



# ÍNDICE

## Micronutrientes na Agricultura

Página

### CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

#### MICRONUTRIENTES - UMA VISÃO GERAL - E.MALAVOLTA, A.E. BOARETTO, V.T. PAULINO

1. Introdução .....	1
2. Teores totais e disponíveis .....	2
3. Absorção, transporte e redistribuição na planta .....	3
4. Funções e exigências .....	8
5. Avaliação do Estado Nutricional .....	15
6. Diagnóstico atual, soluções e perspectivas .....	16
7. Necessidades de estudos .....	21
8. Resumo .....	22
9. Summary .....	22
10. Literatura citada .....	23

### CAPÍTULO 2 - MICRONUTRIENTES NO ANIMAL

#### FUNÇÕES NO METABOLISMO E CONSEQÜÊNCIAS DE CARÊNCIAS E EXCESSOS - I.V. ROSA

1. Introdução .....	35
2. Cobalto .....	36
2.1. Aspectos gerais .....	36
2.2. Metabolismo e funções .....	37
2.3. Deficiência e sintomas .....	37
2.4. Toxicidade .....	39
3. Cobre .....	39
3.1. Aspectos gerais .....	39
3.2. Metabolismo .....	39
3.3. Deficiência .....	41
3.4. Toxicidade .....	44
4. Ferro .....	45
4.1. Aspectos gerais .....	45
4.2. Metabolismo .....	45
4.3. Funções .....	46
4.4. Deficiência .....	46
4.5. Toxicidade .....	47
5. Iodo .....	47
5.1. Aspectos gerais .....	47
5.2. Metabolismo .....	48
5.3. Deficiência .....	48
5.4. Toxicidade .....	49
6. Manganês .....	50
6.1. Aspectos gerais .....	50
6.2. Metabolismo e funções .....	50
6.3. Deficiência .....	51
7. Molibdênio .....	52
7.1. Aspectos gerais .....	52
7.2. Metabolismo .....	52
8. Selênio .....	53
8.1. Aspectos gerais .....	53
8.2. Metabolismo e funções .....	53
8.3. Deficiência .....	53
8.4. Toxicidade .....	54
9. Zinco .....	55
9.1. Aspectos gerais .....	55
9.2. Metabolismo .....	56
9.3. Exigências dietéticas .....	56
9.4. Deficiência .....	57
9.5. Toxicidade .....	58
9.6. Usos não nutricionais de zinco na saúde animal .....	59
10. Resumo .....	59
11. Summary .....	60
12. Literatura citada .....	60

**CAPÍTULO 3 - MICRONUTRIENTES NA PLANTA****FUNÇÕES DOS MICRONUTRIENTES NAS PLANTAS - A.R. DECHEN, H.P. HAAG, Q.A. DE C. CARMELLO**

1. Introdução .....	65
2. Funções dos micronutrientes na planta .....	66
2.1. Boro .....	66
2.2. Cloro .....	69
2.3. Cobre .....	70
2.4. Ferro .....	70
2.5. Manganês .....	71
2.6. Molibdênio .....	73
2.7. Zinco .....	73
3. Resumo .....	75
4. Summary .....	75
5. Literatura citada .....	75

**MECANISMOS DE ABSORÇÃO E DE TRANSLOCAÇÃO DE MICRONUTRIENTES - A.R. DECHEN, H.P. HAAG, Q.A. DE C. CARMELLO**

1. Introdução .....	79
2. Mecanismos de absorção .....	79
2.1. Conceitos .....	79
2.2. Absorção, transporte e redistribuição .....	81
3. Fatores que afetam a absorção de nutrientes pelas raízes .....	94
4. Resumo .....	95
5. Summary .....	95
6. Literatura citada .....	96

**CAPÍTULO 4 - GEOQUÍMICA DE MICRONUTRIENTES****GEOQUÍMICA DE MICRONUTRIENTES - B. VAN RAIJ**

1. Introdução .....	99
2. Propriedades químicas .....	100
2.1. Aspectos gerais .....	100
2.2. Boro .....	100
2.3. Cloro .....	102
2.4. Cobre .....	102
2.5. Ferro .....	103
2.6. Manganês .....	103
2.7. Molibdênio .....	104
2.8. Zinco .....	104
3. Minerais e Intemperismo .....	104
3.1. Considerações preliminares .....	104
3.2. Boro .....	106
3.3. Cloro .....	107
3.4. Cobre .....	107
3.5. Ferro .....	107
3.6. Manganês .....	108
3.7. Molibdênio .....	109
3.8. Zinco .....	109
4. Resumo .....	110
5. Summary .....	110
6. Literatura consultada e citada .....	110

**CAPÍTULO 5 - MICRONUTRIENTES NO SOLO****BORO - J.P. DANTAS**

1. Introdução .....	113
2. Formas de ocorrência .....	113
3. Conteúdo e distribuição .....	115
4. Fatores que afetam a disponibilidade .....	118
4.1. pH .....	118
4.2. Matéria orgânica .....	119
4.3. Compostos de ferro e alumínio .....	120
4.4. Tipo de argila .....	121

4.5. Textura .....	121
4.6. Umidade do solo .....	122
4.7. Interações do boro com outros íons .....	122
5. Ocorrência geográfica de deficiência .....	123
6. Controle da disponibilidade .....	123
7. Resumo .....	125
8. Summary .....	125
9. Literatura citada .....	125

## **COBRE - M.E. FERREIRA & M.C.P. DA CRUZ**

1. Introdução .....	131
2. Formas .....	132
2.1. Aspectos gerais .....	132
2.2. Em minerais primários e secundários .....	133
2.3. Ocluso .....	133
2.4. Adsorção específica .....	134
2.5. Trocável .....	136
2.6. Na solução do solo .....	137
3. Conteúdo e distribuição .....	139
3.1. Total .....	139
3.2. Disponível .....	142
4. Fatores que afetam a disponibilidade .....	144
5. Ocorrência geográfica de deficiência .....	148
6. Controle da disponibilidade do cobre .....	149
7. Resumo .....	151
8. Summary .....	151
9. Literatura citada .....	151

## **FERRO - O.C. BATAGLIA**

1. Introdução .....	159
2. Ocorrência no solo .....	159
2.1. Níveis de ocorrência .....	159
2.2. Formas .....	160
3. Disponibilidade .....	162
4. Deficiência e excesso .....	164
5. Controle de deficiências e de excessos .....	167
5.1. Aspectos gerais .....	167
5.2. Reação do solo .....	167
5.3. Potencial redox .....	168
5.4. Uso de produtos químicos .....	168
6. Resumo .....	169
7. Summary .....	169
8. Literatura citada .....	171

## **MANGANÊS - C.M. BORKERT**

1. Introdução .....	173
2. Formas de manganês no solo .....	174
2.1. Na estrutura de minerais .....	174
2.2. Organicamente complexado .....	175
2.3. Trocável .....	176
2.4. Na solução do solo .....	178
3. Fatores que afetam a disponibilidade .....	180
4. Avaliação do manganês disponível .....	182
5. Ocorrência geográfica de toxicidade e de deficiência .....	186
6. Controle da disponibilidade através da adubação e de outras práticas .....	187
7. Resumo .....	188
8. Summary .....	188
9. Literatura citada .....	189

## **MOLIBDÊNIO - O.S. DOS SANTOS**

1. Introdução .....	191
---------------------	-----

2. Formas de molibdênio no solo .....	192
3. Conteúdo no solo .....	196
4. Fatores que afetam a disponibilidade de molibdênio no solo .....	201
5. Controle da disponibilidade através da adubação e de outras práticas .....	208
6. Resumo .....	213
7. Summary .....	213
8. Literatura citada .....	214

### **ZINCO - E.C.A. DE SOUZA & M.E. FERREIRA**

1. Introdução .....	219
2. Formas de ocorrência .....	219
3. Conteúdo e distribuição .....	221
4. Fatores que afetam a disponibilidade do zinco .....	223
4.1. Adsorção .....	223
4.2. pH .....	231
4.3. Outros fatores que afetam a disponibilidade do zinco .....	233
4.4. Lixiviação do zinco .....	234
5. Controle da disponibilidade .....	234
6. Resumo .....	235
7. Summary .....	236
8. Literatura citada .....	236

### **REAÇÕES E INTERAÇÕES DE MICRONUTRIENTES NO SOLO - O.A. DE CAMARGO**

1. Introdução .....	243
2. Princípios gerais sobre o comportamento dos micronutrientes no solo .....	244
2.1. Aspectos gerais .....	244
2.2. Adsorção .....	245
2.3. Formas químicas dos elementos no solo .....	246
2.4. Fatores que influenciam na retenção dos micronutrientes no solo .....	248
2.5. Movimento .....	249
3. Química dos micronutrientes no solo .....	254
3.1. Boro .....	254
3.2. Cobre .....	255
3.3. Ferro .....	258
3.4. Manganês .....	260
3.5. Molibdênio .....	262
3.6. Zinco .....	264
4. Resumo .....	266
5. Summary .....	266
6. Literatura citada .....	266

### **CAPÍTULO 6- AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DA PLANTA E DISPONIBILIDADE NO SOLO DIAGNOSE VISUAL - A.R. DECHEN, H.P. HAAG, Q.A. DE C. CARMELLO**

1. Introdução .....	273
2. Diagnose .....	273
3. Análise de plantas .....	275
4. Concentração de nutrientes nas plantas, deficiência e toxicidade .....	276
4.1. Boro .....	276
4.2. Cloro .....	278
4.3. Cobre .....	278
4.4. Ferro .....	279
4.5. Manganês .....	279
4.6. Molibdênio .....	280
4.7. Zinco .....	281
5. Chave para identificação de sintomas .....	281
6. Resumo .....	281
7. Summary .....	281
8. Literatura citada .....	288

### **ANÁLISE QUÍMICA DE PLANTAS - O.C. BATAGLIA**

1. Introdução .....	289
---------------------	-----

2. Fundamentos da análise de plantas .....	290
3. Procedimentos na análise .....	292
3.1. Aspectos gerais .....	292
3.2. Amostragem .....	292
3.3. Preparo da amostra .....	293
3.4. Procedimentos analíticos .....	294
4. Interpretação dos resultados .....	296
4.1. Abordagem geral .....	296
4.2. Nível crítico .....	297
4.3. Faixas de concentração .....	300
4.4. Sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) .....	301
5. Resumo .....	304
6. Summary .....	305
7. Literatura citada .....	305

### **ANÁLISE BIOQUÍMICA DE PLANTAS - W.J. DE MELO & E.G.M. LEMOS**

1. Introdução .....	309
2. Vantagens e exigências .....	310
3. Uso da análise bioquímica de plantas para micronutrientes .....	311
3.1. Boro .....	311
3.2. Cloro .....	312
3.3. Cobre .....	314
3.4. Ferro .....	318
3.5. Manganês .....	320
3.6. Molibdênio .....	324
3.7. Zinco .....	325
4. Resumo .....	327
5. Summary .....	327
6. Literatura citada .....	328

### **ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO - B. VAN RAIJ & O.C. BATAGLIA**

1. Introdução .....	333
2. Problemas metodológicos .....	334
3. Extração de micronutrientes do solos .....	336
3.1. Água .....	337
3.2. Soluções salinas .....	338
3.3. Soluções de ácidos .....	339
3.4. Soluções complexantes .....	339
3.5. Outros processos de extração .....	340
4. Seleção de métodos .....	340
4.1. Boro .....	341
4.2. Zinco .....	342
4.3. Manganês, cobre, molibdênio e ferro .....	342
5. Limites de interpretação de teores .....	344
6. Perspectivas e limitações .....	347
7. Resumo .....	348
8. Summary .....	348
9. Literatura citada .....	349

### **CAPÍTULO 7 - ADUBOS E ADUBAÇÃO COM MICRONUTRIENTES MICRONUTRIENTES: FILOSOFIAS DE APLICAÇÃO, FONTES, EFICIÊNCIA AGRÔNOMICA E PREPARO DE FERTILIZANTES - A.S. LOPES**

1. Introdução .....	357
2. Filosofias de aplicação de micronutrientes .....	358
3. Fontes de micronutrientes .....	359
3.1. Fontes inorgânicas .....	359
3.2. Fontes orgânicas .....	359
3.3. Micronutrientes na forma de fritas (FTE) .....	361
4. Eficiência agrônômica .....	362
4.1. Boro .....	362
4.2. Molibdênio .....	363
4.3. Zinco .....	364

4.4. Outros micronutrientes .....	365
4.5. Efeito residual .....	366
5. Métodos de aplicação .....	367
5.1. Tratamento de sementes e imersão de raízes .....	367
5.2. Adubação foliar .....	367
5.3. Aplicação no solo .....	368
5.4. Aplicação com fertilizantes NPK .....	370
5.5. Aspectos econômicos .....	372
6. Fabricação de fertilizantes contendo micronutrientes .....	372
6.1. Reações dos materiais contendo micronutrientes com fertilizantes .....	372
6.2. Mistura de produtos .....	374
6.3. Mistura de grânulos .....	374
6.4. Incorporação de micronutrientes em fertilizantes granulados .....	375
6.5. Revestimento de micronutrientes em fertilizantes granulados .....	377
6.6. Fertilizantes fluidos .....	380
7. Resumo .....	381
8. Summary .....	383
9. Literatura citada .....	384

## **FONTES E MÉTODOS DE APLICAÇÃO - S.J. VOLKWEISS**

1. Introdução .....	391
2. Sistemas ou “Filosofias” de adubação .....	392
2.1. Adubação de correção .....	392
2.2. Adubação de segurança .....	392
2.3. Adubação de restituição .....	393
3. Fontes de micronutrientes .....	393
3.1. Compostos inorgânicos simples .....	393
3.2. Silicatos complexos (fritas) .....	395
3.3. Quelatos .....	396
3.4. Adubos orgânicos .....	396
3.5. Micronutrientes em “adubos NPK” .....	397
4. Métodos de aplicação e eficiência agrônômica das fontes de micronutrientes .....	398
4.1. Aplicação no solo .....	399
4.2. Adubação foliar .....	404
4.3. Aplicação nas sementes .....	407
4.4. Aplicação em raízes de mudas .....	408
5. Resumo .....	408
6. Summary .....	409
7. Literatura citada .....	409

## **CAPÍTULO 8 - PROBLEMAS, REPOSTAS E PERSPECTIVAS EM CULTURAS BRASILEIRAS CEREAIS - M.P. BARBOSA FILHO**

1. Problemas e perspectivas .....	413
2. Repostas à adubação com micronutrientes .....	418
2.1. Culturas .....	418
2.2. Diferenças entre espécies e cultivares .....	423
3. Toxicidade de ferro em arroz irrigado .....	427
3.1. Aspectos gerais .....	427
3.2. Sintomas de toxicidade de Fe <sup>2+</sup> em arroz .....	431
3.3. Controle da disponibilidade de Fe <sup>2+</sup> em solos inundados .....	432
4. Correção das deficiências de micronutrientes .....	432
4.1. Sintomas de deficiência de zinco .....	432
4.2. Fontes e métodos de aplicação de micronutrientes .....	433
5. Resumo .....	436
6. Summary .....	437
7. Literatura citada .....	438

## **CULTURAS OLEAGINOSAS - J.A. QUAGGIO, N.M. DA SILVA, R.S. BERTON**

1. Introdução .....	445
2. Amendoim .....	446
2.1. Generalidades .....	446
2.2. Boro .....	446
2.3. Zinco .....	449

2.4. Manganês .....	449
2.5. Outros micronutrientes .....	450
3. Girassol .....	451
3.1. Generalidades .....	451
3.2. Boro .....	451
3.3. Outros micronutrientes .....	453
4. Algodoeiro .....	453
4.1. Generalidades .....	453
4.2. Boro .....	454
4.3. Zinco .....	461
4.4. Manganês .....	461
4.5. Outros micronutrientes .....	462
5. Soja .....	462
5.1. Generalidades .....	462
5.2. Molibdênio .....	463
5.3. Manganês .....	467
5.4. Boro .....	470
5.5. Zinco .....	472
5.6. Outros micronutrientes .....	474
6. Resumo .....	476
7. Summary .....	476
8. Literatura citada .....	476

### **CANA-DE-AÇÚCAR - H.TOKESHI**

1. Introdução .....	485
2. Sistema de fixação associativa de nitrogênio e necessidades de micronutrientes .....	486
2.1. Fixação de nitrogênio por bactérias em associação com gramíneas .....	486
2.2. Especificidade de bactérias de fixação associativa .....	488
3. Sistema radicular e profundidade de exploração do solo .....	489
4. Água e profundidade de enraizamento interferindo na deficiência de micronutrientes .....	491
5. Sintomas de deficiência de micronutrientes .....	492
5.1. Deficiência de boro .....	493
5.2. Deficiência de cobre .....	494
5.3. Deficiência de ferro .....	494
5.4. Deficiência de manganês .....	494
5.5. Deficiência de zinco .....	495
6. Resumo .....	495
7. Summary .....	496
8. Literatura citada .....	497

### **CULTURAS ESTIMULANTES - H.P. HAAG; Q.A. DE C. CARMELLO; A.R. DECHEN**

1. Introdução .....	501
2. Cafeeiro .....	501
2.1. Aspectos gerais .....	501
2.2. Recrutamento e exportação de micronutrientes .....	502
2.3. Micronutrientes no solo .....	509
2.4. Levantamento do estado nutricional dos cafezais .....	513
2.5. Teores foliares .....	519
2.6. Sintomas de deficiência .....	520
2.7. Sintomas de toxicidade .....	525
2.8. Resposta à aplicação de micronutrientes .....	525
3. Cacau .....	533
3.1. Aspectos gerais .....	533
3.2. Sintomas de desnutrição de micronutrientes .....	533
3.3. Níveis analíticos e extração de nutrientes .....	533
3.4. Correção de deficiências .....	533
4. Chá .....	535
4.1. Aspectos gerais .....	535
4.2. Produção de matéria seca e extração de micronutrientes .....	535
5. Resumo .....	540
6. Summary .....	540
7. Literatura citada .....	544

**CULTURAS OLERÍCOLAS - P.D. CASTELLANE, A.F. SOUZA, M.V. DE MESQUITA FILHO**

1. Introdução .....	549
2. Extração, marcha de absorção e exportação de micronutrientes .....	550
3. Sintomas de deficiência, de toxicidade e teores foliares de micronutrientes .....	555
3.1. Sintomas de deficiências .....	555
3.2. Sintomas de toxicidade .....	558
3.3. Teores foliares .....	560
4. Respostas de culturas olerícolas à adubação com micronutrientes .....	561
4.1. Boro .....	562
4.2. Cobre .....	565
4.3. Ferro .....	566
4.4. Manganês .....	566
4.5. Molibdênio .....	567
4.6. Zinco .....	568
5. Recomendações oficiais para o uso de micronutrientes e comentários finais .....	569
6. Resumo .....	573
7. Summary .....	573
8. Literatura citada .....	573

**FRUTEIRAS - J. NAKAGAWA**

1. Introdução .....	585
2. Micronutrientes em diversas espécies frutíferas .....	586
2.1. Abacateiro .....	586
2.2. Abacaxizeiro .....	587
2.3. Bananeira .....	589
2.4. Cajueiro, coqueiro e goiabeira .....	592
2.5. Citros .....	594
2.6. Macieira .....	604
2.7. Mamoeiro, mangueira e maracujazeiro .....	605
2.8. Outras fruteiras de clima temperado .....	610
2.9. Outras espécies frutíferas de clima tropical .....	614
3. Resumo .....	616
4. Summary .....	616
5. Literatura citada .....	616

**PLANTAS ORNAMENTAIS - H.P. HAAG, A.M.L.P. LIMA, A.R. DECHEN, Q.A. DE C. CARMELLO**

1. Introdução .....	625
2. Micronutrientes em culturas de plantas ornamentais .....	626
2.1. Antúrio ( <i>Anthurium andraeanum</i> ) .....	626
2.2. Crisântemo ( <i>Chrysanthemum morifolium</i> ) .....	627
2.3. Gladiolo ( <i>Gladiolus communis</i> ) .....	632
2.4. Orquídea ( <i>Orchidaceae</i> ) .....	640
2.5. Pelargônio ( <i>Pelargonium zonale</i> ) .....	641
2.6. Roseira ( <i>Rosa odorata</i> ) .....	642
3. Resumo .....	648
4. Summary .....	648
5. Literatura citada .....	648

**FORRAGEIRAS - F.A. MONTEIRO**

1. Introdução .....	651
2. Os micronutrientes e o desenvolvimento e a produção de gramíneas forrageiras .....	651
3. Teores de micronutrientes em gramíneas forrageiras .....	653
4. Os micronutrientes e o desenvolvimento e a produção de leguminosas forrageiras .....	655
5. Teores de micronutrientes em leguminosas forrageiras .....	668
6. Adubação de forrageiras com micronutrientes .....	672
7. Considerações gerais .....	674
8. Resumo .....	676
9. Summary .....	677
10. Literatura citada .....	677

**ESSÊNCIAIS FLORESTAIS - H.P. HAAG, A.R. DECHEN, Q.A. DE C. CARMELLO**

1. Introdução .....	683
2. Gênero <i>Eucalyptus</i> .....	684
2.1. Aspectos gerais .....	684
2.2. Recrutamento e exportação de micronutrientes .....	685
2.3. Sintomas de desnutrição .....	686
2.4. Levantamento do estado nutricional .....	697
2.5. Reciclagem de micronutrientes .....	702
2.6. Resposta à aplicação de micronutrientes .....	704
3. Gênero <i>Pinus</i> .....	708
3.1. Considerações gerais .....	708
3.2. Recrutamento e exportação de micronutrientes .....	709
3.3. Sintomas de desnutrição .....	712
3.4. Levantamento do estado nutricional .....	716
3.5. Reciclagem de micronutrientes .....	721
4. Outras espécies .....	723
4.1. <i>Cordia goeldiana</i> (freijó) .....	723
4.2. <i>Araucaria angustifolia</i> (aracária) .....	725
5. Resumo .....	728
6. Summary .....	730
7. Literatura citada .....	730