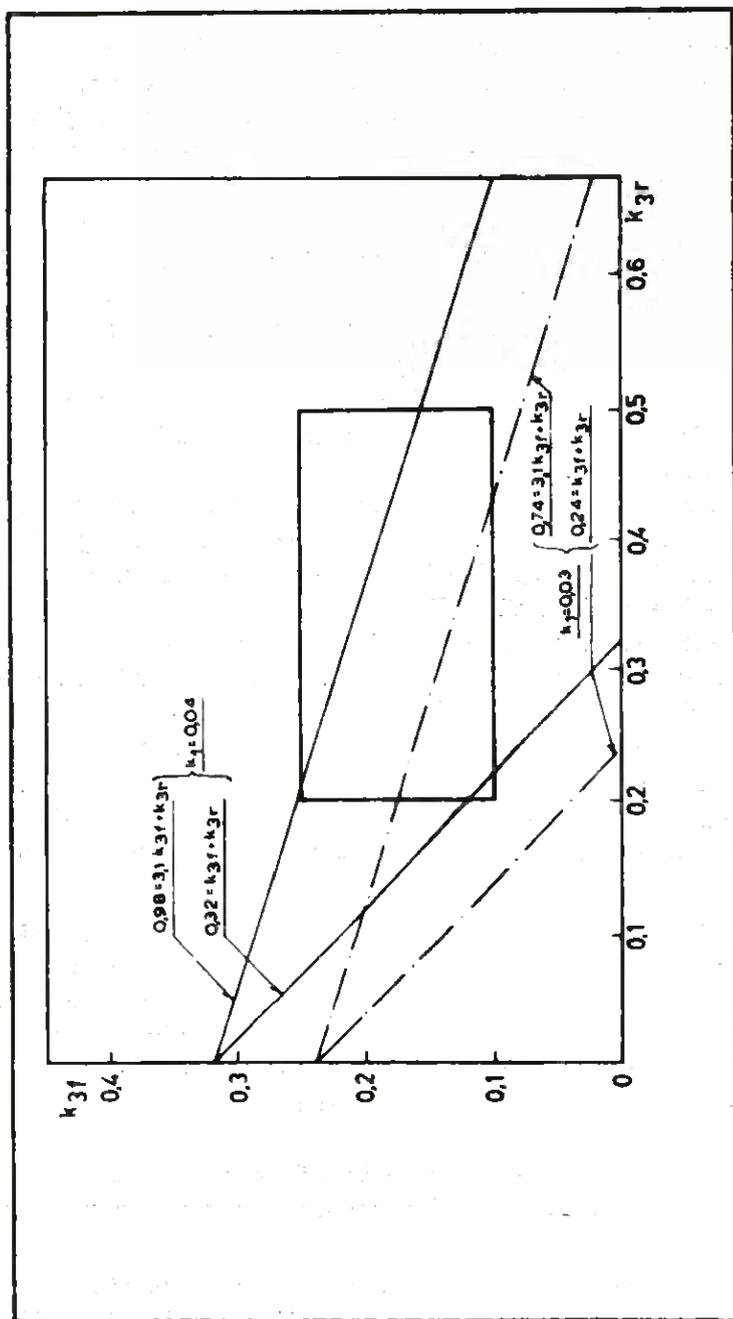


Fig. 3.1 — Determinação, por métodos gráficos, dos valores dos coeficientes aparentes de mineralização, k_{31} , e iso-húmico, k_{32} , do grão de Gramincha

e verificar o que sucede quando se ensaiam duas ou três situações de ocorrência frequente no Alto Alentejo.

Consideremos em primeiro lugar o alqueive não revestido, trigo e aveia como as culturas e vamos tentar averiguar qual o número de anos que o pousio deve durar para regeneração da matéria orgânica do solo mineralizada durante o período em que o terreno esteve sujeito àquelas culturas.

Continuando a admitir a hipótese do ecossistema de substituição vir a ser praticado durante período de tempo suficientemente longo para se terem estabelecido condições de equilíbrio, volta a aceitar-se como ponto de partida situação idêntica à dos casos analisados em [3.2] e [3.3], isto é, $A_0 = 27\ 000$ kg/ha.

Os valores de k'_{10} para o alqueive e o trigo podem fixar-se em 0,02 e para a aveia em 0,015. A perda em matéria orgânica no triénio é portanto igual a 1485 kg/ha.

Para facilitar os cálculos necessários à determinação dos valores da matéria orgânica incorporável ao solo pelos pousios organizou-se uma tabela auxiliar — o Quadro 4.2 — a partir de elementos reunidos no Quadro 4.1 e da Equação 4.7.

Admita-se além disso que no primeiro ano de pousio a matéria seca das raízes é igual a 33 % da produção total (da parte aérea e da parte subterrânea das plantas do pousio) e que no segundo ano, e subsequentes, a percentagem sobe para 50 %; considere-se um coeficiente iso-húmico igual a 0,2 no primeiro ano de pousio e igual a 0,15 no segundo ano e seguintes*. Os valores de k'_{10} assim calculados para $n = 1$, $n = 2$ e $n \geq 3$ são respectivamente iguais a 0,011, 0,011 e 0,008, pelo que $\bar{k}'_{10} = 0,01$.

O período durante o qual se poderia verificar a regeneração do potencial produtivo de um terreno sujeito a tratamento e em condições que tornem válidos aqueles valores, seria de seis anos se a produtividade do pousio em matéria seca fosse da mesma ordem de grandeza da dos valores médios inscritos no Quadro 4.2, e de cinco anos se a produtividade correspondesse aos valores mais elevados ali considerados.

Se admitirmos a hipótese de se tratar de uma situação em que actuem menos intensamente os factores que favorecem a mineraliza-

(*) Estes valores do coeficiente iso-húmico são levemente inferiores aos do coeficiente iso-húmico da sideração com o grão da Gramícea e mais de acordo com os sugeridos por Monnier (37) e por Greenland & Nye (22).

QUADRO 4.2

	Idade do pousio					
	1 ano		2 anos		3 ou mais anos	
	Extremas	Média	Extremas	Média	Extremas	Média
Produção da parte aérea do pousio, com interesse forrageiro (matéria seca, kg/ha)	1700 — 1020	1325	1020 — 610	790	610 — 315	455
Produção total da parte aérea dos pousios (matéria seca, kg/ha)	2165 — 1645	1905	1645 — 1160	1400	1160 — 690	925
Porção da produção da parte aérea do pousio disponível para incorporação no solo (matéria seca, kg/ha)	465 — 625	580	625 — 550	610	550 — 375	470

ção da matéria orgânica do solo e fixarmos então os valores de k'_{10} para o alqueive e o trigo em 0,01 e para a aveia em 0,008, as perdas em matéria orgânica no triênio somam 756 kg/ha e os períodos de recuperação, para as mesmas produtividades dos pousios consideradas no caso precedente, são respectivamente iguais a três e dois anos.

A duração dos períodos de regeneração do potencial produtivo de um terreno através do pousio, por este processo determinada, parece perfeitamente plausível, correspondendo os períodos mais longos a casos tão frequentemente referidos em situações desfavoráveis e os períodos mais curtos às situações mais vulgarmente descritas ao caracterizar-se a agricultura do Sul.

Mas para podermos aceitar a fixação dos períodos de duração dos pousios pelo processo acabado de referir, é necessário definir posição quanto à validade das hipóteses de trabalho anteriormente admitidas [3.2] respeitantes ao valor da quota-parte com que a porção subterrânea contribui para a produção total das plantas que constituem o pousio. Nos casos acabados de analisar foram utilizados apenas os mais elevados valores da percentagem de produção de raízes (33 e 50 %); se se utilizarem os valores mais baixos a duração do pousio será muito mais longa, atingindo valores de rejeitar pela sua pouca verosimilhança*.

São pois difíceis de aceitar os mais baixos valores das quotas-partes das raízes na produção da matéria verde total atrás considerados, sendo de preferir os valores mais elevados, contrariamente ao que admite Almeida Alves (3, p. 91)**.

A determinação do período de duração dos pousios pode porém ser tentada ainda por outros processos. É possível deduzir das Equações 3.1 e 3.3 a expressão que nos dá a taxa da variação anual da matéria orgânica expressa em função do nível final de equilíbrio:

$$\frac{dA/dt}{Ae} = \frac{k_1 Ae (1-p)}{Ae} \quad (\text{Eq. 3.9}).$$

(*) Se a produção das raízes fosse 15 % da produção total de matéria seca no primeiro ano de pousio e 25 % no segundo ano e seguintes, a duração do pousio seria, para o caso das produtividades médias consideradas nas situações anteriormente analisadas, de doze e seis anos.

(**) Foi pena que neste caso o espírito crítico e a capacidade de inovação de Almeida Alves — o iniciador entre nós de uma nova época de investigação científica em problemas de agricultura geral — se tenham deixado vencer pelos seus escrúpulos e modéstia e terem-no levado a preferir valores facultados por

Se se admitir que o teor em matéria orgânica está a 60 % da posição de equilíbrio, o que não repugna aceitar para muitos solos do Alto Alentejo — basta ver o que se passa com os valores dos teores em carbono e em azoto determinados em dois perfis do solo FA 85 (Anexo I) —, vem que durante o período de cultura se verifica

$$\frac{dA/dt}{Ae} = \frac{k'_{cult} Ae \cdot 0,6}{Ae} = 0,6 k'_{cult},$$

e durante o período de pousio

$$\frac{dA/dt}{Ae} = \frac{k'_{ipo} Ae (1 - 0,6)}{Ae} = 0,4 k'_{ipo},$$

donde

$$\frac{0,6 k'_{cult}}{0,4 k'_{ipo}} = 1,5 \frac{k'_{cult}}{k'_{ipo}},$$

pelo que, para uma taxa média de mineralização durante o período de cultura $k'_{cult} = 0,02$ e para uma taxa média de enriquecimento durante o pousio $k'_{ipo} = 0,01$, tal situação estará assegurada sempre que o número de anos de pousio seja três vezes o número de anos de cultura. Se em vez de se admitir que o teor em matéria orgânica representa não 60 % mas sim 50 % do nível de equilíbrio, esta nova situação fica assegurada com um número de anos de pousio duas vezes o número de anos de cultura. Se pelo contrário quizessemos regressar a um nível de 80 % da situação de equilíbrio seriam já necessários oito anos de pousio por cada ano de cultura.

5. OUTROS CASOS

5.1. *A manta morta em solos podzólicos*

Hans Jenny apresentou em 1949 (33) modelo matemático para a formação da manta morta em solos florestais, modelo esse já divulgado entre nós (4).

outrém aos que ele próprio obteve e que parecem estar muito mais próximos das nossas realidades.

De acordo com esse modelo, em condições de equilíbrio, as adições de matéria orgânica - S - são compensadas pelas perdas verificadas no mesmo período de tempo - $k' Ae$ -, nas quais se podem distinguir as perdas registadas na manta morta (folhada e camada húmifera) - Fe - e as perdas na própria matéria orgânica adicionada S, ou seja

$$S = k' (Fe + S) \quad (\text{Eq. 5.1}),$$

admitindo-se que a constante de decomposição k' é a mesma quer para as perdas registadas na manta morta quer para as que se verificam na matéria orgânica adicionada.

O valor de Fe deve ser determinado quando a quantidade de manta morta (folhada e camada húmifera) apresenta o seu mínimo no Outono, no momento que imediatamente precede a queda da folhagem.

Vamos tentar aplicar este modelo a dados apresentados por Arlinda de Oliveira respeitantes a dois podzóis não-hidromórficos, o Pz 2/653 examinado no talhão n.º 56 da Mata Nacional de Leiria, formado em areias e sob povoamento de pinheiro bravo de 50 anos de idade, e o Pz 303/651 examinado perto de Alvalade, derivado de arenito e sob povoamento de sobreiro com cerca de 80 anos de idade (41).

5.1.1. *Em pinhal*

Para o caso do podzol Pz 2/653, a quantidade de folhada e camada húmifera, expressa em matéria seca, foi avaliada atendendo ao teor em matéria orgânica ($C\% \times 1,724$) doseada naquelas camadas, e estimada em 2389,04 g/m². Como a colheita do material foi feita no mês de Fevereiro o valor assim determinado não corresponde de facto ao da mais correcta avaliação de Fe, estando errado por excesso.

Como não se dispõe de dados que permitam calcular S, mas como por outro lado é conhecida a quantidade de agulhas e de ramos, pode tentar-se resolver o problema indirectamente e por aproximações sucessivas.

Da equação 5.1 vem

$$S = \frac{k' Fe}{1 - k'}$$

pelo que, se arbitrarmos para k' valores semelhantes aos obtidos por Jenny (33) em povoamentos de pinheiro ponderosa existentes na Califórnia, será possível conseguir uma primeira avaliação de S.

Assim se tomarmos $k' = 0,0293$ (valor para a estação localizada a menor altitude) vem para S o valor $72,11 \text{ g/m}^2$.

Como a quantidade total, em matéria seca, de agulhas existentes nos pinheiros da estação onde foi examinado o perfil Pz 2/653 é igual a $219,99 \text{ g/m}^2$ (41), as adições anuais de matéria orgânica representam aproximadamente um terço daquele valor ($72,11/219,99 = 0,3277 \approx \approx 33\%$). Ora a vida média da agulha do pinheiro bravo é cerca de três anos pelo que não será talvez imediatamente de rejeitar o valor acima arbitrado para k' , tanto mais que, apesar de S ser baixo, são conhecidos valores de quedas de folhedeo, em pinhais, da mesma ordem de grandeza do que foi calculado por este processo (13) (46).

Mas sabe-se que, não obstante a sua importância ser marcante, não é apenas o folhedeo que contribui para a constituição da manta morta e uma vez que, devido ao modo como o pinhal onde o perfil foi observado tem vindo a ser tratado, quer o estrato arbustivo quer o herbáceo são reduzidos, pode talvez atribuir-se às agulhas uma elevada quota-parte nessa contribuição. Se essa quota-parte da contribuição do folhedeo for de 66% (13) (34) (46) e a continuar a aceitar-se a hipótese de que cerca de um terço das agulhas do pinhal cai por ano, o valor de S deve ser de $108,16 \text{ g/m}^2$ e não de $72,11 \text{ g/m}^2$.

Para uma adição anual de $108,16 \text{ g/m}^2$ de material a manta morta devia porém, para condições de quase-equilíbrio, ser da ordem dos $3583,5 \text{ g/m}^2$ quando o valor encontrado é, como vimos, de 2389 g/m^2 , ou seja uma diferença para menos de $1194,5 \text{ g/m}^2$ de matéria seca. Ora o talhão onde foi colhido o material de estudo «é a zona intensamente submetida à prática da remoção das camadas orgânicas (rapão)» (41) e não repugna admitir que sejam retiradas através desta prática cerca de 15 t/ha de material fresco*.

Por outro lado, e empregando apenas análise gráfica, a semi-temperatura ou temperatura meante determinada por Jenny (32) para a Califórnia conduz a um valor da manta morta ao nível do mar da ordem das $4\ 800 \text{ g/m}^2$. Como acontece porém que aquela semi-temperatura é das mais elevadas que se conhece, bastaria que ela se aproximasse dos valores usuais para se obter uma mais baixa avaliação da manta morta ao nível do mar. Em todo o caso a discrepância é sufi-

(*) Em 1949 Arlinda de Oliveira (40) ao analisar as práticas da retirada da «caruma» e do «rapão» na Mata de Leiria atribuiu respectivamente à «caruma» e ao «rapão» as densidades aparentes de 0,1 e 0,5. As quantidades de folhada e de

cientemente pequena para não levar à rejeição das premissas de que se partiu.

De acordo com modelo de Jenny (33) ao fim de t anos a quantidade de manta morta que deve encontrar-se é dada pela expressão

$$F(t) = Fe [1 - (1 - k')^t] \quad (\text{Eq. 5.2}),$$

ou, fazendo

$$k_1 = -\log_e (1 - k') \quad (\text{Eq. 5.3}),$$

por

$$F(t) = Fe \left(1 - e^{-k_1 t} \right) \quad (\text{Eq. 5.4}).$$

Continuando a aceitar que k' é igual a 0,0293, o período de tempo necessário para a manta morta atingir 95 % do valor da situação de equilíbrio pode ser calculado utilizando esta última equação, tendo-se obtido o valor de 101 anos.

5.1.2. *Em montado*

Seguindo método semelhante ao empregado para o caso estudado em pinhal, a quantidade de matéria orgânica, para colheitas feitas em

manta morta (folhada + camada humifera) que deveriam existir nos podzóis por ela estudados, calculadas utilizando estes valores das densidades aparentes, variariam para o material fresco entre 12 e 39 t/ha para a folhada e entre 20 e 121 t/ha para a manta morta, valores muito elevados ultrapassando em regra os mais frequentemente citados na literatura (42) (46). Utilizando dados posteriormente apresentados pela mesma autora (41, p. 144) foram recalculados os valores das densidades aparentes e obtiveram-se para a folhada as densidades de 0,012 (peso seco) e 0,020 (material fresco) e para a camada humifera 0,259 (peso seco) e 0,390 (material fresco). Refeitos os cálculos empregando estes valores, o peso da folhada dos podzóis em questão varia entre 1,2 e 4,5 t/ha (peso seco) e entre 2,0 e 7,2 t/ha (material fresco) e o da manta morta entre 12 e 30 t/ha (peso seco) e entre 20 e 47 t/ha (material fresco), quantidades que se situam ao nível de uma faixa à volta de, e um pouco abaixo da média dos valores mais frequentes.

Remezov & Pogrebnyak (45) citam valores da densidade aparente da folhada que variam entre 0,036 e 0,13, pelo que se pode talvez admitir que a última avaliação feita para as densidades aparentes do material colhido na Mata de Leiria deve estar errada por defeito, principalmente a respeitante à folhada. Se na realidade as densidades aparentes forem mais elevadas que as utilizadas nos últimos cálculos, isso conduzirá a maiores valores para a folhada e a manta morta, o que aliás não repugna aceitar.

Março, foi estimada em 554,54 g/m². Este valor deve já corresponder muito aproximadamente ao de Fe, pois com muita frequência o mínimo da queda da folhagem em montado se verifica no fim do Inverno, caindo a maior parte do folhedo durante a Primavera e o princípio do Verão (44).

Continuando a empregar o método das aproximações sucessivas e admitindo que a quota-parte da contribuição do folhedo varia entre 66 % e 85 % (13) (44) (46), foram feitas diversas tentativas para a determinação dos valores de S e k', verificando-se que, para valores de k' iguais a 0,17 e a 0,14, se obtinham, para aqueles limites de contribuição do folhedo, uma queda anual de folhas da ordem dos 76 g/m². Como a quantidade total, em matéria seca, das folhas das árvores é igual a 115 g/m² (41), as adições anuais de matéria orgânica do folhedo representam cerca de 66 % daquela quantidade, o que conduz a uma vida média das folhas do sobreiro de cerca de ano e meio.

A taxa de mineralização assim obtida é aproximadamente cinco vezes superior à que parece verificar-se para a manta morta do pinhal de Leiria, o que não é de admirar dadas as diferenças, por um lado, dos ciclos de bases das essências que constituem os povoamentos e, por outro, das condições climáticas predominantes nas duas estações.

No Sul de França, Rapp (44) encontrou para montado de azinho sobre solo fersialítico com reserva cálcica, formado a partir de calcários duros cársticos, uma constante de decomposição k' igual a 0,26. As características dos tipos de solos (e nomeadamente a natureza da rocha-mãe) são mais que suficientes para justificar as enormes diferenças encontradas para as constantes de decomposição.

A semi-vida ou semi-decomposição é, para o caso observado no Sul de França, de 2,3 anos (44) e deverá estar, para o montado de Alvalade, compreendida entre 3,7 e 4,6 anos.

O número de anos necessários para a folhada atingir 95 % do valor da situação de equilíbrio foi calculada utilizando-se a Equação 4.4, tendo-se obtido para k' = 0,14 um período de cerca de 20 anos e para k' = 0,17 aproximadamente 15 anos.

5.2 O melhoramento das terras de areia com moliço

Sempre que se verifique conjugação de grandes disponibilidades de matéria orgânica e da possibilidade de adequado (e fácil) governo da água, consegue-se a transformação de areais em solos agrícolas

de alta produtividade. Alguns exemplos desta conjugação se podem buscar no nosso País, dos quais se podem citar as areias da «outra banda» de Lisboa, as terras das gafanhas de Aveiro e os areais da Aguçadoura. No primeiro caso a matéria orgânica utilizada no seu aproveitamento é proveniente dos lixos da cidade de Lisboa ao passo que nos dois outros casos a fonte de matéria orgânica é o mar que fornece o moliço, o sargaço e o pilado ou mixoalho.

Há elementos que permitem uma avaliação quantitativa da evolução dos solos sujeitos a esta forma de aproveitamento quer para Aveiro quer para a Póvoa de Varzim, sendo possível estudar «a transformação daquela areia estéril em solo agrícola» ... «feita exclusivamente à custa do moliço», como escreveu Almeida Alves (2).

5.2.1. A taxa de acumulação de matéria orgânica

Com os elementos apresentados por Sieuve Afonso (1) e Botelho da Costa & Almeida Alves (12) calcularam-se os valores de k'_{1m0} para areias de gafanha cujo aproveitamento foi possível devido à incorporação de moliço e a partir de dados de Sieuve Afonso determinaram-se também os valores de k'_{1n} , utilizando para a avaliação destes parâmetros os métodos de cálculo já descritos.

Os valores assim obtidos (Quadro 5.1) mostram-nos uma taxa de enriquecimento do solo em matéria orgânica extraordinariamente elevada — levemente superior a 2%. Admitindo que a taxa real era de facto de 2% pode tentar-se avaliar os quantitativos das adições anuais necessários para assegurar aquele enriquecimento.

QUADRO 5.1

Sieve Afonso (1)				Botelho da Costa & Almeida Alves (12)				
MO ₀		0,14	N ₀		0,021	MO ₀		0,24
k'_{1m0}	MO ₅₀	-0,037	k'_{1n}	NO ₅₀	-0,016	k'_{1m0}	MO ₅₀	-0,022
	MO ₁₀₀	-0,016		NO ₁₀₀	-0,008		MO ₁₀₀	-0,023

Se a adição de moliço foi concentrada numa camada de 0,30 m de espessura, e se arbitrarmos para a densidade aparente o valor de

1,5, MO. toma os valores de 6,3 t/ha (dados de Sieuve Afonso) e de 10,8 t/ha (dados de Botelho da Costa & Almeida Alves) e MO_{100} os valores de 46,8 e 105,3 t/ha respectivamente. Substituindo estes valores na Equação 1.5 obtém-se por sua vez para k_2 os quantitativos de 2,4 t/ha e 1,1 t/ha. Se a espessura considerada no tratamento for apenas de 0,20 m estes últimos valores reduzem-se respectivamente para 1,57 e 0,71 t/ha.

Segundo os dados de Tavares de Sousa (49) em média o moliço tem 71 % de humidade e no peso seco há 26,5 % de matéria orgânica. Se admitirmos para o coeficiente iso-húmico do moliço os valores extremos em geral atribuídos ao coeficiente iso-húmico do estrume (0,2 e 0,5), aos quantitativos de 1,1 e de 2,4 t correspondem quantidades de moliço fresco respectivamente da ordem das 28 e das 72 t, e das 62 e das 156 t. Por sua vez, para os quantitativos de 0,71 e 1,57 t, tomará respectivamente valores compreendidos entre 18 e 46 t e entre 41 e 102 t.

Não considerando os mais altos valores desta forma obtidos (consequentes da aplicação do mais baixo coeficiente iso-húmico e mais elevada quantidade de moliço) que são obviamente exagerados, os outros não são difíceis de aceitar, e correspondem a quantitativos de emprego de moliço que de facto devem ter sido vulgares na região, de acordo com o modo como Tavares de Sousa caracteriza a aplicação de moliço às culturas*:

«Quando a estrumação é de moliço simples, as quantidades a empregar por hectare variam entre 15 e 20 marés ou sejam 52,5 a 70 t/ha. É considerada como boa estrumação 25 marés por hectare. Note-se que esta maneira de proceder é repetida todos os anos, quer com moliço simples ou misturado com estrume de curral, quer só com estrume de curral. E até é bem vulgar estrumarem-se depois os milhos novamente com estrume de curral, enterrando-o quando fazem a lavoura» (49, p. 74).

É de sublinhar que a taxa de enriquecimento do solo em azoto k'_{11} é bastante mais baixa que a da matéria orgânica total, podendo considerá-la centrada à volta de 0,01. Tal facto já tinha sido detectado por Botelho da Costa (11) pela análise da evolução da razão C/N.

(*) A rotação durante largos anos vulgarmente praticada na gafanha era «pastagem de Inverno (à base de azevém) → milho».

A partir dos elementos coligidos por Reis Moreira (38) calcularam-se os valores de k'_{1m0} e k'_{1n} para as areias da Aguçadoura beneficiadas pela aplicação do sargaço e do mixoalho ou pilado (Quadro 4.2).

QUADRO 5.2

MO ₀		0,91	N ₀		0,35
k'_{1m0}	MO ₁₀	-0,052	k'_{1n}	N ₁₀	-0,063
	MO ₂₀	-0,059		N ₂₀	-0,060

As taxas de enriquecimento determinadas, quer para o azoto quer para a matéria orgânica total, são extraordinariamente elevadas e confirmam a opinião expressa por Botelho da Costa de na Aguçadoura haver um «aumento gradual da matéria orgânica e de elementos nobres, mas notavelmente mais rápido que» nas gafanhas de Aveiro (11).

Seguindo método análogo ao utilizado para as areias de gafanha obtiveram-se para k_2 os valores de 6,18 e 9,27 t, considerando respectivamente espessuras de solo de 0,20 e 0,30 m.

Atendendo às fertilizações usadas na região (na sequência «batata → couve», a primeira cultura recebe 20 t de estrume, 10 t de sargaço seco e 3 t de mixoalho ou pilado seco e a segunda 15 t de mixoalho ou pilado verde) e aos teores médios da humidade dos fertilizantes empregados (38) — e se se admitirem para os coeficientes iso-húmicos os valores extremos de 0,2 e de 0,5 —, vêm para a fertilização orgânica total quantidades que variam entre 32 e 81 t/ha e entre 48 e 121 t/ha de material fresco.

Também não devem ser aqui de considerar os mais elevados resultados assim obtidos uma vez que correspondem a cálculos efectuados com valores de coeficientes iso-húmicos iguais a 0,20, tanto mais que o «sargaço só é aplicado depois de dessalgado seco e curtido em medas», podendo ser considerado «bastante mais rico que o moliço», e «além do sargaço, mas em menor escala, usa-se estrume (mal curtido e palhoso), que constitui um fertilizante de alto valor» (11). Os quantitativos calculados utilizando valores do coeficiente iso-húmico mais elevados são já perfeitamente aceitáveis.

5.2.2. *Outros componentes intervenientes no sistema*

As elevadas taxas de acumulação da matéria orgânica encontradas para as gafanhas de Aveiro e para os areais da Aguçadoura são, em parte, sem dúvida consequência das enormes quantidades de fertilizantes orgânicos que durante largos períodos de tempo têm vindo a ser incorporadas no solo. Mas tais incorporações maciças não são explicação suficiente para justificar a existência daquelas taxas, tanto mais serem elas verificadas em materiais de textura muito grosseira.

Outra componente do sistema de exploração da terra que desempenha papel importantíssimo neste aumento do teor em matéria orgânica do solo é o governo da água. Os trabalhos de Botelho da Costa (11) (12) apresentam evidência e justificação suficientes para o que acaba de se afirmar e para eles se remete o leitor interessado.

5.3. *A mobilização mínima*

Em ensaios em curso na Tapada da Ajuda desde 1966/67 tem sido possível acompanhar a evolução do teor em matéria orgânica de solos sujeitos a sistema de mobilização mínima. Os primeiros resultados publicados dizem respeito à evolução do carbono orgânico e mostraram tendência marcada para o enriquecimento do solo em carbono orgânico, variando as taxas anuais de acumulação encontradas, para a camada mais superficial (0 - 15 cm), entre 4,6 e 13,4 % nos diversos locais de prova (6). Os dados referentes ao azoto total mostram também um enriquecimento dos solos em azoto mas a taxa menor que a registada para o carbono (6 A).

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores Rui Pinto Ricardo e Zózimo de Castro Rego a leitura e as críticas que fizeram ao original. Ao engenheiro silvicultor João Tiago Nunes Mexia manifesto o meu reconhecimento pela ajuda prestada no tratamento matemático de certas questões bem como a colaboração dada no processamento estatístico de alguns dados.

RESUMO

O presente estudo da evolução do teor em matéria orgânica de alguns solos de Portugal sujeitos a diferentes tratamentos foi feito de acordo com os modelos apresentados por H. Jenny e S. Hénin. Face

aos dados disponíveis a análise daqueles modelos mostra-nos que não nos é possível determinar a taxa de destruição de matéria orgânica estável ou húmus e na grande maioria dos casos nem mesmo a taxa de destruição da matéria orgânica total, mas sim e apenas a taxa aparente de decomposição de matéria orgânica total, isto é, segundo o modelo simplificado, a equação de Salter & Green com forma que lhe deu Jenny.

Utilizando elementos de ensaios de Almeida Alves implantados em Elvas foram calculadas taxas aparentes de decomposição da matéria orgânica lábil (expressa esta em carbono orgânico e em azoto total) e de húmus, chegando-se à conclusão que para o Sul de Portugal a taxa aparente de decomposição da matéria orgânica na sequência alqueive → trigo deve estar normalmente compreendida entre 0,01 e 0,02, sendo de utilizar a primeira nas situações em que actuem menos intensamente os factores que favorecem a mineralização de matéria orgânica do solo e a segunda no caso oposto. Em casos particulares de condições excepcionalmente adversas é justificável a adopção de valores mais elevados, sendo então de admitir o valor de 0,03.

A determinação de valores do coeficiente iso-húmico foi possível para estrume palhoso, verificando-se que aquele deverá estar compreendido entre 0,27 e 0,18, e para a sideração de grão-da-gramicha para o qual o valor do coeficiente iso-húmico é 0,27.

O estudo dos efeitos do pousio foi muito dificultado pela falta de informação existente não só quanto à produção da parte aérea da vegetação mas também e fundamentalmente no que respeita à produção da parte subterrânea. A partir de elementos publicados acerca da produção da parte aérea da vegetação de pousios de duração vária e utilizando diversos valores (uns arbitrados, outros — aliás muito raros — provenientes de observações efectuadas no nosso País) da razão entre a produção da parte subterrânea e a produção da parte aérea foi possível calcular a duração de pousios para situações em que o teor de matéria orgânica do solo se mantenha a 50, 60 e 80 % da posição de equilíbrio, verificando-se que para as taxas médias aquelas situações ficariam asseguradas com um número de anos de pousio respectivamente duas vezes, três vezes e oito vezes o número de anos de cultura.

A taxa de mineralização da manta morta de pinhal estabelecida num podzol na Mata Nacional de Leiria é de 0,0293 e o período de

tempo necessário para a manta morta atingir 95 % do valor da situação de equilíbrio é cerca de 100 anos. Num montado de sobre instalado num podzol formado sobre arenito, próximo de Alvalade, a taxa de mineralização deve estar compreendida entre 0,17 e 0,14, a semi-vida ou semi-decomposição compreendida entre 3,7 e 4,6 anos e o número de anos necessários para a folhada atingir 95 % do valor de situação de equilíbrio entre 15 e 20 anos.

O melhoramento de terras de areia com moliço e outros fertilizantes orgânicos, tal como foi praticado nas areias da «outra banda» de Lisboa, nas terras das gafanhas de Aveiro e nos areais da Aguçadoura, foi também objecto de estudo, tendo-se verificado que nas areias das gafanhas de Aveiro a taxa média de enriquecimento se pode aceitar como sendo de 0,02 e que na Aguçadoura os valores são ainda mais elevados, da ordem de 0,06.

Referem-se ainda ensaios em solos sujeitos a sistema de mobilização mínima onde se verificam taxas de enriquecimento do carbono orgânico que variam entre 0,046 e 0,134 e do azoto total algo menores.

SYNOPSIS

Evolution of organic matter contents of some soils under different treatment

The evolution of organic matter contents of some soils of Portugal is studied following the models proposed by H. Jenny and S. Hénin. The data available unfortunately does not permit the full utilization of these models; the determination of the rate of destruction of the stable organic matter or humus is never possible; in some cases it is possible to evaluate the rate of destruction of the total organic matter but in most cases only the apparent rate of destruction can be assessed.

Utilizing data from experiments carried on «brown calcareous soils, of granites associated at calcareous deposits» and on «red mediterranean clay soils, of basic crystallophilic rocks», at the Estação de Melhoramento de Plantas near Elvas and presented by Almeida Alves (reference 3 of the literature cited), the apparent rate of destruction of labile organic matter (expressed either as organic carbon or as total nitrogen) and of the humus fraction, was calculated and it was admitted that for the sequence «worked fallow — wheat» the apparent rate must be between 0.01 and 0.02, the first value

recommended for situations where factors favourising mineralization of organic matter are not acting intensely, and the later one where the reverse situation occurs. In extremely adverse situations higher values of the rate of decomposition are recorded, and the value of 0.03 can be verified.

The iso-humic coefficient for farmyard manure rich in undecomposed materials and in straw was placed between 0.27 and 0.18, and for green manuring with dwarf vetch (*Lathyrus cicera*) was evaluated at 0.27.

The evaluation of the effects of the uncultivated fallow was a difficult one because the meagre information on production's evolution year after year of the vegetation, specially the production of the underground parts. With the scarce information available of root/shoot ratio obtained in the area under study and some information from other areas, it was possible to estimate the duration of uncultivated fallows, for situations where the soil organic matter contents would be maintained at 50, 60, and 80 % of the equilibrium position, and for such situations the number of years of uncultivated fallow are respectively twice, thrice and eight times the number of years of cropped land.

For a podzol developed over sand, under an old pine stand at the Mata Nacional de Leiria, the rate of mineralization of the litter is 0.029 and about 100 years is the lapse of time the litter needs to reach 95 % of the equilibrium situation value. In another podzol developed over soft sandstone, under a cork oak stand, near Alvalade, the rate of mineralization was estimated between 0.17 and 0.14, and the half-life must be between 3.7 and 4.6 years; about 15-20 years is the lapse of time the litter needs to reach 95 % of the equilibrium situation value.

The reclamation and improvement of coarse sandy soils of eolian origin with the incorporation of large quantities of sea weeds for periods of time extending from 20 to 100 years, was also studied and values of the rate of accumulation of soil organic matter was calculated as 0.02 for Aveiro and as 0.06 for Aguçadoura.

In «reddish brown soils of vertic character, derived from basalts», at Lisboa, under a minimum tillage system of cultivation for about a period of eight years time, the rate of accumulation of the soil organic carbon varied between 0.046 and 0.134, smaller rates for the total nitrogen were recorded.

BIBLIOGRAFIA

- (1) AFONSO, M. Sleuve — *A colonização da Gafanha. Subsídios para o seu estudo*. Relatório Final do Curso de Engenheiro Agrônomo. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa. (Ciclostilado). 1938.
- (2) ALVES, [J.] Almeida — *Terras da Gafanha*. Agros (Lisboa), 21(2):54-56. 1940.
- (3) ALVES, J. Almeida — *O problema da manutenção de fertilidade na agricultura do Sul. Notas para o seu estudo*. Melhoramento (Elvas), 14:1-458. 1961.
- (4) AZEVEDO, A. L. — *Aditamentos e anotações a Formação, Caracterização e Classificação dos Solos*. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa. (Ciclostilado). 1965/66.
- (5) AZEVEDO, A. L. — *Excertos das lições de Agricultura Geral e Máquinas Agrícolas. Tabelas, quadros e desenhos auxiliares*. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa. (Ciclostilado). 1971/72.
- (6) AZEVEDO, A. L.; FERNANDES, M. L. V. — *Evolução do teor em matéria orgânica de Barros castanho-avermelhados sujeitos a um sistema de mobilização mínima. I — Carbono orgânico*. An. Inst. sup. Agron. (Lisboa), 33:181-231. 1972.
- (6 A) AZEVEDO, A. L.; FERNANDES, M. L. V. — *Evolução do teor em matéria orgânica de Barros castanho-avermelhados sujeitos a um sistema de mobilização mínima. II — Azoto total*. An. Inst. sup. Agron. (Lisboa), 34:115-137. 1973.
- (7) AZEVEDO, J. P.; COSTA, M. J. D. S.; CHICAU, J. M. — *Sobre a determinação do valor nutritivo das pastagens. Ensaio de digestibilidade em pastagens da região de Moura*. Melhoramento (Elvas), 16:111-137. 1963.
- (8) BARROS, Henrique de — *Economia Agrária. Vol. I. A Terra e o Homem*. Livraria Sá da Costa. Lisboa. 1948.
- (9) BELIZ, J. M. — *Estudo florístico e geobotânico dos pousios. Ensaio do método do quadrado nas areias graníticas de Castelo de Vide*. Melhoramento (Elvas), 6:5-15. 1953.
- (10) BELIZ, J. M.; ABREU, J. P. — *Ensaio fitossociológico numa pastagem espontânea da lezíria do rio Guadiana*. Melhoramento (Elvas), 4:75-122. 1951.
- (11) BOTELHO DA COSTA, J. V. — *Aproveitamento agrícola das terras de areia*. Actas do 1.º Cong. nac. Ciências Naturais. Livro II, pp. 394-399. Lisboa. 1941.

- (12) BOTELHO DA COSTA, J. V.; ALVES, J. A. — *Condições físicas das terras da Gafanha. Modificações determinadas pela cultura.* An. Inst. sup. Agron. (Lisboa), 13:121-135. 1942.
- (13) BRAY, J. R.; GORHAM, E. — *Litter production in forests of the world.* Advan. Ecolog. Res., 2:101-157. 1964.
- (14) CÂMARA, A. S. — *Apostamentos de Agricultura Geral.* Escola Gráfica. Arcos de Valdevez. 1935/36.
- (15) CANSADO, C. U. — *Flora espontânea da região de Moura. Seu interesse forrageiro.* Relatório Final do Curso de Engenheiro Agrônomo. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa. (Ciclostilado).
- (16) CARDOSO, J. V. J. C. — *Os solos de Portugal. Sua classificação, caracterização e génese. I. A Sul do rio Tejo.* Direcção-Geral dos Serviços Agrícolas. Lisboa. 1965.
- (17) CHAVES, A. J. — *As pastagens espontâneas do Concelho de Elvas. Estudo geobotânico de algumas manchas agrológicas típicas.* Relatório Final do Curso de Engenheiro Agrônomo. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa. (Ciclostilado). 1949.
- (18) CHICAU, J. F. M. — *As pastagens e a exploração pecuária na região de Montoito.* Relatório Final do Curso de Engenheiro Agrônomo. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa. (Ciclostilado). 1956.
- (19) CIMA GARCIA, M. — *Estudio sobre el valor nutritivo del pastizal de montanera en la Provincia de Badajoz.* Congr. Mundial de Alimentacion Animal, vol. II. 1966.
- (20) COUTINHO, D. P. — *O Concelho de Aviz. Subsidio para o estudo dos seus pousios.* Relatório Final do Curso de Engenheiro Agrônomo. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa. (Ciclostilado). 1947.
- (21) ESSAFI, A. — *Quelques reflexions sur l'évolution de la fertilité des terres en zone semi-aride. Importance de l'assolement.* C. R. Hebdomadaires des Seances de l'Academie d'Agriculture de France. Tome L, n.º 1, pp. 77-83. 1964.
- (22) GREENLAND, D. J.; NYE, P. H. — *Increase in the carbon and nitrogen contents of tropical soils under natural fallows.* J. Soil Sci. 10:284-299. 1959.
- (23) HELBLING, C. — *Agricultura geral. 1.º Capítulo.* Edições Agros. Associação dos Estudantes de Agronomia. Lisboa. 1951/52.
- (24) HENIN, S.; DUPUIS, M. — *Essai de bilan de la matière organique du sol.* Ann. agron., 15(1):17-29. 1945.

- (25) HENIN, S.; FEODOROFF, A.; GRAS, R.; MONNIER, G. — *Le profil cultural. Principes de physique du sol.* Société d'Éditions des Ingénieurs Agricoles. Paris. 1960.
- (26) HENIN, S.; GRAS, R.; MONNIER, G. — *Le profil cultural. L'état physique du sol et ses conséquences agronomiques.* Masson et Cie., Editeurs. Paris. 1969.
- (27) HENIN, S.; MONNIER, G.; TURC, L. — *Un aspect de la dynamique des matières organiques du sol.* C. R. Ac. Sci. (Paris), 248:138-141. 1959.
- (28) ISHIZUKA, Yoshiaki — *Engineering for higher yields. in Physiological Aspects of Crop Yield.* American Society of Agronomy. Madison, Wisc. 1969.
- (29) JACKS, G. V. — *Soil.* Thomas Nelson and Sons Ltd. London. 1954.
- (30) JENNY, H. — *Factores of soil formation.* McGraw-Hill Book Co., Inc. New York. 1941.
- (31) JENNY, H. — *Causes of the high nitrogen and organic matter content of certain tropical forest soils.* Soil Sci., 69-63-69. 1950.
- (32) JENNY, H. — *Comparison of the soil nitrogen and carbon in tropical and temperate regions. As observed in India and the Americas.* Mo. Agric. Exp. Sta. Res. Bull. 765:5-31. 1961.
- (33) JENNY, H.; GESSEL, S. P.; BINGHAM, F. T. — *Comparative study of decomposition rates of organic matter in temperate and tropical regions.* Soil Sci., 68:419-432. 1949.
- (34) JOLYET, A. — *Traité pratique de sylviculture.* Librairie J.-B. Bailliére et Fils. Paris. 1916.
- (35) LIETH, H. — *The determination of plant dry-matter production with special emphasis on the underground. in Functioning of Terrestrial Ecosystems at the Primary Production Level.* Proceedings of the Copenhagen Symposium. National Resources Research. Unesco. Paris. 1968.
- (36) MATA, J. A. — *Pastagens na região de Grândola. Contribuição para o seu estudo.* Relatório Final do Curso de Engenheiro Agrônomo. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa. (Ciclostilado). 1963.
- (37) MONNIER, G. — *Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols.* Deuxième Partie. Ann agron. 16(5):471-534. 1965.
- (38) MOREIRA, M. G. R. — *As areias do Concelho de Póvoa de Varzim. Subsídios para o seu estudo económico-agrícola.* Relatório Final do Curso de Engenheiro Agrônomo. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa. 1941.

- (39) MOREL, R.; RICHER, A.; MASSON, P. — *Evolution du taux de matière organique du sol sous le climat parisien*. Rapports. VI Cong. intern. Science du Sol, vol. B:805-810. Paris. 1956.
- (40) OLIVEIRA, A. L. F. — *Estudos de pedologia florestal. Os solos da Mata de Leiria*. Publicações da Direcção-Geral dos Serviços Florestais e Aquícolas (Lisboa), 16:5-64. 1949.
- (41) OLIVEIRA, A. L. F. — *Estudo da matéria orgânica nas unidades de solos cartografados em Portugal (A Sul do Tejo)*. Direcção-Geral dos Serviços Florestais e Aquícolas. Lisboa. 1967.
- (42) OVERTON, J. D. — *Quantitative ecology and the woodland ecosystem concept*. *Avan. Ecol. Res.*, 1:101-192. 1962.
- (43) PANTANELLI, E. — *Esperienze e considerazione sul sovescio in clima caldo-arido*. *An. Sperim. Agraria (NS)*, 6(1):127-163. 1952.
- (44) RAPP, Maurice — *Cycle de la matière organique et des éléments minéraux dans quelques écosystèmes méditerranéens*. Recherche Coopérative sur Programme du C. N. R. S. n.º 40. Editions du Centre National de la Recherche Scientifique. Paris. 1971.
- (45) REMEZOV, N. P.; POGREBNIAK, P. S. — *Forest soil science*. Israel Program for Scientific Translations. Jerusalem. 1969.
- (46) RODIN, L. E.; BAZILEVICH, N. I. — *Production and mineral cycling in terrestrial vegetation*. Oliver and Boyd. London. 1967.
- (47) SALTER, R. M.; GREEN, T. C. — *Factors affecting the accumulation and loss of nitrogen and organic carbon in cropped soils*. *J. Amer. Soc. Agron.*, 25:622-630. 1933.
- (48) SAMPAIO, J. A. — *Problemas da matéria orgânica na agricultura alentejana*. *Agricultura (Lisboa)*, 19:5-12. 1963.
- (49) SOUSA, T. Tavares de — *Os moliços. Subsídios para o estudo dos fertilizantes de origem vegetal na ria de Aveiro*. Relatório Final do Curso de Engenheiro Agrónomo. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa. (Ciclostilado). 1934.
- (50) VILLAX, E. J. — *La culture des plantes fourragères dans la région méditerranéenne occidentale*. Institut National de la Recherche Agronomique. Rabat. 1963.
- (51) VILLAX, E. J.; ALVES, J. A. — *Estudo das relações entre os fertilizantes, o rendimento e a fixação simbiótica do azoto pelas leguminosas*. *Melhoramento (Elvas)*, 7:57-87. 1954.

ANEXO I

Alqueive → trigo

Azoto

Ensaio	AS.4132	AS.42131	AS.4222	AS.5231
Solo	FA 85	FA 81	FA 89	FA 85
N ₀	0,0794	0,1024	0,0916	0,1260
N ₁	0,0827	0,1035	0,0882	0,1270
N ₂	0,0779	0,0929	0,0846	0,1180
N ₃	0,0793	0,0991	0,0735	0,1109
N ₄	0,0775	0,0923	0,0762	0,1102
N ₅	0,0762	0,0930	0,0827	0,1105
N ₆	0,0759	0,0921	0,0762	0,1172

ORIGEM: J. Almeida Alves (3).

Alqueive → trigo

Carbono

Ensaio	AS.4133	AS.42132	AS.4223	AS.5232
Solo	FA 85	FA 81	FA 89	FA 85
C ₀	0,681	0,822	0,807	1,014
C ₁	0,653	0,870	0,819	1,083
C ₂	0,681	0,786	0,762	1,005
C ₃	0,690	0,723	0,725	0,925
C ₄	0,657	0,728	0,724	0,979
C ₅	0,651	0,720	0,739	0,931
C ₆	0,638	0,756	0,716	0,988

ANEXO I (cont.)

Alqueive → trigo

Húmus

Ensaio	AS.4133	AS.42132
Solo	FA 85	FA 81
H ₀	24,52	104
H ₁	24,04	105
H ₂	26,52	100
H ₃	24,72	102
H ₄	22,70	101
H ₅	25,02	103
H ₆	25,34	99

ORIGEM: J. Almeida Alves (3).

ANEXO II

Ensaio	AS.511	AS.511
	Alqueive x grão de bico → trigo	Alqueive estrumado x grão de bico → trigo
Solo	FA 85	FA 85
C ₀	0,681	0,681
C ₁	0,675	0,684
C ₂	0,661	0,801
C ₃	0,634	0,766
C ₄	0,643	0,750
C ₅	0,614	0,762
C ₆	0,596	0,771
N ₀	0,0794	0,0794
N ₁	0,0825	0,0910
N ₂	0,0839	0,0973
N ₃	0,0822	0,0931
N ₄	0,0727	0,0804
N ₅	0,0795	0,0913
N ₆	0,0735	0,0895

ORIGEM: J. Almeida Alves (3).

ANEXO III

Inquérito N.º	Região	Área de pousio ha	Área de restos ha	N.º de cabeças	Período de pasto no pousio meses
3	Fronteira	203	251	425	8
5	Fronteira	166	310	235	8
6	Fronteira	100	151	345	8
7	Fronteira e Sousel	144	275	328	8
8	Fronteira e Sousel	54	133	111	8
10	Fronteira e Alter do Chão	97	231	244	8
11	Fronteira e Monforte	72	79	124	8
12	Fronteira, Monforte e Extremoz....	122	188	278	8

ORIGEM: F. Caldeira Cary e António Gomes Firmino (Comunicação particular).

ANEXO IV

Grão da Gramicha em frutificação → trigo

Solo FA 85

Ensaio AS.4132		Ensaio AS.4133		Ensaio AS.4133	
N ₀	0,0794	C ₀	0,681	H ₀	26,52
N ₁	0,0866	C ₁	0,689	H ₁	22,40
N ₂	0,0825	C ₂	0,693	H ₂	20,64
N ₃	0,0858	C ₃	0,736	H ₃	20,60
N ₄	0,0762	C ₄	0,726	H ₄	20,76
N ₅	0,0846	C ₅	0,696	H ₅	21,03
N ₆	0,0815	C ₆	0,682	H ₆	21,26