EBOOK

GUIA RÁPIDO DE INTERPRETAÇÃO DE ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO

Autores/organizadores:

Jose Braz Matiello
Viviane Maria Ruela

terradecultivo Fertilizantes

1 INTRODUÇÃO

A agricultura moderna, competitiva, deve usar adequadamente os fatores de produção – a terra, o capital e o trabalho, otimizados pela boa administração.

A terra, onde se destaca o solo, constitui o reservatório onde as plantas crescem e produzem, para isso usando os nutrientes, nele disponíveis ou adicionados pelas adubações. Assim, o conhecimento das características do solo é essencial para o manejo dos cultivos. Não se pode deixar de considerar, também, o ambiente climático, contribuindo com a água, a temperatura e outros aspectos, que interagem no desenvolvimento das plantas.

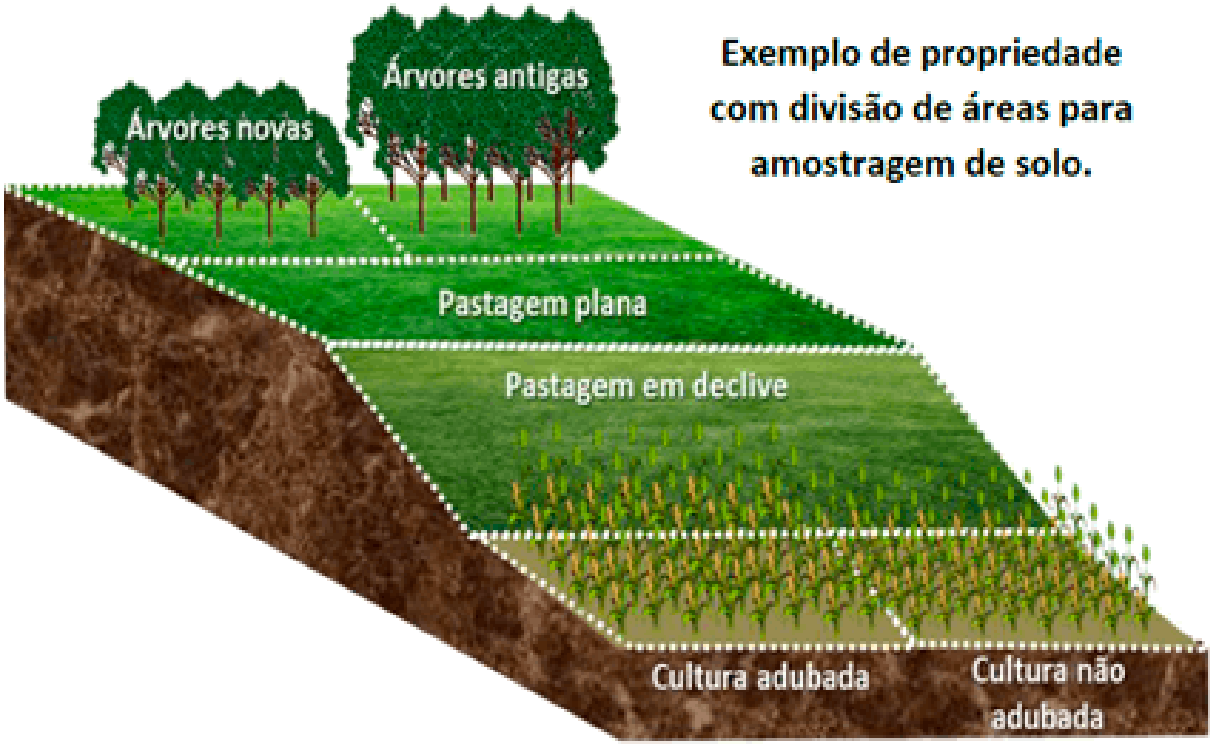
A análise química é a ferramenta mais usada para avaliar as características do solo, visando racionalizar as adubações, evitando faltas, excessos ou desequilíbrios, buscando maior eficiência, nutricional e econômica. Ela é realizada em Laboratórios especializados, que fornecem os resultados obtidos nas amostras, remetidas pelos produtores e técnicos.

Uma vez de posse dos dados fornecidos pelos Laboratórios, é necessária a interpretação desses dados pelo interessado. Para isso precisa de informações para o entendimento sobre cada parâmetro avaliado e sua disponibilidade, diante dos padrões de suficiência determinados pela pesquisa.

Esta publicação, de forma resumida, reúne informações úteis para uma melhor interpretação das diferentes características químicas do solo, destinando-se, especialmente, aos Técnicos de campo, visando uma boa orientação aos produtores.

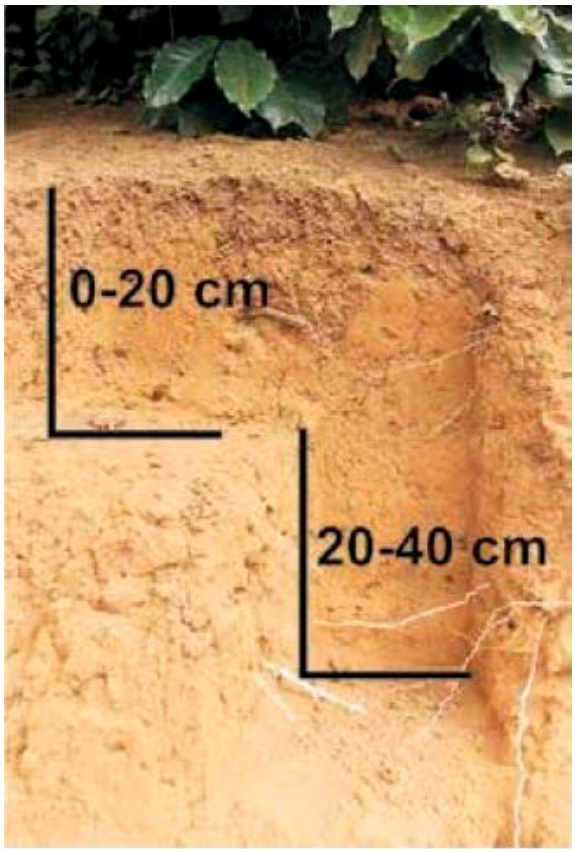
2 Amostragem de solo de forma correta

2.1 - Dividir a área a ser amostrada em talhões homogêneos.



2.2 - Escolher o equipamento de retirada das amostras de solo - importante utilizar o mesmo durante toda a amostragem, importante que o volume de cada amostra simples seja sempre o mesmo.

2.3 - Escolher a profundidade desejada na amostragem, as mais comuns são de 0-20 e de 20-40 cm.



Amostragem de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm.

2.4 Coletar o maior número de amostras simples possíveis: mínimo de 20 amostras simples.

2.5 Não raspar o solo, apenas retirar material vegetal, evitar coleta próximo a formigueiros, cupinzeiros, áreas queimadas, bebedouros ou cochos de animais.

2.6 As amostras devem ser retiradas no local onde se faz a aplicação dos adubos.

3 Exemplo de uma análise de solo
Unidades usadas

Nos resultados da análise de solo é utilizado o Sistema Internacional de Unidades. Na Tabela 1, são apresentados os fatores de conversão para casos em que, o Sistema Internacional Unidades ainda não tenha sido implantado no laboratório onde foram feitas as análises.

Os resultados de análise química de 2 amostras de solo, incluídos no Boletim emitido por Laboratório especializado, pode servir de exemplo da forma usual de informação dos dados analisados, conforme pode ser observado no Boletim em seguida.

DETERMINAÇÕES			Amostra 1	Amostra 2
			63380	63381
M.O.	Mat. Orgânica (Oxi-Red.)	g/dm3	16	14
pHSMP	Tampão SMP (Tampão SMP)	.	6,20	5,73
pH	pH (Sol. CaCl2)	.	5,1	4,6
P	Fósforo (Resina)	mg/dm3	25	28
K	Potássio (Resina)	mmolc/dm3	4,6	4,1
Ca	Cálcio (Resina)	mmolc/dm3	67	50
Mg	Magnésio (Resina)	mmolc/dm3	26	24
Na	Sódio (Mehlich)	mmolc/dm3	1,7	1,1
Al	Alumínio (KCl)	mmolc/dm3	< 1	6
H	Hidrogênio	mmolc/dm3	34,3	50,2
H+Al	H+Al (Tampão SMP)	mmolc/dm3	34	56
S.B.	Soma de Bases	mmolc/dm3	99,3	79,2
C.T.C.	C.T.C.	mmolc/dm3	133,6	135,4
V%	Sat. de Bases	%	74	58
S	Enxofre (Ac. Amônio)	mg/dm3	78	23
B	Boro (Água Quente)	mg/dm3	0,91	0,83
Cu	Cobre (Mehlich)	mg/dm3	1,3	1,1
Fe	Ferro (Mehlich)	mg/dm3	35	34
Mn	Manganês (Mehlich)	mg/dm3	135,0	140,0
Zn	Zinco (Mehlich)	mg/dm3	0,9	0,5
%K CTC	% de K C.T.C.	%	3,4	3,0
%Ca CTC	% de Ca C.T.C.	%	50,2	36,9
%Mg CTC	% de Mg C.T.C.	%	19,5	17,7
%Al CTC	% de Al C.T.C.	%	< 0,1	4,4
%Na CTC	% de Na C.T.C.	%	1,3	0,8
%H CTC	% de H C.T.C.	%	25,7	37,1
Ca/Mg.	Ca/Mg	.	2,6	2,1
Ca/K	Ca/K	.	14,6	12,2
Mg/K	Mg/K	.	5,7	5,9

Exemplo de Boletim de resultados de análise química do solo.

Tabela 1 - Análise de solo e fatores de conversão.

Determinação	Anterior	Atual	Fator
pH	Adimensional	--	--
M.O	%	g dm^{-3}	x 10
P.S.K Micros	ppm	mg dm^{-3}	igual
K	mg dm^{-3}	$cmol_c$ dm^{-3}	/391
Ca.Mg.K.Al	meq (100cm^{-3})	$mmol_c dm^{-3}$	x 10
Ca.Mg.K.Al	meq (100cm^{-3})	$cmol_c dm^{-3}$	igual
CTC: H + Al	meq (100cm^{-3})	$cmol_c dm^{-3}$	igual
V	%	%	--

Fonte: Guia pratico de interpretação de análises de solo, Embrapa 2015

4 pH - Como interpretar

O pH é uma característica importante da solução do solo, mede a acidez ativa, que é diretamente a atividade de H+ presente na solução do solo. Geralmente, varia ao longo do tempo, pois de acordo com o manejo de adubação, com as culturas inseridas no sistema e outros fatores, seu valor é alterado. De forma prática, as plantas, ao absorverem nutrientes de carga positiva (K+, Mg++, Ca++ etc.), liberam H+ das raízes para a solução do solo, o que reduz o pH. Também ocorre liberação de H+ no solo, na reação dos fertilizantes nitrogenados com o solo, especificamente na nitrificação (passagem de amônio para nitrato). Além desses, outros fatores contribuem para o aumento da acidez do solo, como a precipitação pluviométrica, irrigações etc.

Na análise do solo, o pH é determinado agitando-se 10 cm3 de solo com 25 mL de água (relação 1:2,5), realizando-se a leitura em potenciômetro. Em alguns estados do Brasil, como São Paulo, o pH é

determinado em solução de CaCl2 (0,01 mol/L), que tem por objetivo reduzir a influência de sais sobre a leitura do pH

O pH, além de expressar a acidez, fornece um indicativo da fertilidade do solo, pois tem correlação com a maior ou menor presença do alumínio, com a saturação de bases, com a disponibilidade de nutrientes e com a atividade de micro-organismos no solo, conforme pode-se observar na tabela 2.

Tabela 2. Prováveis características do solo em função do pH em água

pH	Prováveis características do solo
< 5,5	Elevados teores de Al^{3+} (tóxico) Baixos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} Baixa saturação por bases (V) Boa disponibilidade de Zn, Cu, Fe, Mn Baixa disponibilidade de B, Mo e Cl Deficiência de P (formação de precipitados P-Al, P-Fe e P-Mn e elevada adsorção nos coloides) Menor perda de N por volatilização de NH_3 Baixa atividade de micro-organismos
5,5 a 6,5	Ausência de Al^{3+} (tóxico) Boa disponibilidade de B Disponibilidade intermediária dos demais micronutrientes pH ideal para a maioria das culturas
> 6,5	Ausência de Al^{3+} (tóxico) Elevados teores de Ca e Mg Elevada saturação por bases (V) Baixa disponibilidade de Zn, Cu, Fe, Mn Boa disponibilidade de B até pH 7,5 Alta disponibilidade de Mo e Cl Aumento das perdas de N por volatilização de NH_3 Alta atividade de micro-organismos

A variação de pH influencia na disponibilidade dos macro e micronutrientes do solo, como pode ser observado na figura 1.

Com aumento do pH para uma faixa ótima, que fica entre 6,0 e 6,5, melhora a disponibilidade de todos os macro-nutientes, fica reduzida ou eliminada a presença de alumínio tóxico (Al+++) e reduz, apenas ligeiramente, a disponibilidade de micro-nutrientes, à exceção do molibdênio e cloro. Em solos com pH muito baixo ocorre o contrário e, quando superior a 6,5 há redução acentuada na disponibilidade dos micronutrientes Zn, Cu, Fe e Mn. Por essas razões, o pH do solo considerado adequado, para o crescimento e desenvolvimento das plantas, situa-se entre 6,0 e 6,5.

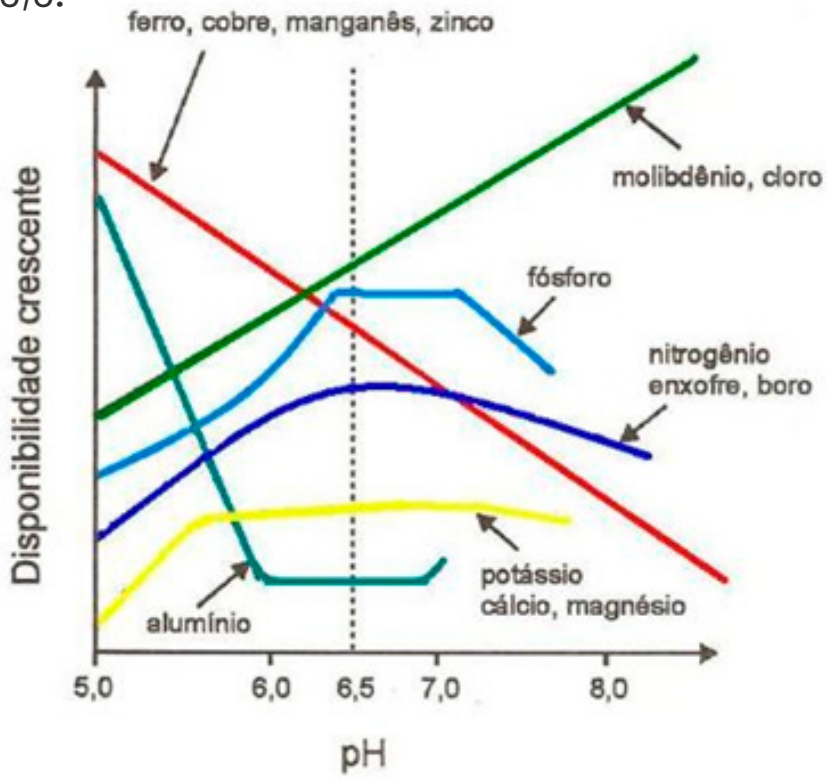


Figura 1
Disponibilidade de macro e micro nutrientes no solo em função do pH

Na tabela 3 podem ser observados os critérios para enquadrar os solos conforme sua classe de acidez, pelo pH.

Tabela 3 - Classes de interpretação de acidez ativa do solo(pH)

Determinação	Acidez		
	Elevada	Média	Fraca
pH em água	< 5,0	5,0 - 5,9	6,0 - 6,9
pH em $CaCl_2$	< 4,5	4,6 - 5,5	5,6 - 6,5

5 Alumínio (Al+++)

Os resultados da análise do solo indicam o teor de alumínio na forma iônica Al+++ (também denominada acidez trocável) que é a forma tóxica às plantas. Todos os solos contem alumínio em diversas formas ou compostos, sendo praticamente constante seu teor. O que muda são as formas em que o alumínio se encontra.

Acidez trocável ou alumínio trocável

• A acidez trocável é representada pelo alumínio (Al+++).
• A presença de alumínio no solo pode inibir o crescimento radicular e influenciar na disponibilidade de outros nutrientes e processos como a mineralização da matéria orgânica.
• A correção do solo com calcário eleva o pH e insolubiliza o Al3+ tornando o mesmo não prejudicial para as raízes e processos do solo.
• Algumas culturas são mais sensíveis ao Al3+ do que outras.

Na tabela 4 podem ser observados os padrões de interpretação para o alumínio.

Tabela 4 - Classes de interpretação para o teor de alumínio trocável (Al+++)

Elemento	Baixo	Médio	Alto
Al^{3+} ($cmol_c/dm^3$)	< 0,3	0,3 – 1,0	> 1,0

6 H+Al

Também denominada "acidez potencial" ou "acidez total". É composta pela acidez trocável e não trocável, sendo representada pelo H+Al.

• Pode ser obtida diretamente através do método do acetato de cálcio a pH 7.
• Também pode ser obtida indiretamente com base no pH de uma solução tamponada SMP adicionada ao solo.
• O método baseia-se na relação existente entre o pH de uma solução tamponada adicionada ao solo e o teor de H+Al.
• A relação é dependente de atributos físicos, químicos e mineralógicos do solo.
• É necessária a calibração dessa relação para os solos da região de influência do laboratório.
• Quanto mais baixo o pH SMP mais alto o H+Al. A acidez total é utilizada para o cálculo da capacidade de troca catiônica e da saturação por bases.

As classes de interpretação para a acidez potencial (H+Al) estimadas pela correlação com o pH são apresentadas na tabela 5.

Tabela 5 – Classes de interpretação para a acidez potencial (H + Al)

Elemento	Método	Unidade	Classificação		
			Baixo	Médio	Alto
Acidez potencial (H + Al)	Correlação pH SMP	$cmol_c/dm^3$	< 2,5	2,5 – 5,0	> 5,0

7 Soma de bases

Representada pelas letras SB, é a soma das bases presentes no solo, ou seja: dos elementos K+, Na+ Ca2+ e Mg2+. Para o calculo da soma de bases (SB), todos os elementos devem estar expressos na mesma unidade (cmolc/dm3). Como o teor de K+ é expresso em mg/dm3, é necessária à sua transformação. Para isso, divide-se o teor de K+ por 39,1 (massa atômica do K), obtendo-se assim o seu teor em mmolc/dm3, utilizando a análise de solo de referencia, 73/39,1 = 1,87 mmolc/dm3. Para converter mmolc/cm3 em cmolc/dm3 divide-se por 10. O que equivale a 0,187 cmolc/dm3. Portanto, para simplificar o calculo, e utilizado o fator de transformação 391, isto é, se for dividido o teor de K+ em mg/dm3 por 391 (K/391) será obtido o resultado em cmolc/dm3 (73 mg/dm3 de K ÷ 391 = 0,187 cmolc/dm3 de K).

O teor de Sódio (Na) na análise, assim como o K, também é expresso em mg/dm3. Para a sua transformação para cmolc/dm3 o teor de Na deve ser dividido por 23 (massa atômica do Na), chegando-se ao seu teor em mmolc/dm3, ou seja, 15/23 = 0,65 mmolc/dm3. Para converter mmolc/cm3 em cmolc/dm3 divide-se por 10, resultando em 0,065 cmolc/dm3. Para simplificar utiliza-se o fator 230, dividindo-se o teor de Na em mg/dm3 por 230 (Na/230) tendo-se o resultado em cmolc/dm3 (15 mg/dm3 de Na ÷ 230 = 0,065 cmolc/dm3 de Na). Ressalta-se a pouca contribuição do sódio na soma de bases do solo, isto em solos não salinos. Os teores de Ca2+ e Mg2+ na análise frequentemente já são expressos em cmolc/dm3.

No exemplo da figura 2 pode-se ver como, a partir dos dados da análise química do solo chega-se à SB. No entanto, o próprio boletim de análise já traz esse cálculo.

Figura 2 – Exemplo de cálculo da soma de bases (SB) em amostra de solo

DETERMINAÇÕES			Amostra 1	Amostra 2
			63380	63381
M.O.	Mat. Orgânica (Oxi-Red.)	g/dm3	16	14
pHSMP	Tampão SMP (Tampão SMP)	.	6,20	5,73
pH	pH (Sol. CaCl2)	.	5,1	4,6
P	Fósforo (Resina)	mg/dm3	25	28
K	Potássio (Resina)	mmolc/dm3	4,6	4,1
Ca	Cálcio (Resina)	mmolc/dm3	67	50
Mg	Magnésio (Resina)	mmolc/dm3	26	24
Na	Sódio (Mehlich)	mmolc/dm3	1,7	1,1
Al	Alumínio (KCl)	mmolc/dm3	< 1	6
H	Hidrogênio	mmolc/dm3	34,3	50,2
H+Al	H+Al (Tampão SMP)	mmolc/dm3	34	56
S.B.	Soma de Bases	mmolc/dm3	99,3	79,2
C.T.C.	C.T.C.	mmolc/dm3	133,6	135,4
V%	Sat. de Bases	%	74	58
S	Enxofre (Ac. Amônio)	mg/dm3	78	23
B	Boro (Água Quente)	mg/dm3	0,91	0,83
Cu	Cobre (Mehlich)	mg/dm3	1,3	1,1
Fe	Ferro (Mehlich)	mg/dm3	35	34
Mn	Manganês (Mehlich)	mg/dm3	135,0	140,0
Zn	Zinco (Mehlich)	mg/dm3	0,9	0,5
%K CTC	% de K C.T.C.	%	3,4	3,0
%Ca CTC	% de Ca C.T.C.	%	50,2	36,9
%Mg CTC	% de Mg C.T.C.	%	19,5	17,7
%Al CTC	% de Al C.T.C.	%	< 0.1	4,4
%Na CTC	% de Na C.T.C.	%	1,3	0,8
%H CTC	% de H C.T.C.	%	25,7	37,1
Ca/Mg.	Ca/Mg	.	2,6	2,1
Ca/K	Ca/K	.	14,6	12,2
Mg/K	Mg/K	.	5,7	5,9

Amostra 01

SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K + (Na^{+})

SB = 67 + 26 + 4,6 + 1,7

SB = 99,3 $mmol_c.dc^{-3}$

ou

SB = 9,93 $cmol_c.dm^{-3}$

Na tabela 6 podem ser observadas as classes para interpretar os níveis da soma de bases no solo.

Tabela 6 – Classes de interpretação de análise de solo, para a soma de bases (SB)

Elemento	Método	Unidade	Classificação		
			Baixo	Médio	Alto
Soma de bases (SB)	$K^+ + Na^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+}$	$cmol_c/dm^3$	< 2,0	2,0 – 5,0	> 5,0

8 Saturação por bases (V)

O V% indica a porcentagem do total de cargas negativas ocupadas por bases (K+ + Na+ + Ca2+ + Mg2+). Ela é calculada pela divisão da soma de bases (SB) pela CTC do solo, multiplicado por 100.

$$V = \frac{SB \times 100}{T \text{ ou } CTC}$$

A unidade utilizada para expressar a saturação por bases é a porcentagem (%), sendo aceita pelo Sistema Internacional de Unidades por se tratar de um índice calculado e não concentração ou teores. Com a calagem, busca-se elevar a saturação por bases do solo a valores adequados `a exigência da cultura, o que, geralmente, varia de 50 a 80%.

Ao se elevar a saturação por bases do solo, com a calagem, ocorre uma redução proporcional do H+Al, reduzindo-se a acidez do solo.

Na figura 3 pode-se ver como é feito o cálculo do V%, o qual já vem, também, calculado e colocado no próprio boletim de análise.

Figura 3 - Exemplo de cálculo da saturação de bases (V) em amostras de solo

DETERMINAÇÕES			Amostra 1	Amostra 2
			63380	63381
M.O.	Mat. Orgânica (Oxi-Red.)	g/dm3	16	14
pHSMP	Tampão SMP (Tampão SMP)	.	6,20	5,73
pH	pH (Sol. CaCl2)	.	5,1	4,6
P	Fósforo (Resina)	mg/dm3	25	28
K	Potássio (Resina)	mmolc/dm3	4,6	4,1
Ca	Cálcio (Resina)	mmolc/dm3	67	50
Mg	Magnésio (Resina)	mmolc/dm3	26	24
Na	Sódio (Mehlich)	mmolc/dm3	1,7	1,1
Al	Alumínio (KCl)	mmolc/dm3	< 1	6
H	Hidrogênio	mmolc/dm3	34,3	50,2
H+Al	H+Al (Tampão SMP)	mmolc/dm3	34	56
S.B.	Soma de Bases	mmolc/dm3	99,3	79,2
C.T.C.	C.T.C.	mmolc/dm3	133,6	135,4
V%	Sat. de Bases	%	74	58
S	Enxofre (Ac. Amônio)	mg/dm3	78	23
B	Boro (Água Quente)	mg/dm3	0,91	0,83
Cu	Cobre (Mehlich)	mg/dm3	1,3	1,1
Fe	Ferro (Mehlich)	mg/dm3	35	34
Mn	Manganês (Mehlich)	mg/dm3	135,0	140,0
Zn	Zinco (Mehlich)	mg/dm3	0,9	0,5
%K CTC	% de K C.T.C.	%	3,4	3,0
%Ca CTC	% de Ca C.T.C.	%	50,2	36,9
%Mg CTC	% de Mg C.T.C.	%	19,5	17,7
%Al CTC	% de Al C.T.C.	%	< 0,1	4,4
%Na CTC	% de Na C.T.C.	%	1,3	0,8
%H CTC	% de H C.T.C.	%	25,7	37,1
Ca/Mg.	Ca/Mg	.	2,6	2,1
Ca/K	Ca/K	.	14,6	12,2
Mg/K	Mg/K	.	5,7	5,9

Amostra 02

$$V\% = \frac{100 \times SB}{T}$$

$$T = SB + (H^{+} + AL^{3+})$$

$$SB = 79{,}2\ mmol_c.dc^{-3}$$

$$T = 135{,}4$$

$$V\% \frac{100 \times 79{,}2}{135{,}4}$$

$$V\% = 58{,}49$$

Na tabela 7 podem ser observadas as classes usadas para a avaliação da saturação de bases no solo (V%)

Tabela 7 - Classes de interpretação para a saturação de bases(V%) no solo

Elemento	Método	Unidade	Classificação		
			Baixo	Médio	Alto
Saturação em bases (V)	$\frac{SB}{T}$ x 100	%	< 50	50 - 70	> 70

9 CTC Total

A capacidade de troca de cátions do solo (CTC) também pode ser expressa pela letra T. Ela indica a quantidade total de cargas negativas que o solo poderia apresentar se o seu pH fosse 7. Essas cargas podem adsorver (reter) os nutrientes de carga positiva (K+, Ca2+ e Mg2+), adicionados ao solo via calagem ou adubações, e outros elementos como Al3+, H+, Na+ etc.

T = K+ + Na+ + Ca2+ + Mg2+ + (H+Al) ou T ou CTC = SB + (H+Al)

Para o calcular a CTC é necessário que os elementos estejam expressos na mesma unidade (cmolc/dm3). Assim, os teores de K e Na (expressos em mg/dm3) tem que ser transformados para cmolc/dm3, conforme já descrito anteriormente.

Na figura 4 pode-se observar como é feito o cálculo da CTC, ressaltando que este número já vem calculado no Boletim de resultados que chegam do Laboratório.

Figura 4 - Exemplo de cálculo da CTC (T) em amostras de solo

DETERMINAÇÕES			Amostra 1	Amostra 2
			63380	63381
M.O.	Mat. Orgânica (Oxi-Red.)	g/dm3	16	14
pHSMP	Tampão SMP (Tampão SMP)	.	6,20	5,73
pH	pH (Sol. CaCl2)	.	5,1	4,6
P	Fósforo (Resina)	mg/dm3	25	28
K	Potássio (Resina)	mmolc/dm3	4,6	4,1
Ca	Cálcio (Resina)	mmolc/dm3	67	50
Mg	Magnésio (Resina)	mmolc/dm3	26	24
Na	Sódio (Mehlich)	mmolc/dm3	1,7	1,1
Al	Alumínio (KCl)	mmolc/dm3	< 1	6
H	Hidrogênio	mmolc/dm3	34,3	50,2
H+Al	H+Al (Tampão SMP)	mmolc/dm3	34	56
S.B.	Soma de Bases	mmolc/dm3	99,3	79,2
C.T.C.	C.T.C.	mmolc/dm3	133,6	135,4
V%	Sat. de Bases	%	74	58
S	Enxofre (Ac. Amônio)	mg/dm3	78	23
B	Boro (Água Quente)	mg/dm3	0,91	0,83
Cu	Cobre (Mehlich)	mg/dm3	1,3	1,1
Fe	Ferro (Mehlich)	mg/dm3	35	34
Mn	Manganês (Mehlich)	mg/dm3	135,0	140,0
Zn	Zinco (Mehlich)	mg/dm3	0,9	0,5
%K CTC	% de K C.T.C.	%	3,4	3,0
%Ca CTC	% de Ca C.T.C.	%	50,2	36,9
%Mg CTC	% de Mg C.T.C.	%	19,5	17,7
%Al CTC	% de Al C.T.C.	%	< 0.1	4,4
%Na CTC	% de Na C.T.C.	%	1,3	0,8
%H CTC	% de H C.T.C.	%	25,7	37,1
Ca/Mg.	Ca/Mg	.	2,6	2,1
Ca/K	Ca/K	.	14,6	12,2
Mg/K	Mg/K	.	5,7	5,9

Amostra 02

$$T = SB + (H^{+} + Al^{3+})$$

$$SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + (Na^{+})$$

$$SB = 50 + 24 + 4,1 + 1,1$$

$$SB = 79,2\ mmol_c.dc^{-3}$$

$$T = 79,2 + (50,2 + 6)$$

$$T = 135,4\ mmol_c.dc^{-3}$$

Na tabela 8 podem ser observadas as classes usadas para a avaliação da CTC do solo.

Tabela 8 - Classes de interpretação para a CTC total(T) no solo

Característica	Método	Unidade	Classificação		
			Baixo	Médio	Alto
CTC (T)	SB + H + Al	$cmol_c/dm^3$	<4,5	4,5 - 10	> 10

10 CTC Efetiva

Indicada pela letra t, é a quantidade de cargas negativas ocupadas com os cátions trocáveis; porém, neste caso não se considera o H+.

t = K+ + Na+ + Ca2+ + Mg2+ + Al3+ ou t = SB + Al3

Tabela 9 - Classes de interpretação para a CTC efetiva (t)

Elemento	Método	Unidade	Classificação		
			Baixo	Médio	Alto
CTC efetiva (t)	SB + Al^{3+}	$cmol_c/dm^3$	< 2,5	2,5 – 6,0	> 6,0

A diferença básica entre a CTC efetiva (t) e a CTC a pH 7,0 (T) é que esta última inclui hidrogênio (H+) que se encontrava em ligação covalente (muito forte) com o oxigênio nos radicais orgânicos e sesquióxidos de ferro e alumínio, tão comuns nos solos brasileiros.

DETERMINAÇÕES			Amostra 1	Amostra 2
			63380	63381
M.O.	Mat. Orgânica (Oxi-Red.)	g/dm3	16	14
pHSMP	Tampão SMP (Tampão SMP)		6,20	5,73
pH	pH (Sol. CaCl2)		5,1	4,6
P	Fósforo (Resina)	mg/dm3	25	28
K	Potássio (Resina)	mmolc/dm3	4,6	4,1
Ca	Cálcio (Resina)	mmolc/dm3	67	50
Mg	Magnésio (Resina)	mmolc/dm3	26	24
Na	Sódio (Mehlich)	mmolc/dm3	1,7	1,1
Al	Alumínio (KCl)	mmolc/dm3	< 1	6
H	Hidrogênio	mmolc/dm3	34,3	50,2
H+Al	H+Al (Tampão SMP)	mmolc/dm3	34	56
S.B.	Soma de Bases	mmolc/dm3	99,3	79,2
C.T.C.	C.T.C.	mmolc/dm3	133,6	135,4
V%	Sat. de Bases	%	74	58
S	Enxofre (Ac. Amônio)	mg/dm3	78	23
B	Boro (Água Quente)	mg/dm3	0,91	0,83
Cu	Cobre (Mehlich)	mg/dm3	1,3	1,1
Fe	Ferro (Mehlich)	mg/dm3	35	34
Mn	Manganês (Mehlich)	mg/dm3	135,0	140,0
Zn	Zinco (Mehlich)	mg/dm3	0,9	0,5
%K CTC	% de K C.T.C.	%	3,4	3,0
%Ca CTC	% de Ca C.T.C.	%	50,2	36,9
%Mg CTC	% de Mg C.T.C.	%	19,5	17,7
%Al CTC	% de Al C.T.C.	%	< 0,1	4,4
%Na CTC	% de Na C.T.C.	%	1,3	0,8
%H CTC	% de H C.T.C.	%	25,7	37,1
Ca/Mg	Ca/Mg		2,6	2,1
Ca/K	Ca/K		14,6	12,2
Mg/K	Mg/K		6,7	5,9

Amostra 02

T = SB + H^+ + Al^{3+}

SB = 50 + 24 + 4,1 + 1,1

SB = 79,2

t = 79,2 + 6 = 85,2 $mmol_c.dc^{-3}$

ou

t = 8,52 $cmol_c.dm^{-3}$

11 Saturação por Al

A saturação por alumínio no solo reflete a percentagem de cargas negativas do solo, próximo ao pH natural, que está ocupada por Al trocável.

- m% = 100 X Al3+/ t , lembrando que t = Ca2+ + Mg2+ + K+ + (Na+) + Al3+
- O efeito nocivo de altos teores de Al trocável e, ou, da alta percentagem de saturação por alumínio no desenvolvimento e produção de culturas sensíveis a este problema é fato amplamente comprovado pela pesquisa.

Na figura 5 mostra-se um exemplo de cálculo da saturação de alumínio em amostra de solo.

Figura 5 - Exemplo de cálculo da saturação de alumínio em amostras de solo

DETERMINAÇÕES			Amostra 1	Amostra 2
			63380	63381
M.O.	Mat. Orgânica (Oxi-Red.)	g/dm3	16	14
pHSMP	Tampão SMP (Tampão SMP)	.	6,20	5,73
pH	pH (Sol. CaCl2)	.	5,1	4,6
P	Fósforo (Resina)	mg/dm3	25	28
K	Potássio (Resina)	mmolc/dm3	4,6	4,1
Ca	Cálcio (Resina)	mmolc/dm3	67	50
Mg	Magnésio (Resina)	mmolc/dm3	26	24
Na	Sódio (Mehlich)	mmolc/dm3	1,7	1,1
Al	Alumínio (KCl)	mmolc/dm3	< 1	6
H	Hidrogênio	mmolc/dm3	34,3	50,2
H+Al	H+Al (Tampão SMP)	mmolc/dm3	34	56
S.B.	Soma de Bases	mmolc/dm3	99,3	79,2
C.T.C.	C.T.C.	mmolc/dm3	133,6	135,4
V%	Sat. de Bases	%	74	58
S	Enxofre (Ac. Amônio)	mg/dm3	78	23
B	Boro (Água Quente)	mg/dm3	0,91	0,83
Cu	Cobre (Mehlich)	mg/dm3	1,3	1,1
Fe	Ferro (Mehlich)	mg/dm3	35	34
Mn	Manganês (Mehlich)	mg/dm3	135,0	140,0
Zn	Zinco (Mehlich)	mg/dm3	0,9	0,5
%K CTC	% de K C.T.C.	%	3,4	3,0
%Ca CTC	% de Ca C.T.C.	%	50,2	36,9
%Mg CTC	% de Mg C.T.C.	%	19,5	17,7
%Al CTC	% de Al C.T.C.	%	< 0.1	4,4
%Na CTC	% de Na C.T.C.	%	1,3	0,8
%H CTC	% de H C.T.C.	%	25,7	37,1
Ca/Mg.	Ca/Mg	.	2,6	2,1
Ca/K	Ca/K	.	14,6	12,2
Mg/K	Mg/K	.	5,7	5,9

Amostra 02

$$m\% = \frac{100 \times Al^{3+}}{t}$$

$$t = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + (Na^{+}) + Al^{3+}$$

$$t = 50 + 24 + 4{,}1 + 1{,}1 + 6 = 86{,}2 \ mmol_c.dc^{-3}$$

$$m\% = \frac{100 \times 6}{85{,}2}$$

$$m\% = 7{,}04$$

12 Matéria orgânica do solo (MO)

A matéria orgânica (MO) tem influência direta nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, e é formada pelos resíduos das plantas ali inseridas, parte aérea e radicular, de micro-organismos e exsudados de raízes. Ela é constituída basicamente por C, H, O, N, S e P. A proporção destes elementos gira em torno de 58% de C, 6% de H, 33% de O e 3% de N, S e P. O teor de MO do solo pode ser calculado multiplicando-se o teor de carbono do solo (carbono orgânico) pelo fator 1,72 (obtido pela divisão 100/58) ou através da % de nitrogênio que multiplicada por 20 corresponde também à % de MO.

Teores de matéria orgânica do solo são indicativos diretos do seu potencial produtivo, pois solos com maior teor de MO apresentam maiores valores de CTC, e maior capacidade de fornecimento de nutrientes às plantas, quando comparados a solos com menores teores de MO. Em solos tropicais, como no Brasil, a MO é a principal responsável pela geração de cargas negativas do solo, contribuindo com ate 80% das cargas negativas. Com a mineralização da MO no solo, ocorre uma liberação de bases que estavam imobilizadas nas cadeias carbônicas dos tecidos vegetais, promovendo aumento do pH e da disponibilidade de nutrientes. Ocorre também a complexação do Al3+ do solo pelas moléculas orgânicas liberadas, o que contribui para reduzir a toxidez desse elemento e elevar o pH.

13 Fósforo

O teor de fósforo "disponível" (P) para as plantas é uma medida relativa da quantidade do elemento no solo. Para a sua determinação, são mais comuns extratores Mehlich-m1 e a Resina. As quantidades de P recuperadas por esses extratores são diferentes.

Os extratores Mehlich-1 e Resina não objetivam quantificar o total de P existente no solo, mas sim a possibilidade de resposta à adubação fosfatada: se baixa, média ou alta. Mesmo que os valores absolutos do teor de P do solo sejam diferentes entre estes extratores, a classe de disponibilidade deverá ser a mesma, isto é, se um solo é classificado como de baixa disponibilidade de P pelo extrator Mehlich-1, é de se esperar a mesma classificação pelo extrator Resina.

O extrator Mehlich-1, por ser uma solução ácida (pH em torno de 2,0), pode dissolver formas de P pouco solúveis, como em solos que receberam fosfato natural e termofosfatos, apresentando teores mais elevados do que o realmente disponível para as plantas. Apesar disso, o extrator Mehlich-1 é o mais utilizado no Brasil, devido sua simplicidade.

Assim como as plantas, a capacidade de extração do Mehlich-1 é dependente da quantidade e qualidade da argila do solo, em razão da forte ligação do P com as partículas do solo, principalmente com os óxidos de Fe e Al. Portanto, quanto maior a quantidade de argila e a presença desses óxidos, menor é a capacidade de extração de P pelo extrator e menores serão os valores obtidos.

Assim, para a adequada interpretação da disponibilidade de P pelo extrator Mehlich-1, é necessário conhecer a capacidade de adsorção

de P do solo (capacidade tampão). Essa característica pode ser estimada preferencialmente pela análise denominada "fósforo remanescente", simbolizada por "P-rem".

O fósforo remanescente (P-rem) mede a capacidade de adsorção de P do solo, ou seja, o quanto do P aplicado é retido pelas argilas do solo. A sua análise é realizada através da agitação de um determinado volume de solo (10 cm3) com uma solução contendo P em uma concentração conhecida (60 mg/L de P). Quanto mais argiloso for o solo, maior será a adsorção de P pelas argilas e menor será a quantidade de P na solução de equilíbrio, pois parte do P da solução será retida pelas argilas. Após determinado tempo de contato, o P é quantificado na solução em equilíbrio (dai a denominação "fosforo remanescente"). A concentração final de P na solução indica a capacidade de adsorção do solo e permite inferir sobre a sua textura, se argilosa, mádia ou arenosa (Tabela 10). A concentração de P na solução em equilíbrio (P-rem) será menor para solos argilosos e maior para solos arenosos. O P-rem também e utilizado para avaliar a capacidade de adsorção de Zn e S pelo solo.

Tabela 10 – Estimativa da textura do solo em função do fósforo remanescente (Prem.)

P-rem (mg/L)	Estimativa da textura do solo
< 20	Argilosa
20 - 40	Média
> 40	Arenosa

O teor de P determinado na análise de solo é um valor relativo, que indica o teor de P "disponível" para as culturas. As classes de fertilidade, por exemplo, correspondentes a níveis baixo, médio e alto, são determinadas por meio de trabalhos de calibração, em que são correlacionados os teores de P no solo, determinados por um extrator (Mehlich-1, Resina etc.), e o crescimento das plantas.

As faixas de teores são utilizadas como referência para indicar a disponibilidade de P atual do solo e auxiliar nos cálculos da quantidade de fertilizante a ser aplicado ao solo para a máxima eficiência econômica das culturas (Tabela 11).

Tabela 11 - Disponibilidade de P para as culturas em função do teor de P no solo determinado pelo extrator Mehlich-1

Teor de P no solo mg/dm³	**Disponibilidade de P para as culturas**
<5	A maioria das culturas cultivadas em solo com este teor de P provavelmente terão baixa produtividade devido à baixa disponibilidade desse elemento, principalmente em solos de textura arenosa (Prem > 40)
5 - 10	Situação em que somente algumas culturas perenes conseguem manter produtividades médias, como, por exemplo, espécies florestais. Em solos de textura arenosa, esta faixa de teor ainda é limitante para culturas anuais e hortaliças.
10 - 20	Satisfaz a demanda de grande parte das culturas perenes, mas ainda é limitante para a maioria das culturas anuais e hortaliças.
20 - 40	Faixa de teor é adequada para a maioria das culturas perenes e limitante para hortaliças. Apresenta média disponibilidade para culturas anuais somente em solo com característica arenosa.
40 - 80	Boa disponibilidade para culturas perenes e anuais, porém limitante para algumas hortaliças de alta produtividade como, por exemplo, tomate e batata.
> 80	Faixa de teor adequada para a maioria das culturas.

Tabela 12 - Classes de interpretação para fósforo disponível em função da cultura e do fósforo remanescente (Prem)

P Método	Cultura	P rem	Classificação		
			Baixo	Médio	Alto
		mg/L		mg/dm³	
Mehlich-1	Perene	< 20	< 5	5 - 10	>10
		20 - 40	< 10	10 - 20	>20
		> 40	< 20	20 - 30	> 30
	Anual	< 20	< 20	20 - 40	>40
		20 - 40	< 40	40 - 60	> 60
		> 40	< 60	60 - 80	> 80
	Hortaliça	< 20	< 30	30 - 60	> 60
		20 - 40	< 60	60 - 100	>100
		> 40	< 100	100 - 150	> 150

Fonte: Prezotti et al. (2007).

Ressalta-se que os valores colocados na tabela 12 se referem ao extrator Mehlich-1. Caso o laboratório utilize o extrator Resina, os valores de referência serão diferentes, conforme tabela 13.

Tabela 13 - Classes de interpretação para fósforo disponível, pelo extrator resina, em função da cultura.

Método	Cultura	Classificação				
		Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
		mg/dm³				
Resina	Florestais	0 - 2	3 - 5	6 - 8	9 - 16	> 16
	Perenes	0 - 5	6 - 12	13 - 30	31 - 60	> 60
	Anuais	0 - 6	7 - 15	16 - 40	41 - 80	> 80
	Hortaliças	0 - 10	11 - 25	26 - 60	61 - 120	> 120

Fonte: Raij et al (1996).

O valor nas análises é expresso em P. Como o fósforo, nos adubos, é expresso usualmente em equivalência de P205, pode-se fazer a conversão, do P para P205. Para isso basta multiplicar o teor de P por 2,29, e para transformação contrária o multiplicador deve ser 0,34.

14 Potássio disponível (K)

Os resultados da análise de potássio indicam o teor de potássio disponível no solo. Ele é extraído pelo extrator Mehlich-1 ou por Resina de troca catiônica. Os valores de K obtidos por esses 2 extratores não diferem tanto quanto para o P.

A maior proporção do K do solo (98 %) encontra-se nas estruturas dos minerais, em forma não disponível para as plantas, sendo denominado K estrutural. Apenas uma pequena fração encontra-se em formas mais disponíveis, sendo denominado K trocável, aquele ligado às cargas negativas das argilas, e o K em solução, o que permanece livre, na fase líquida do solo. Com a intemperizacão dos minerais, parte do K estrutural passa para as formas trocável e em solução. Porém, é um processo lento e, na maioria dos casos, insuficiente para suprir culturas comerciais de maior produtividade, principalmente as de ciclo curto. A maior ou menor capacidade do solo em repor o K em solução dependente da quantidade de K estrutural, variável com a quantidade e qualidade dos minerais do solo.

A análise do solo somente determina a quantidade de K disponível às plantas em curto espaço de tempo, constituído por parte do K trocável e K em solução. Os teores de K são expressos em mg/dm3 e correspondem ao mesmo valor em ppm.

Para efeito de avaliação da disponibilidade de K e para indicação de adubação é importante expressar a participação do potássio em relação

à CTC do solo, em termos percentuais. Os laboratórios normalmente já calculam e fornecem este dado, porém pode-se, facilmente, fazer este cálculo percentual. Esta participação do K na CTC deve estar alinhada, ainda, com a participação do Ca e Mg, elementos antagônicos ao K.

Nas tabelas 14 e 15 podem ser observados os níveis de K correspondentes a 3 classes de suficiência, em níveis baixo, médio e alto, para dois tipos de extratores.

Tabela 14 - Classes de interpretação para potássio disponível, pelo extrator Mehlich-1, em função da cultura.

Método	Cultura	Classificação		
		Baixo	Médio	Alto
		mg/dm ^{3}		
Mehlich-1	Perene / Anual	< 60	60 - 150	> 150
	Hortaliça	< 80	80 - 200	> 200

Fonte: Prezotti et al. (2007).

Tabela 15 - Classes de interpretação para potássio disponível, pelo extrator Resina.

Método	Classificação				
	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
Resina	0 - 30	31 - 60	61 - 120	121 - 235	> 235

Fonte: Raij et al (1996).

15 Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg)

Os resultados da análise de cálcio e magnésio indicam a quantidade desses nutrientes no solo na forma trocável (Ca2+ e Mg2+), ou seja, os níveis passíveis de absorção pelas plantas.

Os teores de Ca2+ e Mg2+ estão diretamente relacionados com a acidez dos solos. Geralmente solos ácidos apresentam baixos teores de Ca2+ e de Mg2+ e solos de boa fertilidade, maiores teores de Ca2+ e de Mg2+. Eles são os elementos que mais influenciam na saturação de bases (V%), em razão da sua maior taxa de ocupação da CTC.

Os teores de Ca e Mg são aumentados com a aplicação de calcário, que, por sua vez, elevam a saturação por bases do solo, aumentam o pH e reduzem a toxidez do Al. Solos de baixa CTC e baixos teores de Ca e Mg (características de solos arenosos) podem apresentar de média a elevada V%, porém, como é um valor relativo isto pode dar uma falsa indicação de fertilidade elevada. Por esta razão, é importante que os teores de Ca e Mg, principalmente nesses solos de baixa CTC, estejam acima dos níveis adequados ao bom crescimento das culturas, conforme indicado na Tabela 16.

Tabela 16 - Classes de interpretação de níveis de Ca e Mg no solo

Elemento	Método	Unidade	Classificação		
			Baixo	Médio	Alto
Cálcio (Ca)	KCl 1 mol/L	$cmol_c/dm^3$	< 1,5	1,5 – 4,0	> 4,0
Magnésio (Mg)	KCl 1 mol/L	$cmol_c/dm^3$	< 0,5	0,5 – 1,0	> 1,0

Da mesma forma que o potássio, o cálcio e o magnésio podem ser expressos em percentagem da CTC, os três devendo estar em equilíbrio, com maior participação percentual do cálcio (40-50%), seguido do magnésio (15-20%) e do potássio 3-5%. Os laboratórios já calculam e informam, no Boletim de análises do solo, os percentuais desses nutrientes.

É preciso atentar que os níveis de Ca e Mg nos insumos, por exemplo, no calcário, são expressos em CaO e MgO.

16 Enxofre (S)

O teor de enxofre no solo, assim como o nitrogênio, é facilmente alterado com o manejo do solo ou com a precipitação pluviométrica, pois ele é lixiviado com facilidade na forma de SO4++. Por isso seu teor geralmente é maior em camadas inferiores, como, por exemplo, a de 20 a 40 cm.

Nas recomendações de adubação, o S geralmente e relegado a segundo plano em razão do seu fornecimento via fertilizantes, como o sulfato de amônio, superfosfato simples ou sulfato de potássio, ou via adubos orgânicos. Outra razão é que doses relativamente baixas (40 a 80 kg/ha) são suficientes para atender a demanda da maioria das culturas. Entretanto, quando são utilizados continuamente fertilizantes que não possuem S em sua composição, como os formulados de alta concentração, que são constituídos principalmente por ureia, MAP e cloreto de potássio e em lavouras de alta produtividade, pode ocorrer deficiência de S.

Na Tabela 17 são apresentadas as classes de interpretação para enxofre no solo.

Tabela 17 - Classes de interpretação de níveis de Ca e Mg no solo

Elemento	Método	Classificação		
		Baixo	Médio	Alto
		mg/dm³		
Enxofre (S)	CaH_2PO_4 0,01 M	< 5,0	5,0 - 10	> 10

17 Micronutrientes

Os micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn além do Mo, Cl e Co, embora sejam exigidos em menores quantidades, são tão importantes para a nutrição e o crescimento das plantas quanto os macronutrientes.

Nas análises de solo normais os Laboratórios não analisam os micro-nutrientes, sendo preciso solicitar este tipo de análise, que tem um custo adicional.

Os resultados de análise dos micro-nutrientes são expressos em mg/dm3 sendo o mesmo que ppm (parte por milhão).

Além da análise de solo, o histórico da área (uso de fertilizantes contendo micronutrientes) e a análise química das folhas das plantas são importantes para auxiliar na recomendação e monitorar, ao longo dos anos, possíveis problemas de deficiência ou de toxidez.

Na Tabela 18 é apresentada uma aproximação de interpretação da análise de solo para micronutrientes em Minas Gerais.

Tabela 18 - Classes de interpretação da disponibilidade de micronutrientes no solo, para o estado de Minas Gerais

Micronutriente	Classificação				
	Muito baixo	Baixo	Médio[1/]	Bom	Alto
	---------- mg/dm³ ----------				
Zinco[2/]	0,4	0,5 a 0,9	1,0 a 1,5	1,6 a 2,2	> 2,2
Manganês[2/]	2	3 a 5	6 a 8	9 a 12	> 12
Ferro[2/]	8	9 a 18	19 a 30	31 a 45	> 45
Cobre[2/]	0,3	0,4 a 0,7	0,8 a 1,2	1,3 a 1,8	> 1,8
Boro[3/]	0,15	0,16 a ,35	0,36 a 0,60	0,61 a 0,90	> 0,90

1/ O limite superior dessa classe indica o nível crítico; 2/Extrator Mehlich 1 para Cu, Mn e Zn; 3/ Extrator água quente para B.

Referências

- Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos / Lafayette Franco Sobral ... [et al.] – Aracaju : Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. 13 p. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1953; 206). Disponível em: www.bdpa.cnptia.embrapa.br

- MATIELLO, J. B. et al. Cultura de café no Brasil- Manual de recomendações. Fundação Procafé, 2015, 586p. e ilustr.

- CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F. de; PRIETO, H. E.; NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R. F; ALVAREZ, V.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007a.

- SOBRAL, L. F.;VIÉGAS, P. R. A.; SIQUEIRA, O. J. W.; ANJOS, J. L.; BARRETO, M. C. V.; GOMES, J. B. V. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes no Estado de Sergipe. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2007. 251 p. v. 1.

terradecultivo
fertilizantes

@terradecultivo

@terradecultivo

www.terradecultivo.com.br