

COMPOSTAGEM

FERTILIZAÇÃO DO SOLO E SUBSTRATOS



LUÍS MIGUEL BRITO

NOTA PRÉVIA

Este livro dedica-se à matéria orgânica e à forma como esta evolui durante a compostagem e após a sua incorporação no solo, com a finalidade de aumentar a produtividade das culturas e a sustentabilidade dos ecossistemas agrícolas. Pretende-se contribuir para que o agricultor exerça práticas agrícolas menos prejudiciais para a qualidade do solo, da água e do ar, e menos onerosas. Deste modo, procura-se contrariar a tendência das últimas décadas em que a fertilidade do solo, no modo de produção convencional, se baseou na aplicação de adubos minerais de síntese, de rápida solubilidade e biodisponibilidade, com consequências ambientais muito prejudiciais para a manutenção dos ecossistemas e da biodiversidade, bem como para a própria sustentabilidade das explorações agrícolas cada vez mais dependentes de agroquímicos.

Os resíduos da produção pecuária e outros de origem agroflorestal continuam a ser em massa, e em volume, a maior categoria de resíduos em Portugal. Apesar de serem incorporados no solo agrícola, com vantagens para a sua fertilidade e para a produtividade das culturas, alguns resíduos podem, também, colocar problemas ambientais e prejudicar a segurança da cadeia alimentar. Por isso, o primeiro capítulo desta obra dedica-se à compostagem dos resíduos biodegradáveis, de forma a maximizar os benefícios agronómicos dos compostados e a minimizar impactos ambientais, designadamente, aqueles que se referem à poluição da água e do ar ou à transmissão de doenças. Coloca-se ênfase no processo de compostagem de forma a conservar os nutrientes nos compostados que são utilizados como corretivos orgânicos, e que irão contribuir para a aumentar a disponibilidade de nutrientes no solo para as culturas agrícolas.

ÍNDICE

NOTA PRÉVIA	i
AGRADECIMENTOS	iii
ÍNDICE	v
1. COMPOSTAGEM	1
1.1. Definição e objetivos da compostagem	1
1.2. Breve história da compostagem	2
1.3. Materiais e sistemas para compostagem	5
1.3.1. Caracterização dos materiais	5
1.3.2. Mistura de materiais	7
1.3.3. Necessidades de rega	9
1.3.4. Cálculo da razão C/N	12
1.3.5. Local e volume da pilha de compostagem	15
1.3.6. Sistemas de compostagem	16
1.4. O processo de compostagem	17
1.4.1. Biologia	17
1.4.1.1. Decompositores e sementes viáveis de infestantes	17
1.4.1.2. Microrganismos supressivos	19
1.4.2. Física	20
1.4.2.1. Temperatura	20
1.4.2.2. Teor de humidade	34
1.4.2.3. Arejamento	35
1.4.2.4. Odores	37

1.4.3. Química	38
1.4.3.1. Matéria orgânica e carbono	38
1.4.3.2. Azoto orgânico e mineral	44
1.4.3.3. Razão C/N	49
1.4.3.4. Outros nutrientes	51
1.4.3.5. Valor de pH	54
1.4.3.6. Condutividade elétrica	56
1.4.3.7. Capacidade de troca catiónica	58
1.5. O compostado	58
1.5.1. Quantidade de compostado produzido	58
1.5.2. Qualidade do compostado	59
1.5.2.1. Métodos para avaliação da maturação do compostado	59
1.5.2.2. Critérios de qualidade do compostado	63
1.5.2.3. Metais pesados	65
2. FERTILIZAÇÃO DO SOLO	69
2.1. Crescimento vegetal, nutrientes e fertilização	69
2.2. Fertilidade do solo	75
2.3. Origem, reserva e movimento dos nutrientes no solo	77
2.4. Disponibilidade dos nutrientes no solo	80
2.5. Absorção de nutrientes e translocação na planta	82
2.6. Matéria orgânica do solo	84
2.7. Azoto no solo e na planta	87
2.8. Fósforo e potássio no solo e na planta	94
2.9. Cálcio, magnésio, enxofre e micronutrientes no solo e na planta	97
2.10. Correção da reação do solo - calagem	99
2.11. Correção orgânica do solo	103
2.12. Corretivos e adubos orgânicos	109
2.13. Fertilização azotada	115

2.14. Fertilização com outros macronutrientes e micronutrientes	123
2.15. Recomendação de fertilização no modo de produção biológico	124
2.16. Gestão da fertilidade do solo	137
3. SUBSTRATOS	139
3.1. Propriedades e características dos substratos	139
3.1.1. Propriedades genéricas dos substratos	139
3.1.2. Propriedades físicas	141
3.1.3. Propriedades químicas	146
3.1.4. Propriedades biológicas	149
3.2. Constituintes dos substratos	150
3.2.1. Turfa	150
3.2.2. Cascas de árvores	151
3.2.3. Serradura	152
3.2.4. Fibra de coco	152
3.2.5. Casca de arroz	153
3.2.6. Vermiculite	153
3.2.7. Perlite	153
3.2.8. Pedra-pomes e lã de vidro	154
3.2.9. Areia	154
3.3. Utilização de compostados nos substratos	155
3.4. Características dos substratos em função da sua utilização	156
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	159

1. COMPOSTAGEM

1.1. Definição e objetivos da compostagem

A compostagem é um processo de oxidação biológica e de estabilização da matéria orgânica (MO) através do qual os microrganismos (bactérias, fungos e actinomicetes) decompõem os materiais ou resíduos orgânicos biodegradáveis, em condições de elevadas temperaturas resultantes do calor libertado pela atividade microbiana (fase termófila), em que se liberta (após a mineralização), principalmente, dióxido de carbono e vapor de água, e de que resulta (após a humificação) um produto (compostado). Este deve apresentar-se estabilizado, homogêneo, higienizado e sem substâncias fitotóxicas ou moléculas orgânicas que prejudiquem a qualidade do ambiente. Possuindo as características apropriadas, o compostado pode ser armazenado e utilizado na preparação de corretivos orgânicos do solo e de substratos agrícolas, com vantagens agronômicas e ambientais.

Exemplo 4. Acerto da razão C/N

Calcular o volume de estrume de bovino e de água de rega, para construir uma pilha de compostagem com os materiais do Exemplo 3, e acertar a mistura para uma razão C/N = 30 e um teor de humidade de 60%, caso se utilizassem os 10 m³ de palha.

Considerando a equação:

$$C/N_{\text{final}} = (PS_p C_p + PS_{EB} C_{EB}) / (PS_p N_p + PS_{EB} N_{EB})$$

Resolvendo em ordem a PS_{EB} (peso seco do estrume de bovino) resulta:

$$PS_{EB} = (PS_p C_p - C/N_{\text{final}} * PS_p N_p) / (C/N_{\text{final}} * N_{EB} - C_{EB})$$

Como, PS = V D [(100-H) / 100], isto é, V = PS / [D (100-H) / 100], resulta:

$$V_{EB} = [(PS_p C_p - C/N_{\text{final}} * PS_p N_p) / (C/N_{\text{final}} * N_{EB} - C_{EB})] / [D_{EB} (100-H_{EB}) / 100]$$

$$V_{EB} = [(2,8*45 - 30*2,8*0,6) / (30*2,5 - 35)] / [0,8*(100-70) / 100] = \mathbf{7,88 \text{ m}^3}$$

Assim, seria necessário misturar 7,88 m³ de estrume bovino com os 10 m³ de palha, para obter uma razão C/N = 30, na mistura destes dois materiais.

Uma forma simples de realizar o acerto da razão C/N da mistura é preencher os valores do volume, densidade, humidade, teores de C e de N, e razão C/N de cada material numa folha de cálculo (Excel, ou semelhante), aplicar a fórmula descrita para V_{EB} na célula correspondente ao volume de estrume bovino, e colocar o valor desejado (neste caso 30) na célula da razão C/N da mistura. Automaticamente surge o respetivo resultado na célula correspondente ao volume de estrume de bovino necessário.

Material	V (m ³)	D	H (%)	P fresco	P seco	C (%)	N (%)	C/N
Palha	10,00	0,4	30,0	4,0	2,8	45	0,6	75
Estrume de bovino	7,88	0,8	70,0	6,3	1,9	35	2,5	14
Mistura	17,88	0,6	54,5	10,3	4,7	41	1,4	30

Nota: Alterando o valor da razão C/N da mistura, na respetiva célula, para qualquer outro valor que se deseje, surge automaticamente o novo valor do VEB, na célula própria.

Posteriormente, calcula-se a necessidade de rega de acordo com o Exemplo 2, concluindo-se que seria necessário um volume de água de rega de **1,43 m³** para a razão C/N da mistura ser de 30.

Material	V (m ³)	D	H (%)	P fresco
Palha	10,00	0,4	30	4,0
Estrume de bovino	7,88	0,8	70	6,3
Água	1,43	1	100	1,4
Mistura	19,31	0,6	60	11,7

Nota: O acréscimo de água não altera a razão C/N que é determinada na matéria seca.

imobilização do N em moléculas húmicas poderá contribuir para a conservação do N e para a descida da razão C/N durante o processo de compostagem.

A matéria orgânica durante a compostagem é utilizada, portanto, num de dois processos fundamentais com características opostas (Figura 14): um processo de destruição, conduzindo à decomposição dos resíduos e à sua transformação em compostos minerais (mineralização), que permite restaurar o balanço de nutrientes no solo e assim aumentar a produtividade das culturas; ou um processo conservador, a humificação, com reações de oxidação, condensação, e polimerização, em que se originam complexos coloidais, com um peso molecular crescente, relativamente estáveis e resistentes à decomposição (os complexos húmicos). Para o processo de humificação, para além de bactérias e fungos, os actinomicetes têm um papel fundamental. Durante o processo de maturação, em que o compostado adquire uma estabilização crescente, os microrganismos decompositores já não são indispensáveis e o compostado pode ser recolonizado por diferentes microrganismos, inclusive por microrganismos supressivos que são benéficos para as culturas agrícolas.

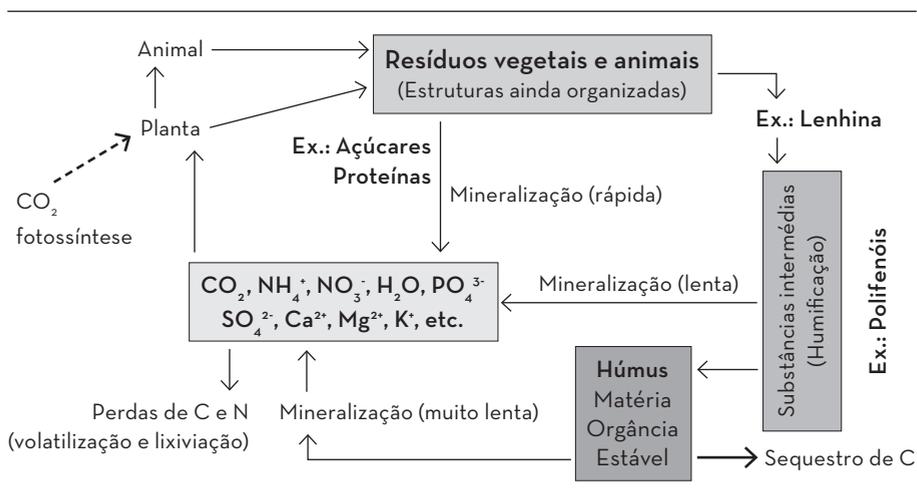


Figura 14. Esquema dos processos de constituição, mineralização e humificação da matéria orgânica.

A mineralização da MO pode ser estimada com base nas perdas de MO (g kg^{-1} MO inicial) calculadas pela seguinte fórmula (Paredes et al., 2000):

$$\text{Perdas de MO (g kg}^{-1}\text{)} = 1000 - 1000 [X_1 (1000 - X_2)] / [X_2 (1000 - X_1)] \quad [4]$$

em que X_1 e X_2 representam o teor de cinzas (g kg^{-1}), respetivamente no início da compostagem e no fim de cada período de compostagem.

1.5.2. Qualidade do compostado

1.5.2.1. Métodos para avaliação da maturação do compostado

Apesar da legislação que estabelece as regras a que deve obedecer a colocação no mercado de matérias fertilizantes incluir alguns critérios que assegurem determinadas características de qualidade, são necessárias especificações padronizadas de métodos analíticos e agronômicos que definam a qualidade do produto (compostado) final da compostagem.

A maturação do compostado poderá ser considerada um dos critérios de qualidade, principalmente quando o compostado se destina à utilização imediata como corretivo do solo ou à sua utilização na formulação de substratos hortícolas. A maturação do compostado associa-se à sua estabilização, que se refere à atividade microbiana e que é tanto menor quanto mais estável, ou menos facilmente degradável, é o carbono remanescente no compostado, o que pode ser avaliado pela determinação das taxas de consumo de O_2 ou de produção de CO_2 , ou pelo calor produzido pela atividade microbiana.

A maturação do compostado refere-se não só ao seu grau de estabilização, mas também, à presença de substâncias fitotóxicas que podem surgir em condições de rápida decomposição da MO no compostado, e que pode variar em função do destino do mesmo. Nuns casos poderão ser necessários compostados muito maturados e homogêneos, como por exemplo para utilizar na formulação de substratos hortícolas, enquanto para utilização como corretivos do solo a aplicar com antecedência em relação à sementeira ou plantação, poderão considerar-se compostados mais frescos (menos maturados).

Os métodos desenvolvidos para avaliar a maturação dos compostados orgânicos baseiam-se, geralmente, em ensaios químicos com base em extratos dos compostados e incluem: a razão C/N; métodos cromatográficos para determinação do conteúdo de substâncias húmicas e o grau de polimerização dos compostos húmicos; testes colorimétricos dos extratos húmicos; análise de polissacáridos; testes da atividade respiratória; medições de adenosina trifosfatada; teste à produção de calor e, ensaios biológicos como biotestes de fitotoxicidade (Tiquia et al., 2002; Gómez-Brandón et al., 2008; Bernal et al., 2009; Grigatti et al., 2011).

Diversos indicadores de estabilidade têm sido referidos na literatura. A Comissão da União Europeia (European Commission, 2001) sugeriu que um compostado estável não deveria ter uma taxa de absorção de oxigénio superior a $(1 \text{ g } O_2) / (\text{kg MO h})$.

com resíduos domésticos e se forem demasiado elevados torna os compostados impróprios para utilização na agricultura.

Os metais pesados introduzidos no solo por via da correção dos solos com compostados de resíduos orgânicos podem acumular-se e, assim, expor as plantas a concentrações tóxicas deste tipo de metais. A disponibilidade destes metais no solo e a capacidade de serem absorvidos pelas plantas depende da sua relativa abundância nos resíduos orgânicos e da sua mobilidade no sistema solo-planta. Esta depende de interações complexas entre diversos fatores incluindo a textura e o pH do solo, a espécie e cultivar, o comportamento químico do metal específico, etc. (Brady, 1984). Diferentes espécies e até diferentes cultivares da mesma espécie (John, 1976) possuem diferentes capacidades para absorver e translocar os metais. Dowdy & Larson (1975) referiram que a alface acumulava facilmente metais pesados enquanto, por exemplo, a batata e a cenoura seriam excelentes não-acumuladores. Brady (1984) indicou que as folhas podem conter concentrações de cádmio indesejáveis para a saúde humana ou dos animais e no entanto não manifestarem sintomas visíveis de fitotoxicidade.

O conhecimento da concentração total de metais tóxicos no solo pode, portanto, não ser um indicador apropriado da capacidade de absorção destes metais pelas plantas, pelo facto de os cátions no solo poderem estar presentes como iões simples ou complexos na solução do solo, como iões adsorvidos ao complexo argilo-húmico, mas facilmente permutáveis com as raízes, fixados na matéria orgânica ou mineral, precipitados como óxidos dos respetivos metais, na forma de carbonatos ou fosfatos, ou na rede cristalina dos minerais de argila (Brady, 1984; Russell's, 1988).

Metais como o zinco e o cádmio, ao contrário de outros como o cobre e o chumbo, são mais móveis no solo, mais facilmente absorvidos pelas raízes (Stevenson, 1986) e translocados para a parte aérea das plantas (Sterritt & Lester, 1980). O cádmio surge no solo por diversos meios, incluindo fertilizantes fosfatados, produtos da combustão do carvão, madeira, resíduos orgânicos, etc. Teores elevados de cádmio nas folhas dos vegetais foram já constatados em plantas que cresceram junto a estradas, bem como no leite de animais que pastaram em áreas contaminadas (Stevenson, 1986). A entrada do cádmio na cadeia alimentar pode ser parcialmente controlada pela calagem do solo, o que conduz à precipitação de cádmio em compostos de baixa solubilidade. O mercúrio acumula-se facilmente nos cogumelos, mas não nas plantas superiores (Lineres, 1992). Este metal pesado é um problema ambiental porque pode levar à formação, por via microbiana, de metilmercúrio nas águas subterrâneas, considerado cancerígeno (Stevenson, 1986). O chumbo, manganês e alumínio estão entre os outros metais tóxicos para os quais os riscos aumentam quando os valores de pH se encontram abaixo de 5.

2. FERTILIZAÇÃO DO SOLO

2.1. Crescimento vegetal, nutrientes e fertilização

A recomendação de fertilização do solo resulta da diferença entre as necessidades de nutrientes das culturas (criadas pela assimilação do carbono no processo de fotossíntese) e a disponibilidade de nutrientes do solo. Os principais fatores (genéticos e ambientais) envolvidos no crescimento vegetal influenciam, assim, as necessidades de nutrientes. Quer porque a capacidade produtiva depende das diferentes espécies e cultivares, quer porque a influência dos elementos climáticos e do solo na produtividade das culturas é muito forte.

2.11. Correção orgânica do solo

A produção agrícola moderna repõe pouca matéria orgânica no solo. Como consequência, podem surgir efeitos prejudiciais para a drenagem, capacidade de armazenamento de água e arejamento do solo, que posteriormente se refletem no declínio da produtividade vegetal. Pelo contrário, aplicações de doses elevadas de compostados ao solo diminuem a densidade aparente do solo e a resistência à penetração das raízes, aumentam a capacidade de troca catiônica, estimulam a atividade microbiana do solo (Stevenson, 1986; Russell's, 1988) e fornecem nutrientes essenciais para as plantas, gradualmente, e por isso menos suscetíveis à lixiviação, volatilização ou fixação, em comparação com os nutrientes minerais dos adubos de síntese.

No processo de fertilização orgânica dos solos utilizaram-se, no passado, grandes quantidades de estrumes sólidos resultantes da compostagem de dejetos animais com matos florestais e outros detritos vegetais. Contudo, em anos recentes, com a intensificação cultural e a escassez de mão de obra, assistiu-se a uma redução drástica na qualidade e na quantidade anual de estrumes tradicionais aplicados ao solo. Em contrapartida, introduziram-se no solo outros materiais e compostados orgânicos, muitas vezes sem origem agroflorestal, que podem prejudicar a qualidade do solo e dos alimentos que consumimos.

Hoje, os resíduos da produção pecuária e outros de origem agroflorestal continuam a ser em massa e em volume, a maior categoria de resíduos em Portugal. Mas é necessário construir um quadro rigoroso que sirva de base à elaboração de linhas gerais para a utilização dos compostados orgânicos na agricultura, para que os agricultores e os produtores de corretivos e fertilizantes orgânicos, orientem as suas decisões, quer na seleção dos materiais e dos processos utilizados na compostagem, quer na aplicação ao solo arável dos compostados obtidos.

A utilização dos compostados de resíduos orgânicos de origem urbana como fertilizantes do solo foi fortemente investigada em experiências de campo e em estufa nas décadas de 1970 e 1980, até aos nossos dias; no entanto, a literatura sobre os efeitos da utilização destes compostados na produção vegetal é contraditória. Por exemplo, Mays & Giordano (1989), com base em resultados de 19 anos de experiências com compostados de resíduos urbanos, concluíram que a sua aplicação ao solo é benéfica para sustentar elevadas produtividades e fornecer nutrientes principais e secundários para as plantas. Em contraste, Tietjen & Hart (1969) concluíram que enquanto compostados maturados aumentavam a produção de batata, já os compostados frescos ou imaturos diminuíam a produção. Terman et al. (1973), em experiências com milho em vasos, observaram que compostados carbonáceos (com elevadas proporções de carbono) induziam à de-

Quadro 20. Recomendação de fertilização de macronutrientes principais (N, P₂O₅ e K₂O em kg ha⁻¹) de culturas hortícolas.

Cultura e produção esperada (t ha ⁻¹)	N	Fósforo (P ₂ O ₅) - níveis no solo						Potássio (K ₂ O) - níveis no solo					
		<25	26-50	51-80	81-120	121-150	>151	<25	26-50	51-80	81-120	121-150	>151
Alface													
25	80	160	120	80	60	40	-	160	120	80	60	40	-
40	130	160	120	80	60	40	-	160	120	80	60	40	-
Alho													
12	50	80	70	60	40	30	-	80	70	60	40	30	-
Batata													
20	80	110	85	70	35	30	-	150	130	100	60	-	-
60	210	220	200	160	100	80	70	-	-	-	-	-	-
Beringela													
25	100	125	100	75	50	40	40	140	120	100	80	60	30
45	160	180	150	120	100	60	60	220	180	140	120	100	50
Cebola e alho francês													
25	90	120	90	75	50	35	-	120	90	75	50	35	-
40	140	180	150	120	90	60	-	140	180	150	120	90	-
Cenoura e nabo													
30	90	140	120	100	80	60	30	175	140	110	85	60	40
50	150	180	160	140	120	100	50	220	200	160	120	100	50
Couves de cabeça: couve-repolho, lombardo, roxa e savoy													
30	100	200	160	120	90	60	-	200	160	120	90	60	-
80	180												
Couves de folhas: couve-galega, portuguesa e couve-nabo													
20	80	200	160	120	90	60	-	200	160	120	90	60	-
40	120												
Couves de inflorescência: couve-flor, couve-brócolo e couve-de-bruxelas													
10	100	200	160	120	90	60	-	200	160	120	90	60	-
40	250												
Ervilha													
7	-	120	100	80	60	40	-	100	80	60	40	40	-
10	40	150	140	120	100	80	60	140	120	100	80	80	-
Feijão-verde													
5	50	110	90	65	35	-	-	110	90	65	35	-	-
20	80	140	120	90	45	-	-	150	130	100	50	-	-
Feijão (seco), tremçoço, tremocilha, grão-de-bico													
1,5	-	80	60	40	25	-	-	80	60	40	25	-	-
4,5	40	140	100	70	40	-	-	140	100	70	40	-	-
Melão													
20	70	120	80	60	40	-	-	140	100	80	60	40	-
40	150	210	180	130	100	80	-	220	200	160	140	100	-
Morangueiro													
25	80	110	90	70	40	-	-	140	100	80	60	40	-
35	120	150	120	90	70	50	-	220	160	140	120	80	-
Pimento													
20	100	125	100	75	60	40	-	150	125	100	75	40	-
40	150	180	150	125	100	65	-	200	180	150	120	75	-
Tomate													
50	135	170	130	100	90	55	-	180	150	120	90	60	-
80	200	220	180	150	120	90	80	260	220	180	130	100	80

(Fonte: MADRP, 2000)

Exemplo 1.

Calcular a quantidade de corretivo orgânico e Fosfato de Gafsa a aplicar numa cultura de couve, com uma produção esperada de 15 t ha⁻¹.

Considerando os teores de N-P-K referidos para a couve (1):

N-P-K = 4-0,5-4 (kg / t de couve)

Necessidades de nutrientes (para 15 t ha⁻¹)

N = 60 kg ha⁻¹; P = 7,5 kg ha⁻¹; K = 60 kg ha⁻¹

Fornecimento dos nutrientes

a) Solo

Nutrientes totais no solo (2)

- Peso de terra fina = área * profundidade * densidade * proporção de terra fina
- Peso de terra fina = 10000 m² * 0,2 m * 1,25 * 80% = 2000 t ha⁻¹
- Teor de matéria orgânica na terra fina = 4,0% => 2000 t * 4% = 80 t MO ha⁻¹
- N na MO da terra fina = 5% => 80 t * 0,05 = 4 t = 4000 kg N ha⁻¹
- P₂O₅ (Egnér-Riehm) = 30 µg g⁻¹ = 30 g t⁻¹ => 30 g t⁻¹ * 2000 t = 60 kg P₂O₅ ha⁻¹
- K₂O (Egnér-Riehm) = 80 µg g⁻¹ = 80 g t⁻¹ => 80 g t⁻¹ * 2000 t = 160 kg K₂O ha⁻¹

Nutrientes disponíveis no solo (5 e 7)

- **N** = 4000 kg * 0,5% (taxa de mineralização durante o período da cultura) = **20 kg ha⁻¹**
- **P** = 60 kg (P₂O₅) * (62/142) = **26,2 kg ha⁻¹**
- **K** = 160 kg (K₂O) * (78/94) = **132,78 kg ha⁻¹**

Nutrientes utilizados pela cultura e fornecidos pelo solo (6)

- **N** - Coeficiente de utilização = 90% => 20 * 0,9 = **18 kg ha⁻¹**
- **P** - Coeficiente de utilização = 20% => 26,2 * 0,2 = **5,24 kg ha⁻¹**
- **K** - Coeficiente de utilização = 45% => 132,78 * 0,45 = **59,75 kg ha⁻¹**

Diferença entre as necessidades de nutrientes e os nutrientes fornecidos pelo solo

- **N** = 60 - 18 = **42 kg ha⁻¹**
- **P** = 7,5 - 5,24 = **2,26 kg ha⁻¹**
- **K** = 60 - 59,75 ≈ **0 kg ha⁻¹**

b) Corretivo orgânico

Terá de fornecer: N = 42 kg ha⁻¹

Considerando o coeficiente de utilização de 90% (6) terá de disponibilizar:

N = 42/0,9 = 46,667 kg ha⁻¹

Considerando a taxa de mineralização de 20% no período da cultura (5), terá de possuir:

N = 46,667/0,2 = 233,333 kg ha⁻¹ (N total no corretivo)

Considerando que o corretivo orgânico possui 50% de MS e, na MS, 2% de N (4), isto é, 1% de N no corretivo fresco, torna-se necessário aplicar:

233,333 * 100 = 23333 kg ha⁻¹, aproximadamente 23 t ha⁻¹ de corretivo.

O fornecimento de P através das 23 t ha⁻¹ de corretivo orgânico que possui 50% de MS e, na MS, 0,3% de P na forma orgânica (4), cuja taxa de mineralização é 20% (5), e considerando, ainda, o coeficiente de utilização de 20% para este nutriente (6), resulta em:

$$P = 23000 \text{ kg} * 0,5 * 0,003 * 0,2 * 0,2 = 1,38 \text{ kg ha}^{-1}.$$

A cultura poderia extrair uma quantidade de K proveniente das 23 t ha⁻¹ do fertilizante orgânico equivalente à de N (42 kg ha⁻¹) (8). No entanto, o fornecimento de K pelo solo já seria suficiente para satisfazer as necessidades da cultura.

c) Fosfato de Gafsa

Considerando as necessidades de fósforo da cultura P = 7,5 kg ha⁻¹ (1), e o fornecimento de 5,24 kg ha⁻¹ proveniente do solo mais 1,38 kg ha⁻¹ proveniente do corretivo orgânico, é necessário mais 0,88 kg ha⁻¹ de P.

Considerando que o Fosfato de Gafsa possui 26,5% P₂O₅ (4), com uma razão P/P₂O₅ = 62/142 (7) e que o coeficiente de utilização do P é 20% (6), seria necessário aplicar:

$$\text{Fosfato de Gafsa} = 0,88 / [0,265 * (62/142) * 0,2] = 38 \text{ kg ha}^{-1}$$

Conclusão

Para satisfazer a exportação de N-P-K por 15 t ha⁻¹ de couve, seria necessária a aplicação de: **23 t ha⁻¹ de corretivo orgânico e 38 kg ha⁻¹ de Fosfato de Gafsa.** Esta recomendação de fertilização compensaria essa exportação da forma seguinte:

	N (kg ha ⁻¹)	P(kg ha ⁻¹)	K(kg ha ⁻¹)
Necessidade de nutrientes	60	7,5	60
Nutrientes fornecidos por:			
Solo	18	5,24	60
Corretivo orgânico (23 t ha ⁻¹)	42	1,38	42
Fosfato de Gafsa (38 kg ha ⁻¹)		0,88	
Total	60	7,5	>60

3. SUBSTRATOS

3.1. Propriedades e características dos substratos

3.1.1. Propriedades genéricas dos substratos

Os substratos são materiais, naturais ou artificiais, onde se desenvolvem as raízes das plantas cultivadas na ausência de solo, em recipientes, e que devem servir para fixá-las e suprir as suas necessidades de ar, água e nutrientes. O desenvolvimento de um sistema radicular saudável depende das características genéticas das plantas, mas também das propriedades físicas e químicas do substrato utilizado. Por isso, a caracterização física e química dos substratos é necessária para a sua correta formulação e, também, para a monitorização da rega e das adubações.

Quadro 23. Classificação da sensibilidade de algumas plantas ornamentais a níveis de concentração salina no substrato.

Reação da Cultura	Níveis de salinidade	Salinidade (g KCl L ⁻¹ de substrato)	Culturas
Grupo 1: sensíveis	Baixo	0,5 a 1,0	Avenca, boca-de-leão, camélia, algumas bromélias e orquídeas
Grupo 2: tolerantes	Médio	1 a 2	Alamanda, begónia, gerbera, gladiolo, rosa, hibisco, zínia, copo-de-leite
Grupo 3: exigentes (em quantidade)	Alto	2 a 3	Hortênsia, crisântemo, gerânio

(Fonte: Kämpf, 2000)

Capacidade de troca catiónica (CTC)

A capacidade de troca catiónica representa a capacidade de um substrato para absorver e trocar iões e depende do seu teor em argilas coloidais e substâncias húmicas. Segundo Fonteno (1996), a CTC deve variar entre 6 e 15 $\text{cmol}_+ \text{kg}^{-1}$, para uma ampla reserva de nutrientes. Handreck & Black (1999) sugeriram uma CTC entre 5 e 10 $\text{cmol}_+ \text{kg}^{-1}$. Estas recomendações são referências, devendo-se considerar que a necessidade de CTC mais elevada no substrato está diretamente relacionada com a menor tecnologia de controlo das condições nutritivas e de rega da cultura.

Teores de nutrientes

A fertilidade química de um substrato depende do seu teor nos diversos nutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Mais importante do que o teor total de um determinado nutriente é a sua disponibilidade para as plantas, a qual depende da forma química em que se encontra e das outras características químicas, designadamente, pH, CTC e CE, já que estas afetam diretamente o movimento dos iões nos substratos entre formas menos disponíveis em que os nutrientes estão fixados ou precipitados e as formas mais disponíveis, designadamente a solução aquosa do substrato. Quando os nutrientes se encontram incorporados na matéria orgânica torna-se necessário ter uma estimativa das taxas de mineralização e quando se encontram na matéria mineral é necessário conhecer as taxas de libertação dos mesmos.

camente inerte. O grau de decomposição deste material é reduzido, e possui uma relação C/N alta, devido aos elevados teores de lenhina e hemicelulose que possui (Martinez, 2002). O seu pH é baixo (5,5-6,5). Tem baixos teores em nutrientes, exceto de fósforo e potássio.

3.2.5. Casca de arroz

É moderadamente resistente à decomposição, melhora o arejamento da mistura e retém pouca água. É aconselhado não exceder 25% (v/v) por causa do seu elevado teor em manganês (Mn) e para não reduzir a capacidade de retenção de água da mistura. As sementes de plantas espontâneas que podem vir misturadas na casca de arroz representam um problema.

3.2.6. Vermiculite

A vermiculite é um silicato hidratado de magnésio, ferro e alumínio, que existe em grandes depósitos nos EUA e na África do Sul. É um material com uma estrutura tipo mica que expande quando aquecida a temperaturas superiores a 1000 °C. Depois de processada fica com uma densidade muito baixa (<120 g L⁻¹) e possui elevadas porosidade e CTC (80-85 cmol_c kg⁻¹). Por isso, consegue reter uma grande quantidade de nutrientes. É insolúvel em água, mas pode absorver água numa quantidade cinco vezes superior ao seu próprio peso. Tem capacidade para reter água em 60-65% da sua porosidade total. Tem pH neutro ou ligeiramente alcalino (6,3-7,8).

A vermiculite utilizada em horticultura pode ter granulometria grosseira (2-3 mm), média (1-2 mm) ou fina (0,75-1 mm). A vermiculite grosseira é a mais utilizada nos substratos para crescimento de plantas e a média e a fina em substratos para germinação, designadamente para cobrir as sementes nas placas alveolares. A estrutura da vermiculite é frágil e quando comprimida não pode ser novamente expandida. Por isso, é importante que a vermiculite não seja comprimida durante o seu manuseamento, nem misturada com grandes quantidades de materiais pesados, como a areia.

3.2.7. Perlite

A perlite é um material de origem vulcânica do tipo dos silicatos, retirado das lavas. O minério bruto é esmagado e aquecido aproximadamente a 760 °C provocando a vaporização da água do seu interior e a expansão das partículas como uma esponja.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad M, Noguera P, Bures S (2001). National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain. *Bioresource Technology* 77, 197-200.
- Allaway WH (1977). Food chain aspects of the use of organic residues. In: Elliot LF, Stevenson FJ (ed) *Soils for management of organic wastes and waste waters*. American Society of Agronomy, Madison, pp. 283-298.
- Amirjani MR (2010). Effect of salinity stress on growth, mineral composition, proline content, antioxidant enzymes of soybean. *American Journal of Plant Physiology* 5, 350-360.
- Amlinger F, Schwarzl B, Dreher P, Geszti J, Weisstener C (2003). Nitrogen in biowaste and yard compost: dynamics of mobilisation and availability - a review. *European Journal of Soil Biology* 39, 107-116.
- Amon B, Amon T, Boxberger J, Alt C (2001). Emissions of NH_3 , N_2O and CH_4 from dairy cows housed in a farmyard manure tying stall. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60, 103-113.
- Angelidaki I, Ahring BK (1993). Thermophilic anaerobic digestion of livestock waste: the effect of ammonia. *Applied Microbiological Biotechnology* 38, 560-564.
- Archer J (1985). *Crop nutrition and fertilizer use*. Farming Press, Ipswich, UK.
- Baggie I, Rowell DL, Robinson JS, Warren GP (2004). Decomposition and phosphorus release from organic residues as affected by residue quality and added inorganic phosphorus. *Agroforestry Systems* 63, 125-131.
- Bailey DA, Nelson PV, Fonteno WC (2000). *Substrates pH and water quality*. Raleigh: North Carolina State University, USA.
- Bardos RP, Hadley P, Kendle A (1992). Compost standards without tears - some ideas from the U.K. In: Jackson DV, Merillott JM, L'Hermite V (eds) *Composting and compost quality assurance criteria*. Commission of the European Communities, Brussels, pp. 294-330.
- Beardsell DV, Nichols DG, Jones DL (1979). Water relations of nursery potting-media. *Scientia Horticulturae* 11, 9-17.
- Beauchamp CJ, Levesque G, Prevost D, Chalifour FP (2006). Isolation of free-living dinitrogen-fixing bacteria and their activity in compost containing deinking paper sludge. *Bioresource Technology* 97, 1002-1011.
- Beek J, Frissel M (1973). *Simulation of nitrogen behaviour in soils*. Centre of Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, Netherlands.
- Benzaim R (2012). *How to make compost. A mini-guide*. Kindle E-Book. Smashwords Ed. Amazon Digital Services, Inc.
- Bernal MP, Albuquerque JA, Moral R (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology* 100, 5444-5453.
- Bernal-Vicente A, Ros M, Pascual JA (2009) Increased effectiveness of the *Trichoderma harzianum* isolate T-78 against *Fusarium wilt* on melon plants under nursery conditions. *Journal of Science of Food and Agriculture* 89, 827-833.
- Bhat KKS, Flowers TH, O'Callaghan JR (1980). A model for the simulation of the fate of nitrogen in farm wastes on land application. *Journal of Agricultural Science Cambridge* 94, 183-193.
- Bidlingmaier IW (1985). *Quality-testing of waste sewage sludge composts*. Acta Horticulturae 172, 99-116.
- Bilderback T (2000). *Pine bark storage and handling*. Raleigh: North Carolina State University.
- Blake F (1987). *The Handbook of Organic Husbandry*. Crowood Press, Ramsbury, Marlborough, UK.
- Bonneau M, Souchier B (1980). *Constituants et propriétés du sol*. Masson et Cie, Paris.
- Brady NC (1984). *The nature and properties of soils*. (9th ed). Macmillan, New York.

LUÍS MIGUEL BRITO

COMPOSTAGEM

FERTILIZAÇÃO DO SOLO E SUBSTRATOS

Sobre o Livro

Esta obra fundamenta-se no trabalho desenvolvido pelo autor ao longo das últimas três décadas nos domínios da compostagem, da fertilidade do solo e fertilização das culturas e dos substratos hortícolas. A crescente preocupação com o ambiente e a saúde no que respeita à produção convencional dos alimentos, baseada em fertilizantes minerais, pesticidas químicos de síntese e novas técnicas de manipulação genética, tem aumentado o interesse pelo modo de produção biológico que restringe estes fatores de produção. Contudo, existe ainda falta de informação sobre o processo de compostagem para produção de fertilizantes orgânicos para a agricultura, e sobre a utilização destes fertilizantes, bem como de outros meios para aumentar a fertilidade do solo e a produtividade das culturas.

No primeiro capítulo deste livro, descrevem-se as características que devem ter os materiais para compostagem e como devem ser misturados, o processo de compostagem, e as técnicas para maximizar os benefícios da compostagem de forma a obter produtos de elevada qualidade.

No segundo capítulo, abordam-se os processos que explicam a deslocação dos nutrientes do solo até às plantas com o objetivo de compreender como se pode aumentar a disponibilidade destes nutrientes no solo, a partir da utilização de fertilizantes orgânicos, de resíduos das culturas e da adubação verde (sideração).

No terceiro capítulo explicam-se as características que devem possuir os substratos hortícolas, para fornecer às plantas ar, água e nutrientes.

Trata-se, assim, de um livro que serve professores, estudantes, técnicos e agricultores, mas também, todos os que se interessam pela agricultura biológica e pela preservação do solo, recurso essencial para a vida do Homem.

Sobre o autor

Luís Miguel Brito é professor coordenador da Escola Superior Agrária de Ponte de Lima, do Instituto Politécnico de Viana do Castelo (IPVC). É licenciado em Engenharia Agronómica pelo Instituto Superior de Agronomia, da Universidade de Lisboa (1983), mestre (1989) e doutorado (1994) pela Universidade de Reading, no Reino Unido, e agregado pela Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (2016). Desenvolve a sua atividade na Área Científica de Ciências da Vida e da Terra do IPVC e no Centro de Investigação de Montanha (CIMO). É autor ou coautor de duas centenas de artigos científicos e técnicos, em revistas nacionais e internacionais, capítulos de livros, proceedings e atas de congressos. Tem desenvolvido a sua atividade de investigação em compostagem de resíduos orgânicos, fertilidade do solo, nutrição vegetal e agricultura biológica..

ISBN: 978-989-723-209-1

