

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ**  
**Departamento de Ciência do Solo**  
**LSO – 0300 Química e Fertilidade do Solo**

**Questões de aulas teóricas**

**Origem das cargas elétricas do solo e Ponto de Carga Zero**

1. As cargas elétricas do solo são divididas em duas classes principais. Quais são elas?
2. Qual o principal mecanismo de geração de cargas permanentes ou constantes? Esse tipo de carga é mais comum em solos tropicais úmidos bem drenados ou em solos temperados? Por quê?
3. Quais as principais substituições iônicas (ou isomórficas) que ocorrem nos tetraedros de sílica e nos octaedros de alumina?
4. Explique o mecanismo de geração de cargas por dissociação do grupo OH e por protonação. Como a variação do pH da solução do solo afeta os mecanismos?
5. Quais os principais radicais orgânicos que participam da geração de cargas elétricas? São formadas predominantemente cargas positivas ou negativas?
6. Qual o mecanismo de geração de cargas nos seguintes coloides do solo:
  - a) matéria orgânica;
  - b) minerais de argila;
  - c) óxidos e hidróxidos de Fe e de Al;
7. Por que é mais comum que o solo tenha carga líquida negativa do que positiva?
8. Defina Ponto de Carga Zero (PCZ).
9. Quais os valores médios de PCZ dos óxidos de ferro e de alumínio, minerais de argila e matéria orgânica?
10. Em valores comuns de pH do Solo (de 4 a 6,5) é mais comum que apareçam cargas positivas na superfície dos coloides orgânicos ou de óxidos de Fe e de Al? Relacione sua resposta com o conceito de PCZ.
11. Considerando a diversidade dos componentes da fase sólida, qual seria o valor médio do PCZ da camada superficial da maioria dos solos tropicais? Qual é faixa de variação do pH da solução do solo? Com base nessas informações, é mais comum se encontrar carga líquida negativa ou positiva nos solos?

12. Qual o principal coloide que atua na redução do PCZ dos solos?
13. Se o pH do solo for maior do que o seu PCZ, há predomínio de que tipo de carga (negativa ou positiva)? E se o pH for menor que o PCZ, o que ocorre?
14. À medida que a profundidade do solo aumenta, o PCZ de um solo tropical altamente intemperizado aumenta ou diminui? Por quê?

### **Adsorção e Troca Iônica**

1. Qual a definição de CTC? Quais as unidades utilizadas até 1996? Quais as unidades recomendadas atualmente?
2. Calcule a estimativa de CTC de um solo A com 20% de argila e 4 % de matéria orgânica, sendo a argila do tipo 2:1 com CTC média de  $700 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$  e matéria orgânica com CTC de  $900 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ . Faça o mesmo para um solo B com 50% de argila e 2 % de matéria orgânica, sendo a argila do tipo 1:1 e alto teor de óxidos de Fe e de Al com CTC média de  $60 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$  e matéria orgânica com CTC de  $800 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ . Qual deles tem maior CTC? Qual deles deve ser da região tropical úmida? Explique sua resposta.
3. Cite a faixa de valores de CTC dos argilominerais 2:1, 1:1 e óxidos de Fe e de Al.
4. Um solo A tem 80% da CTC representada por cargas permanentes e 20 % de cargas variáveis. Por outro lado, um solo B tem 25% da CTC representada por cargas permanentes e 75 % de cargas variáveis. Qual dos solos deve ser da região tropical úmida? Explique sua resposta.
5. A matéria orgânica é responsável, aproximadamente, por que % da CTC total de solos do trópico úmido? Que relação isso tem com o sistema de plantio direto?
6. Explique por que a CTC de um solo é próxima à sua CTA num solo em que o pH está próximo ao ponto de carga zero (PCZ).
7. Defina o fenômeno de adsorção.
8. Quais os tipos de mecanismos de adsorção pelos quais os nutrientes e/ou elementos tóxicos podem se ligar ao solo?
9. Cite a ordem preferencial de atração de cátions trocáveis (Al, Ca, Mg e K) pelos solos (série liotrópica) e explique os motivos dessa sequência.
10. Cite íons que são especificamente adsorvidos pelo solo. Relacione alguns íons retidos pelo solo por adsorção não-específica.
11. Descreva o mecanismo de adsorção dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e K) nos solos. Quais deles são trocáveis? Qual a relação entre força de adsorção e movimento dos íons no solo?

## **Reação do Solo**

1. Dê as definições de Soma de Bases, CTC efetiva, CTC total, porcentagem de saturação por bases (V%) e porcentagem de saturação por alumínio (m%).
2. Sabendo-se somente o valor de V% de um solo, podemos inferir sobre sua fertilidade? Por quê?
3. Observe algumas características dos solos A e B. Qual está sendo mais bem manejado? Qual tem maior fertilidade potencial?
4. Defina pH.
5. Qual a atividade de hidrogênio ( $\text{mol L}^{-1}$ ) de um solo que apresenta  $\text{pH} = 4,0$
6. Um solo foi corrigido e seu pH aumentou de 4,0 para 5,0. A atividade de  $\text{H}^+$  diminuiu ou aumentou? Quantas vezes?
7. O pH de um solo diminuiu de 6 para 4. Mostre como variou a atividade de  $\text{H}^+$  e verifique quantas vezes a acidez do solo aumentou.
8. Quais são as principais causas da reação (acidez) do solo?
9. Qual o efeito do pH na fertilidade do solo? Qual a faixa de pH  $\text{H}_2\text{O}$  e pH  $\text{CaCl}_2$  0,01M considerada ideal para a disponibilidade dos nutrientes?
10. Como o pH afeta a disponibilidade dos micronutrientes?
11. De que maneira o pH pode influenciar a disponibilidade de N, S e B nos solos?
12. Como se comportam os cátions básicos trocáveis do solo (Ca, Mg e K) em relação à variação do pH?
13. O aumento do pH do solo na faixa de 4 a 7 aumenta ou diminui a disponibilidade de Al? Por quê?
14. O que é poder tampão de um solo?
15. Quais são os componentes da fase sólida do solo que afetam o poder tampão dos solos? Por quê?
16. Se dois solos tiverem o mesmo pH, na faixa ácida, qual deles necessitará de mais calcário: um argiloso com alto teor de matéria orgânica ou um arenoso com baixo teor de matéria orgânica? Por quê? Explique com base no conceito de poder tampão do solo.

## **Oxidação e Redução no Solo**

1. O que envolve as reações redox e qual sua importância na química e na fertilidade do solo.
2. Qual a diferença entre as reações de oxidação e redução?
3. De modo geral em solos aeróbicos, qual o principal agente oxidante e qual o principal agente redutor?

4. Quais condições favorecem o baixo teor ou a inexistência de O<sub>2</sub> no solo?
5. Em solos anaeróbicos, a concentração de íons reduzidos indesejáveis na solução do solo aumenta ou diminui? Explique exemplificando quais são esses íons e por que eles são indesejáveis.
6. Qual a sequência de receptores de elétrons secundários em solos?
7. Solos alagados sofrem várias transformações químicas. Quais as implicações em termos da fertilidade do solo?

### **Matéria Orgânica do Solo**

1. O que se entende por matéria orgânica do solo (MOS).
2. Qual a diferença entre matéria orgânica e húmus?
3. Quais são os principais constituintes da MOS?
4. Do que é composto o húmus?
5. Quais são os fatores que determinam a quantidade de MOS? Explique suas influências.
6. Como a MOS se comporta ao longo do perfil do solo? Dê exemplos de suas formas de distribuição no perfil.
7. Quais as principais propriedades físicas do solo influenciadas pela matéria orgânica? Cite exemplos.
8. Quais as principais propriedades químicas do solo influenciadas pela matéria orgânica? Cite exemplos.
9. Caso você fosse um agricultor preocupado em manter um teor adequado de MOS, quais práticas você adotaria?
10. Por que a matéria orgânica é tão importante para os solos tropicais?

### **Nitrogênio do Solo**

1. Cite e comente sobre as formas de ocorrência do nitrogênio do solo.
2. Qual(s) é(são) a(s) forma(s) de absorção de N pelas plantas?
3. A distribuição de N total e N mineral é uniforme no perfil do solo? Comente.
4. Por que a distribuição do N no perfil do solo se assemelha a distribuição da MOS?
5. A aquisição de N pelo solo através de precipitações atmosféricas é significativa ou não? Explique.
6. Comente sobre as duas formas de fixação biológica do N no solo: assimbiótica ou livre e a simbiótica.

7. O que é mineralização e imobilização de N no solo? Qual a influência desses processos na absorção de N pelas plantas a partir da solução do solo?
8. Comente sobre as etapas da mineralização do N no solo.
9. Como ocorrem as perdas de N do solo? Comente.
10. Quais as consequências do processo de desnitrificação para o ambiente e para as plantas?
11. O que representa a relação C/N? Como se comporta esta relação com o avanço da decomposição
12. Qual o valor ideal da relação C/N? O que acontece caso sejam observados valores acima ou abaixo desta relação?
13. Imagine que você trabalha em uma propriedade e que dispõe dos seguintes compostos:

### **Fósforo do Solo**

1. Considerando a importância do fósforo (P) como macronutriente primário essencial à nutrição vegetal, aponte algumas características gerais do elemento.
2. Qual o conteúdo médio de P (mg dm<sup>3</sup>) nos solos do Estado de São Paulo? Normalmente o conteúdo é maior em solos arenosos ou argilosos?
3. Quais as principais formas de ocorrência de P no solo?
4. Cite quatro minerais primários que contêm P na sua composição, indicando sua fórmula química. O P contido nestes minerais está disponível para as plantas?
5. Cite 2 minerais secundários contendo P, indicando sua fórmula química. Sabendo que estes minerais possuem grande estabilidade em condições ácidas, a calagem aumentaria ou diminuiria a disponibilidade de P?
6. Quais as principais formas de P presentes na solução do solo passíveis de serem absorvidas pelas plantas? Considerando que a grande maioria dos solos tropicais possui pH < 7,2, qual é a forma predominante de P nestas condições?
7. Através de qual mecanismo o P é retido pela fase sólida? Quais os colóides do solo com os quais o P possui maior afinidade de reação?
8. Cite e comente sobre os principais fatores que influem na adsorção de P.
9. Qual a influência da matéria orgânica na adsorção de P
10. Diferencie fixação de P e adsorção de P.
11. Segundo a disponibilidade para as plantas, como o P pode ser classificado? Comente cada uma das formas.
12. Quais são os principais mecanismos de perda de P do solo?

### **Potássio no Solo**

1. Quais são os principais mecanismos de perda de P do solo?
2. Cite as formas de ocorrência de K no solo.
3. Em que fração (mineral, trocável ou orgânica) se encontra a maior parte do K do solo?
4. O que é fixação de potássio, qual o mecanismo responsável e os principais minerais responsáveis por esse fenômeno?
5. Compare a mobilidade do K em relação à de N e de P no solo.
6. Quais as principais perdas de K do solo?
7. Quais fatores favorecem as perdas de K por lixiviação? Explique.

### **Enxofre no solo**

1. Quais as semelhanças entre o ciclo do S e do N?
2. Como é a distribuição do teor de S no perfil do solo?
3. Quais as formas de ocorrência de S no solo? E nos minerais? Cite exemplos.
4. Quais fatores afetam a adsorção de enxofre no solo? Explique sua resposta.
5. Qual a contribuição do S orgânico no conteúdo total de S do solo.
6. Quais as principais formas de S disponível para as plantas?
7. Por que geralmente o teor de sulfato é maior na camada de 20-40 cm do que na camada de 0-20 cm?
8. Quais transformações o S pode sofrer no solo?
9. Como ocorre a mineralização de S?
10. Quais formas de S predominam nos solos alagados e nos solos aerados?
11. Quais formas de adição de S ao solo?
12. Cite as formas de perda de S do solo e qual forma contribui em maior proporção.
13. Quais fatores contribuem para a lixiviação de S no solo?

### **Micronutrientes no solo**

1. O que são micronutrientes e o que diferem dos macronutrientes?
2. Qual a principal fonte de B para as plantas? Quais os fatores que influenciam na sua disponibilidade?
3. Sob que formas o B pode ser adsorvido aos colóides do solo? Essa adsorção é do tipo específica ou não específica?
4. Em que formas o Cu ocorre na matéria orgânica do solo?

5. O que pode acontecer com a disponibilidade de Cu em solos com alto teor de matéria orgânica? Explique.
6. Em solos intemperizados o Fe geralmente está em estado oxidado ou reduzido? Explique.
7. Sob que forma o Mo pode ser adsorvido pelos coloides do solo? Essa adsorção é específica ou não específica? A disponibilidade para as plantas é alta ou baixa?
8. Sob que forma o Cl pode ser adsorvido aos coloides? Qual é o tipo de adsorção?
9. A calagem de um solo ácido pode causar deficiência de Zn no solo? Por que?

### **Leis da Fertilidade do Solo**

1. Qual a diferença entre macro e micronutriente?
2. Quais os elementos considerados macronutrientes e quais são os micronutrientes?
3. Dê 2 características de um solo fértil.
4. Diferencie solo fértil de solo produtivo.
5. Comente a “Lei da Restituição”. Qual o seu inconveniente?
6. O que diz a “Lei do Mínimo” ou de Liebig? Qual sua limitação?
7. Enuncie a “Lei dos Acréscimos Decrescentes” e aponte sua limitação. Esboce graficamente a lei, introduzindo os efeitos depressivos não considerados por Mitscherlich.

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ**  
**Departamento de Ciência do Solo**  
**LSO – 0300 Química e Fertilidade do Solo**

**Respostas - questões de aulas teóricas**

**Origem das cargas elétricas do solo e Ponto de Carga Zero**

1. Cargas permanentes ou constantes e cargas variáveis.
2. São formadas principalmente por substituição isomórfica (iônica), que é o processo de substituição de íons de tamanhos semelhantes, mas de cargas elétricas distintas. As substituições iônicas ocorrem principalmente em argilas 2:1, que são mais comuns em solos menos intemperizados, encontrados predominantemente em regiões temperadas, com menos ação dos agentes de intemperismo, como chuva e calor.
3. Nos tetraedros de sílica a principal substituição iônica que ocorre é a do  $\text{Si}^{4+}$  pelo  $\text{Al}^{3+}$  e nos tetraedros de alumina ocorre a substituição do  $\text{Al}^{3+}$  por  $\text{Mg}^{2+}$  ou  $\text{Fe}^{2+}$ , principalmente.
4. A dissociação corresponde à saída do H dos grupos OH expostos na superfície dos coloides, enquanto a protonação ocorre quando o H da solução é adsorvido pelos grupos OH expostos, gerando cargas positivas.
5. Os principais grupos que contribuem com as cargas na MOS são os carboxílicos e os fenólicos. Como o PCZ do húmus é menor que 2 e a grande maioria dos solos possuem pH acima deste valor, as cargas formadas são predominantemente negativas, sendo a MOS uma importante fonte de cargas negativas em solos altamente intemperizados.
6. a) matéria orgânica:  
A geração de cargas da MOS é feita principalmente pela dissociação do H dos grupamentos OH da superfície dos coloides. Como o PCZ do húmus é menor que 2 e a grande maioria dos solos possuem pH acima deste valor, as cargas formadas são predominantemente negativas, sendo a MOS uma importante fonte de cargas negativas em solos intemperizados.
- b) minerais de argila:  
Nos minerais de argila 2:1, ocorre a geração de cargas pela substituição iônica, sendo estas cargas permanentes e de grande maioria negativa. Nos argilominerais 1:1, como a caulinita, a substituição iônica praticamente não ocorre, e a principal geração de carga é feita nas bordas do mineral pela protonação/dissociação nos grupos OH. Como o PCZ da caulinita é baixo, na faixa de 3,5, a expressão de cargas negativas neste argilomineral é predominante.
- c) óxidos e hidróxidos de Fe e de Al:  
Nos óxidos e hidróxidos, ocorre predominantemente a formação de cargas variáveis positivas, uma vez que o PCZ desses componentes está acima de 7 (Gibbsita = 7,5 e Hematita/Goethita = 8,5). Com isso, é necessário um valor de pH da solução do solo acima de seu PCZ para que ocorra a expressão de cargas negativas, sendo esta uma situação extremamente rara.
7. Porque o pH da solução de solos agrícolas está na faixa de 4,50 a 6,0; e esse valor é maior do que o PCZ do solo, que é dependente do PCZ de seus constituintes. Como o PCZ da maioria dos constituintes do solo é baixo, o balanço de cargas fica negativo, pois o PCZ do solo é predominantemente menor do que o pH da solução do

solo. Um eventual balanço positivo de cargas somente ocorre em solos altamente intemperizados, com altos teores de óxidos e hidróxidos de Fe e de Al, e com baixo teor de matéria orgânica, mas essa é uma condição rara de ocorrer.

8. Ponto de Carga Zero é o valor de pH em que a superfície de um coloide orgânico ou inorgânico possui balanço de carga zero.
9. Hematita/Goethita (óxidos de Fe) = 8,5  
Gibbsita (óxido de Al) = 7,5  
Caulinita = 3,5  
Húmus (MOS) < 2
10. Nesta faixa de pH do solo, aparecerão cargas positivas na superfície dos óxidos de Fe e Al, pois seu PCZ é superior a 7,5, e em valores de pH do solo inferiores a este a expressão de cargas é positiva. Os coloides orgânicos apresentam PCZ inferior a 2, sendo necessário um pH de solo muito baixo, raramente encontrado, para que haja cargas positivas em sua superfície.
11. Solos da região tropical úmida apresentam grande proporção de caulinita e de óxidos e hidróxidos de Fe e de Al. Como o PCZ do solo é resultante do PCZ de seus constituintes, o PCZ da camada superficial está na faixa de 3,5 a 4, devido à grande atividade da MO, que tem PCZ abaixo de 2. Como a maioria dos solos apresentam um pH de 4.5 a 6, a carga líquida é negativa.
12. A MOS possui um PCZ muito baixo (inferior a 2), sendo responsável pela redução do PCZ do solo, principalmente nos altamente intemperizados.
13. Quando o pH do solo está acima do seu PCZ, ocorre a dissociação do H dos grupos OH expostos, gerando cargas negativas. Por outro lado, quando o pH do solo está abaixo do seu PCZ, ocorre a protonação de H da solução do solo nos grupos OH expostos, gerando cargas positivas.
14. À medida que se aumenta a profundidade do solo ocorre a redução da quantidade de MOS. Como a MOS é a principal responsável pela redução do PCZ de solos altamente intemperizados, ocorre o aumento do PCZ deste solo, uma vez que nesse caso predominam os óxidos e hidróxidos de Fe e de Al, podendo ocorrer um balanço positivo de cargas em profundidade.

### **Adsorção e Troca Iônica**

1. CTC é o número de milimols de cargas negativas por unidade de massa ou de volume. Até 1996, eram usadas as unidades meq 100 cm<sup>-3</sup> ou meq 100 g<sup>-1</sup>, mas atualmente a CTC é representada em mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> para resultados com fins de avaliação de fertilidade e mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> para resultados com fins de classificação ou pesquisa.

#### 2. SOLO A

CTC oriunda da fração argila

$$20\% \text{ de } 700 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1} = 140 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$$

CTC oriunda da matéria orgânica

$$4\% \text{ de } 900 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1} = 36 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$$

CTC total do solo A = 176 mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>

#### SOLO B

CTC oriunda da fração argila

$$50\% \text{ de } 60 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1} = 30 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$$

CTC oriunda da matéria orgânica

$$2\% \text{ de } 800 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1} = 16 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$$

CTC total do solo A = 46 mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>

Sendo assim, a CTC do solo A é maior do que a CTC do solo B. O solo B deve ser de uma região tropical úmida, pois nestas regiões os solos tendem a ter baixa CTC e alto teor de óxidos devido o intenso processo de intemperismo.

3. Argilomineral    CTC (mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)  
2:1      800 – 3000  
1:1      0 – 100  
Óxidos de Fe    20 - 40  
Óxidos de Al    20 - 50
4. O solo B deve ser de uma região tropical úmida, porque nestas regiões os solos estão em estados avançados de intemperismo, portanto apresentam poucos minerais 2:1 (com cargas permanentes), e mais minerais do tipo 1:1 e óxidos/hidróxidos (com cargas variáveis); além disso, a matéria orgânica também representa grande importância para a presença de cargas variáveis.
5. Cerca de 70% da CTC de solos do trópico úmido é proveniente da matéria orgânica. Sendo assim, em sistemas conservacionistas como o plantio direto, ocorre o acúmulo de matéria orgânica, e, conseqüentemente, aumento da capacidade de troca (o reservatório de cargas) do solo. Portanto, nos solos do trópico úmido, o sistema de plantio direto favorece o aumento e manutenção da fertilidade do solo.
6. Porque quando o pH de um solo está próximo do seu PCZ o balanço das cargas negativas dos colóides é quase igual ao balanço das cargas positivas, ou seja, a carga líquida do solo é próxima de zero.
7. Adsorção é o fenômeno de acúmulo de íons ou moléculas na superfície de uma partícula.
8. Os elementos podem estabelecer ligações iônicas ou covalentes.
9.  $\text{Al}^{+3} > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^{+} > \text{Na}^{+}$   
Os cátions com maior valência tendem a ter maior afinidade pela superfície dos colóides. Dentre os cátions com mesmo número de valência, os com menor raio iônico hidratado são preferidos aos com maior raio iônico hidratado.
10. Metais pesados como o cobre (Cu), chumbo (Pb) e cádmio (Cd).
11.  $\text{Al}^{+3}, \text{Ca}^{+2}, \text{Mg}^{+2}, \text{K}^{+}, \text{Na}^{+}, \text{NO}_3^{-}$ .
12. Os macronutrientes N, Ca, Mg e K são adsorvidos por ligações iônicas, ou seja, estão fracamente retidos pelos colóides e permanecem na forma trocável, o que favorece a mobilidade desses elementos na solução do solo. Sendo o N adsorvido na forma aniônica ( $\text{NO}_3^{-}$ ) e os demais na forma catiônica ( $\text{Ca}^{+2}, \text{Mg}^{+2}, \text{K}^{+}$ ). No caso do P, o elemento se liga de forma covalente, que é uma reação muito mais forte e estável, logo, o P no solo tem baixa mobilidade.

### Reação do Solo

1. Soma de Bases – é a somas dos cátions básicos trocáveis do solo ( $\text{K} + \text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na}$ );  
CTC efetiva – é a somas dos cátions trocáveis do solo mensurada no pH atual do solo é a  $\text{SB} + \text{Al}$ ;

CTC total – é a soma dos cátions básicos trocáveis do solo + H covalente mensurada a pH 7,0 – é a SB + (AL + H);

Porcentagem de saturação por bases (V%) – é a proporção da quantidade de cargas ocupada por cátions básicos em relação à CTC total -  $V\% = SB \times 100 / CTC$  (pH 7,0);

Porcentagem de saturação por alumínio (m%) - é a proporção da quantidade de Al trocável em relação à soma dos cátions trocáveis -  $m\% = Al \times 100 / CTC$  efetiva;

2. Não, devemos analisar também o valor da CTC e os teores dos elementos e o grau de acidez do solo, ou seja, devemos avaliar os atributos de fertilidade em conjunto.

|  |   |
|--|---|
| 3. Solo A                                  | SoloB                                       |
| CTC: 50 mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> | CTC: 100 mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> |
| pH em CaCl <sub>2</sub> 0,01M: 6,0         | pH em CaCl <sub>2</sub> 0,01M: 4,5          |
| V%: 70%                                    | V%: 30%                                     |

O solo A foi mais bem manejado, pois apresenta pH = 6,0 e uma alta V(%). Contudo, o solo B apresenta uma maior fertilidade potencial (CTC=100 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), porém, está mal manejado.

4. É o potencial hidrogeniônico, correspondente ao antilog da atividade de hidrogênio em solução.  $pH = -\log(H^+)$ .]  $10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$
5. Diminuiu 10 vezes
6.  $pH = 6 \rightarrow (H^+) = 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$   
 $pH = 4 \rightarrow (H^+) = 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$   
A atividade do H<sup>+</sup> em solução aumentou 100 vezes.
7. Regime pluvial e drenagem; material de origem; e alguns fertilizantes.
8. O pH afeta disponibilidade dos nutrientes e Al. A faixa ideal é de 6,0 a 6,5 em pHH<sub>2</sub>O e de 5,5 a 6,0 em pHCaCl<sub>2</sub> 0,01M.
9. Os micronutrientes catiônicos tem sua disponibilidade reduzida com o aumento do pH, enquanto os aniônicos, tem sua disponibilidade aumentada.
10. À medida que se aumenta o pH do solo esses nutrientes aumentam sua disponibilidade. Contudo, em pH maior que 7,0 a disponibilidade começa a diminuir.
11. Em solos ácidos sua disponibilidade é baixa, mas ela aumenta com o aumento do pH até atingir a máxima disponibilidade em pH em torno de 5,5.
12. O Al se encontra na forma tóxica (Al<sup>3+</sup>), em pHH<sub>2</sub>O abaixo de 5,5. Acima deste valor ele encontra-se precipitado como Al(OH)<sub>3</sub>, e não é tóxico as plantas.
13. Resistência que o solo oferece às mudanças de pH e está intimamente ligada ao teor de matéria orgânica e à textura do solo.
14. Teor de matéria orgânica e textura do solo. Solos com maior MOS e textura mais argilosa possuem mais cargas, o que possibilita maior acidez potencial, pois tem mais cargas para o H<sup>+</sup>+Al se ligarem. Conseqüentemente, esses solos tem maior poder tampão.
15. O solo argiloso com alto teor de matéria orgânica necessitará de mais calcário, pois ele terá maior acidez potencial e maior poder tampão. Por isso esse solo terá maior “reserva” de H<sup>+</sup> que necessita ser neutralizada para que o pH possa ser alterado.

## **Oxidação e Redução no Solo**

1. As reações redox envolvem transferências de elétrons. A importância está no conhecimento das formas oxidadas ou reduzidas dos elementos no solo, o que afeta o manejo do solo, principalmente no que se refere à adubação.
2. A oxidação refere-se à perda de elétrons por um elemento, enquanto a redução refere-se ao ganho de elétrons.
3. Em solos aeróbicos o principal agente oxidante é o  $O_2$  e o principal agente redutor é a matéria orgânica.
4. A substituição do ar pela água nos espaços porosos e o estabelecimento de uma lâmina de água sobre o solo restringem as trocas gasosas com a atmosfera. O oxigênio é rapidamente consumido, e a difusão de gases através da água é muito baixa. Além disso, o consumo de oxigênio pelos microrganismos do solo é muito maior que o suprimento por difusão. Quanto maior a presença de resíduos orgânicos facilmente decomponíveis, maior será a atividade dos microrganismos e mais intensa será a redução do solo.
5. A concentração de íons reduzidos indesejáveis aumenta. Estes íons são indesejáveis, pois, quando reduzidos podem estar na forma tóxicas as plantas, podem ocorrer perdas de nitrogênio e diminuição nas concentrações de Zn e Cu que são micronutrientes catiônicos. Por exemplo, o nitrato ( $NO_3^-$ ) é a forma estável do nitrogênio em solos sob condições de oxidação. Em solos alagados, o  $NO_3^-$  é reduzido a  $N_2O$  e  $N_2$  voláteis, desaparecendo do solo em poucos dias de alagamento. Redução dos óxidos mangânicos ( $Mn^{4+}$ ) a óxidos manganosos ( $Mn^{2+}$ ) e dos óxidos férricos ( $Fe^{3+}$ ) a óxidos ferrosos ( $Fe^{2+}$ ), com consequente aumento da solubilidade nos solos. Altas concentrações de  $Mn^{2+}$  e de  $Fe^{2+}$  na solução do solo pode atingir níveis tóxicos nas plantas. A toxidez indireta é causada por desbalanceamento nutricional múltiplo, devido à presença de ferro em excesso na solução do solo, o que pode inibir a absorção, o transporte e/ou a utilização de outros nutrientes, bem como induzir a deficiência nutricional. Redução do sulfato ( $SO_4^{2-}$ ) para ácido sulfídrico ( $H_2S$ ) pode ser tóxico para as plantas, o arroz, por exemplo. A presença de  $H_2S$  inibe a respiração e o poder de oxidação das raízes do arroz, diminuindo a absorção de nutrientes.
6.  $NO_3 > MnO_2 > Fe(OH)_3 > SO_4^{2-} > CO_2 > H_2$
7. Quando os solos são alagados, o oxigênio pode desaparecer e em consequência os microrganismos passam a utilizar outros aceptores de elétrons. A redução do solo eleva o pH de solos ácidos para faixas de 6,5 – 7,0, e podem ocorrer situações em que há danos para o estabelecimento e crescimento inicial das plantas devido a diminuição na concentração de alguns micronutrientes catiônicos, como Zn e Cu, perdas de N, toxidez por Fe, Mn e  $H_2S$ . Por outro lado, o aumento no pH promove aumento na disponibilidade de Ca, Mg, K e P.

## **Matéria Orgânica do Solo**

1. São todos os derivados de material vegetal ou animal sobre sua superfície ou dentro do solo, vivos ou em diferentes estágios de decomposição, excluindo a parte aéreas das plantas.
2. O húmus é a parte mais estabilizada da matéria orgânica.
3. Pluviolixiviados, liteira, restos culturais, resíduos orgânicos, raízes, exsudados, organismos do solo (menor que 20mm), substâncias não-húmicas e substâncias húmicas.
4. É constituído de ácidos húmico, ácido fúlvico e humina.
5. Quantidade de MOS incorporada no solo, práticas de manejo, atividade microbiana, clima etc. A quantidade de matéria orgânica que entra no solo vai influenciar na quantidade desse material continuará no solo ou será perdido na forma de gás. As práticas de manejo podem contribuir para o aumentar ou diminuição na quantidade de MOS no solo, práticas como o revolvimento do solo tendem a favorecer perdas de MOS pois propicia um ambiente mais adequado para a degradação da MOS pelos microrganismos, já práticas conservacionistas do solo, podem propiciar o acúmulo de MOS. A atividade microbiana é responsável pela síntese do húmus, bem como

pela sua perda. As condições climáticas vão influenciar a atividade microbiana e estas por sua vez são os responsáveis pelas mudanças na MOS.

6. A MOS tende a ter maiores concentrações na camada mais superficial do solo e tende a diminuir à medida que se aumenta a profundidade

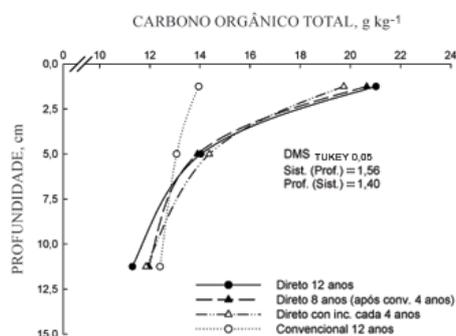


Figura 6. Carbono orgânico total do solo em diferentes sistemas de manejo e profundidades.

(MARCOLAN E ANGHINOMI, 2006)

7. Cor, agregação, densidade, capacidade de retenção de água (CRA), infiltração de água no solo, escoamento superficial. Cor – a MOS confere coloração escura aos solos. Agregação – a MOS age como agente cimentante dos agregados do solo. Densidade – diminui a densidade do solo devido ao seu baixo e grande volume. CRA – a MOS humificada possui uma grande quantidade de microporos que retém água facilmente disponível para as plantas. Infiltração e escoamento superficial – a MOS aumenta a infiltração da água do solo e conseqüentemente diminui o escoamento superficial, bem como a presença de resíduos sobre o solo diminui o impacto das gotas de chuva no solo diminuindo também a erosão do solo.
8. CTC, fornecimento de nutrientes para as plantas, promotores de crescimento das plantas e interação com xenobióticos. CTC- a MOS possui vários grupos funcionais que podem dissociar H gerando carga negativa no solo em ampla faixa de pH, os principais grupos são os carboxílicos e fenóis. Fornecimento de nutrientes para as plantas – a mineralização da MOS libera nutrientes que ficam disponíveis para a planta. Promotores de crescimento das plantas – as substâncias húmicas possuem efeitos nas plantas superiores entre eles: aumento da absorção de íons, aumento do crescimento e número de raízes, aumento no conteúdo de clorofila etc. Interação com xenobióticos – ao se associar com xenobióticos a MOS afeta sua bioatividade, persistência e biodegradabilidade, sendo necessário avaliar essa interação na hora da aplicação desses produtos.
9. Adotaria práticas de manejo conservacionistas que não revolva o solo, não utilize de fogo e que mantenha os restos culturais sobre o solo.
10. Solos tropicais são altamente intemperados e por isso são normalmente ácidos e com baixa CTC. Nesse tipo de solo a matéria orgânica pode contribuir com a até 90% da CTC do solo. Assim sendo, é fundamental para o desenvolvimento da agricultura nesses solos a manutenção da MOS.

### Nitrogênio do Solo

1. No solo, o nitrogênio está predominantemente na forma orgânica (N orgânico), composta por proteínas, aminoácidos e aminoaçúcares, que representam mais de 95% do N no solo. Além disso, existem as formas minerais de N (N mineral), representadas principalmente pelo amônio (NH<sup>4+</sup>) e o nitrato (NO<sup>3-</sup>), além de baixas concentrações de nitrito (NO<sup>2-</sup>). Em menores proporções, aparecem o N<sub>2</sub> e outros gases NO<sub>x</sub> na fase gasosa e na solução do solo.
2. As plantas absorvem o N na forma de amônio e nitrato.

3. Não. No caso do N total, considerando que a maior parte do N no solo encontra-se na forma orgânica, a tendência natural é que a distribuição do mesmo se assemelhe a distribuição da matéria orgânica no perfil, concentrando-se nas camadas superficiais. Considerando-se apenas o N na forma mineral, é possível que se observe uma distribuição mais uniforme, principalmente se nessa forma predominar o nitrato, tendo em vista que esse ânion apresenta grande mobilidade no solo.
4. Porque o nitrogênio está predominantemente na forma orgânica, que representa mais de 95% do N no solo. Essa fração é composta principalmente por proteínas, aminoácidos e aminoaçúcares, que são componentes da matéria orgânica do solo. Dessa forma, a distribuição do N no perfil do solo se assemelha a distribuição da MOS, tendendo a se concentrar na camada arável do solo.
5. Sim. A concentração dessas formas de N na atmosfera depende, predominantemente, de dois fatores: i) a ocorrência de descargas elétricas que fornecem energia para quebrar a tripla ligação no  $N_2$  atmosférico, e ii) emissões de  $NH_3$  ou  $NO_x$ , por ação antrópica ou não. Dessa forma, em regiões com alta incidência de descargas elétricas ou mesmo regiões onde é grande a emissão de  $NH_3$  ou  $NO_x$  para a atmosfera (ex.: aglomerações industriais ou grandes confinamentos), a aquisição de N via precipitações atmosféricas pode ser significativa, podendo chegar a  $30 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .
6. A fixação de N por meio de bactérias assimbióticas ou de vida livre caracteriza-se, principalmente, pela ausência da simbiose rizóbio-planta. É representada principalmente pelas bactérias dos gêneros *Azotobacter*, *Clostridium*, *Beijerinchia*, que podem contribuir com  $10\text{-}24 \text{ kg ha}^{-1}$  de N por ano em áreas cultivadas com gramíneas. A fixação simbiótica do N caracteriza-se pela simbiose rizóbio-leguminosa, principal sistema simbiótico entre plantas e microorganismos no planeta. Como exemplo, temos a simbiose entre *Bradyrhizobium* e soja no Brasil, com contribuição de  $50\text{-}250 \text{ kg ha}^{-1}$  de N por ano.
7. A mineralização é a transformação do N na forma orgânica para a forma inorgânica ( $NH_4^+$  e  $NO_3^-$ ). O processo é realizado por microorganismos heterotróficos do solo que utilizam os compostos orgânicos como fonte de energia. A imobilização é um processo que ocorre concomitantemente com a mineralização, porém no sentido inverso. Ou seja, a imobilização é a transformação do N inorgânico em orgânico. O processo é realizado por microrganismos que incorporam o N inorgânico disponível às suas células durante o crescimento microbiano. O balanço entre esses dois processos define se a solução do solo terá mais ou menos N inorgânico disponível para a absorção das plantas. A adição de resíduos orgânicos ao solo é um dos principais aspectos que afetam esse equilíbrio, pois a relação C:N do resíduo adicionado irá determinar a ocorrência de mineralização (baixa relação C:N) ou imobilização (alta relação C:N).
8. A primeira etapa consiste na hidrólise das proteínas em aminoácidos, processo desencadeado pela ação de enzimas proteases, chamado proteólise. Posteriormente, os aminoácidos liberados também são hidrolisados pela ação da enzima aminoácido desidrogenase, liberando amônia e energia, processo chamado amonificação. Ambos os eventos anteriores são conduzidos por organismos heterotróficos do solo, que utilizam os compostos orgânicos hidrogenados como fonte de energia. Já a nitrificação, sequência do processo de mineralização, é realizada por bactérias quimioautotróficas e consiste na conversão do  $NH_4^+$  em  $NO_3^-$ .
9. O N pode sair do agrossistema através de 5 processos: exportação via produtos agrícolas, lixiviação, erosão, volatilização e desnitrificação. A exportação via produtos agrícolas ocorre no momento da colheita, pois o N é componente da biomassa removida do agrossistema. A lixiviação de formas agrícolas ocorre quando o N mineral (principalmente nitrato) é translocado no perfil, atingindo profundidades fora do alcance radicular ou mesmo o lençol freático. A erosão também remove N do agrossistema, pois esse elemento é parte do solo transportado pelo escoamento superficial, que pode se depositar em posições inferiores da paisagem ou até atingir cursos

d'água. A volatilização ocorre quando o  $\text{NH}_4^+$  é transformado em  $\text{NH}_3$ , forma gasosa de N e passível de perdas por volatilização. Na desnitrificação o N também sai do sistema na forma gasosa. No entanto, o nitrato ou nitrito que são transformados em formas gasosas de N, nesse caso  $\text{N}_2$ ,  $\text{NO}$  e  $\text{N}_2\text{O}$ .

10. Para o ambiente as principais consequências associam-se a liberação de  $\text{N}_2\text{O}$  para a atmosfera. O  $\text{N}_2\text{O}$  é um importante gás para o efeito estufa e um intermediário nas reações que resultam na destruição da camada de ozônio. Para as plantas a principal consequência desse processo é a perda de N. Essa saída de N do agrossistema pode associar-se a deficiências nutricionais e comprometer o desenvolvimento das plantas.
11. A relação C/N é uma aproximação da relação energia/N, que regula o equilíbrio entre os processos de mineralização e imobilização durante a decomposição dos resíduos. Geralmente, a relação C/N decresce ao longo da decomposição até atingir níveis próximos de 8/1, pois 2/3 do C do resíduo é liberado na forma de  $\text{CO}_2$ .
12. Assume-se que o valor ideal para a relação C/N é 24/1. Esse número considera que a relação C/N da microbiota é 8/1 e que 2/3 do C do resíduo é liberado na forma de  $\text{CO}_2$ . Sendo assim, num resíduo com 24 partes de C, 16 partes serão perdidas na forma de  $\text{CO}_2$  e o produto apresentará relação C/N 8/1, o que não alteraria o equilíbrio entre os processos de mineralização e imobilização pois a relação C/N é a mesma observada para a microbiota do solo. Considerando que os microrganismos do solo precisam manter sua relação C/N em 8/1, a adição de um resíduo com relação C/N > 24 faz com que a microbiota do solo recorra ao N inorgânico do solo para sustentar o crescimento de sua população promovido pela adição de C, caracterizando o processo de imobilização. Já para um resíduo com relação C/N < 24 ocorrerá o inverso: a falta de energia no sistema (C) faz com que os microrganismos liberem N para manterem sua relação C/N em 8/1, ou seja, ocorre a mineralização.
- 13.

| Composto | Relação C/N |
|----------|-------------|
| A        | 500/1       |
| B        | 25/1        |
| C        | 7/1         |

Nesta mesma propriedade, você tem dois talhões onde pretende manejar de forma diferenciada. No primeiro, não foi feito plantio, mas você pretende adicionar um composto que se acumule na superfície. No segundo talhão, há uma cultura de ciclo curto, portanto você precisa que os nutrientes sejam rapidamente disponibilizados para a planta. Com base na tabela acima, qual composto você aplicaria em cada talhão? Justifique sua resposta. No talhão onde não foi feito o plantio deve-se adicionar o resíduo A, tendo em vista que a alta relação C/N irá retardar o processo de decomposição e permitir que o resíduo se acumule na superfície. No talhão com a cultura de ciclo curto deve-se adicionar o composto C, que irá se decompor rapidamente e liberar N para a cultura pelo processo de mineralização.

### **Fósforo do Solo**

1.
  - Forma aniônica no solo ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ;  $\text{HPO}_4^{2-}$ ;  $\text{PO}_4^{3-}$ ), sendo a forma predominante dependente do pH.
  - Formação de ligação covalente (troca de ligantes ou de esfera interna)
  - Função na planta: Principalmente as ligadas a energia - ATP (componente de RNA, DNA, membranas plasmáticas)
  - Fonte: Fosfatos naturais, que podem ser apatitas (fosfatos reativos) ou fosforitas (fosfatos não-reativos). A partir delas, por um processo acidificante ou de fusão térmica, produz-se os fertilizantes fosfatados.

2. Total em torno de 0,1 % ou 1000 mg dm<sup>-3</sup>. O conteúdo total é maior em solos argilosos, porém a disponibilidade, devido a sua elevada adsorção e tampão, poderá ser maior em um solo arenoso.
3.
  - Formas minerais: ligadas aos óxidos-hidróxidos de ferro e alumínio e caulinita
  - Formas orgânicas (ligado a MOS, como citados)
  - Formas em solução do solo: na forma aniônica (H<sub>2</sub>PO<sup>4-</sup>; HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>; PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), sendo a forma predominante dependente do pH.
4. Apatita (Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>(F,OH,Cl))  
Variscita (AlPO<sub>4</sub>)  
Sua disponibilidade para as plantas só ocorre após a solubilização, sendo este processo e, conseqüentemente sua liberação, lento.
5. Goethita (FeO ou FeOH)  
Gibbsita (AlOH<sub>3</sub>)  
O processo de calagem tem como principal função a elevação do pH do solo, acarretando em maior disponibilidade do P então adsorvido em óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio (Goethita e Gibbsita por exemplo).
6. O P orgânico corresponde a um grande estoque deste elemento no solo, representado em torno de 50 % do P do solo. Esta forma é importante principalmente para pequenos agricultores ou cultivos anuais e florestais, que não utilizam fortes adubações fosfatadas. O P contido nas moléculas orgânicas não está diretamente disponível para as plantas, mas os microrganismos que produzem as fosfatases conseguem liberar o P orgânico em formas aniônicas (formas disponíveis para as plantas).
7. As principais formas são as aniônicas (H<sub>2</sub>PO<sup>4-</sup>; HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>; PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), sendo a forma predominante dependente do pH. A forma predominante nos solos tropicais é a H<sub>2</sub>PO<sup>4-</sup>.
8. Troca de ligantes (ligação covalente ou adsorção de esfera interna). A maior afinidade ocorre principalmente com a fração argila (óxidos-hidróxidos de ferro e alumínio principalmente).
9.
  - Acidez: o valor de pH do solo influencia não somente a forma de dissociação do P no solo, mas também a presença de cátions adsorventes como o Al em solução. Além disso, dependendo do valor de pH haverá um predomínio de cargas positivas ou negativas nesse solo, sendo variável de acordo com seu PCZ.
  - MOS: Devido ao seu caráter aniônico, a MOS pode atuar bloqueando sítios de adsorção e, ou, solubilizando oxidróxidos, reduzindo suas superfícies de adsorção. Além disso, a MOS atua reduzindo o PCZ do solo, que precisará de valores menores de pH para ter um balanço positivo de cargas.
  - Presença de ânions competitivos, como silicatos, que irão reduzir a adsorção competindo com o sítio de adsorção.
  - Grau de intemperismo do solo: Além de influenciar os valores de pH (acidez), o grau de intemperismo diz sobre a presença de minerais secundários. Solos mais intemperizados possuem maiores teores de óxidos-hidróxidos e caulinitas, sendo estes responsáveis por altas taxas de adsorção de P.
10. Devido ao seu caráter aniônico, a MOS pode atuar bloqueando sítios de adsorção e, ou, solubilizando oxidróxidos, reduzindo suas superfícies de adsorção. Além disso, a MOS atua reduzindo o PCZ do solo, que precisará de valores menores de pH para ter um balanço positivo de cargas.

11. A adsorção do P pode ser reversível, formando um P não lábil, que está em equilíbrio com o P em solução. A fixação do P, por outro lado, forma um P não-lábil, que dificilmente será revertido, voltando para formas disponíveis.
12. O P não lábil é o P adsorvido, que está em equilíbrio com o P em solução (P-lábil), podendo se tornar disponível novamente. Este equilíbrio é governado pelo poder tampão do solo e variável de acordo com a textura e a MOS, principalmente.
13. A perda física do P, ou seja, por lixiviação, dificilmente ocorre em solos tropicais, que devido ao seu intemperismo adsorvem grande parte do disponível. A maior perda nesses solos ocorre por fixação, sendo esta uma perda irreversível, ou por adsorção, sendo esta uma perda temporária. Finalmente, existe a perda que chamamos de “erosão de porteira”, esta perda diz respeito ao que foi absorvido pela planta e que não mais voltará ao solo após a colheita e venda da mesma.

### **Potássio do Solo**

1. As formas de ocorrência do elemento K no solo são: em solução, aderidos ao complexo sortivo (CTC), não trocável (fixação em entrecamadas de minerais 2:1) e a forma estrutural (componente de minerais primários, ex: micas).
2. Mineral.
3. A fixação de K é a imobilização do íon em entrecamadas de argilas 2:1 com intuito de neutralizar as cargas negativas mantendo assim a estabilidade eletrônica do cristal (2º lei de Pauling). Esse fenômeno ocorre principalmente em minerais do grupo das ilitas e das vermiculitas.
4. Em solos tropicais o íon  $K^+$  apresenta alta mobilidade, mas menor que as formas iônicas do N ( $NH_4^+$  e  $NO_3^-$ ), uma vez que esses íons apresentam alta solubilidade e o  $NO_3^-$  não apresenta atração eletrostática à fração coloidal do solo, e maior que as principais formas de P na solução do solo ( $HPO_4^{2-}$  e  $H_2PO_4^-$ ), que apresentam reações de adsorção específicas com o complexo sortivo do solo.
5. O K pode ser perdido do sistema solo pela exportação pelas culturas, erosão e lixiviação.
6. A lixiviação de K é favorecida em sistemas que aportam elevadas quantidade de K excedendo a capacidade de retenção do solo, diminuição da MOS e consequentemente diminuição da CTC e aplicação de elevadas doses de calcário e gesso. Ressalta-se que a lixiviação é observada principalmente em solos de baixa capacidade de troca catiônica.

### **Enxofre no Solo**

1. Semelhante ao N, a maior parte do S está presente na forma orgânica, apresenta vários estados de oxidação, ocorre em formas sólidas e gasosas, e sofre diversas transformações microbianas.
2. Em solos minerais sem restrições hídricas, considera-se que 90 % do S esteja em formas orgânicas, assim a distribuição do teor total de S no solo será semelhante ao da MOS, decrescente da superfície em direção a subsuperfície. Contudo o sulfato tende a se acumular em subsuperfície, sendo a camada de 20-40 ou 40-60 escolhidas avaliações de disponibilidade de sulfato.
3. O S está presente no solo principalmente em formas orgânicas como ésteres sulfatados, tioglicosídeos e sulfamatos, mas está presente também na fração mineral em menores proporções. Na solução do solo, o S está como ânion sulfetos ( $S_2^-$ ) e, primariamente, sulfato ( $SO_4^{2-}$ ), dependendo do potencial redox do meio. Essas espécies podem adsorver às superfícies da matriz mineral do solo.

4. Alguns fatores determinantes à adsorção de S no solo são: (1) valor de pH visto que em solos ácidos, o caráter eletrostático da adsorção é favorecido devido à protonação do sulfato, (2) a composição da matriz mineral do solo pois solos mais oxidados apresentam minerais de maior avidéz à adsorção de S, (3) a presença de outros ânions, pois em ambientes de alta atividade de fosfato e molibdato, os mesmos competirão pelos sítios de adsorção, reduzindo a adsorção de sulfato.
5. Em solos minerais sem restrições hídricas, considera-se que 80-95 % do S esteja em formas orgânicas.
6. A principal forma de S disponível às plantas é o sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) na solução ao adsorvido à fração coloidal e aminoácidos que podem ser absorvido pelas raízes, e o  $\text{SO}_2$  gasoso que pode ser absorvido pelos estômatos.
7. O  $\text{SO}_4^{2-}$  tem sua mobilidade acentuada nas camadas superiores do solo, pois tendem a formar pares iônicos de alta mobilidade. Em solos fertilizados, a calagem e a aplicação de P acentuam esse acúmulo em subsuperfície.
8. Em condições de oxirredução o sulfato poderá ser transformado a sulfeto e posteriormente a ácido sulfídrico e perdido do sistema na forma de gás. As frações orgânicas podem ser oxidadas e passarem as forma de sulfato sendo essa adsorvida pela matriz mineral, reabsorvida por plantas e microbiota.
9. A mineralização do S é dada pela oxidação da MOS via atividade microbiológica ou ação de altas temperaturas.
10. Em condições de alagamento prolongado, as espécies inorgânicas dominantes apresentam formas reduzidas como os sulfetos. Já em condições de aerobiose, a espécie inorgânica dominante é o sulfato.
11. A adição de S ao solo é oferecida via fertilizantes (supersimples), gessagem, deposição atmosférica e pluvial, agroquímicos e resíduos orgânicos.
12. As perdas de S do solo são dadas pela exportação via colheita, lixiviação e erosão.
13. Solo com baixa CTC (arenoso), chuva, falta de cobertura vegetal e práticas de calagem e fosfatagem.

### Micronutrientes

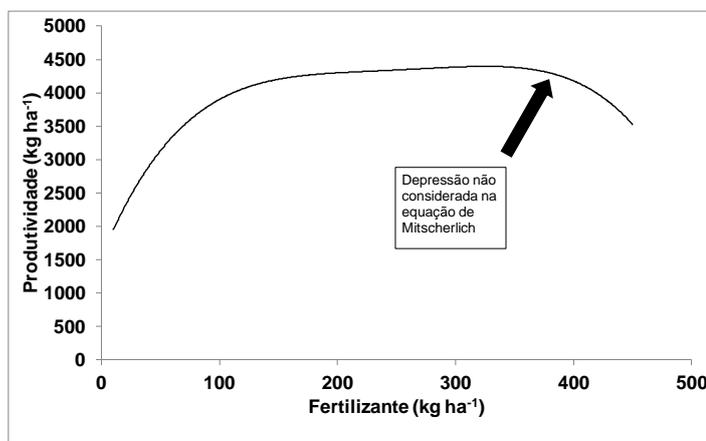
1. Micronutrientes são aqueles nutrientes que são requeridos em quantidades extremamente pequenas pelas culturas em comparação aos macronutrientes (Ca, Mg, K, N, P e S) que são requeridos em quantidades maiores. São micronutrientes: boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo) e zinco (Zn).
2. A matéria orgânica é a principal fonte de B do solo. Quando o tempo está quente e seco a decomposição diminui nas camadas mais superficiais do solo. A seca restringe a atividade dos microrganismos que decompõem a matéria orgânica e o desenvolvimento das raízes causando uma deficiência temporária de B. Outro fator que pode limitar a disponibilidade do B é o pH. A faixa adequada de pH para manter o B disponível está entre o pH 6,0 e 7,0, diminuindo em valores abaixo ou acima dessa faixa, podendo ocorrer perdas por lixiviação, principalmente em solos arenosos e em regiões de muita chuva.
3. O B pode ser adsorvido nas formas  $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$  e  $\text{H}_2\text{BO}_3^-$ . Ele é adsorvido nas superfícies das partículas coloidais, principalmente dos óxidos e hidróxidos de Fe e Al e por minerais de argila. O B é adsorvido pelo mecanismo de adsorção específica.
4. O cobre pode ser encontra na forma de complexos e quelatos com ácidos húmicos da matéria orgânica.
5. A disponibilidade de Cu pode diminuir com o aumento da matéria orgânica, pois pode ocorrer a formação de complexos insolúveis no solo, não disponíveis às plantas.
6. Em solos intemperizados o Fe é encontrado na forma oxidada. É encontrado, principalmente na forma de óxidos, como a hematita e goethita. A oxidação do Fe está associada a valores de pH baixo e boas condições de aeração.
7. O Mo pode ser adsorvido aos coloides do solo na forma do ânion molibdato,  $\text{MoO}_4^{2-}$ , de forma específica, suas reações são muito semelhantes às do íon fosfato em meio ácido. Ele é retido fortemente pelos óxidos de ferro e de alumínio, por mecanismo de adsorção específica. Devido à forte adsorção à fase sólida do solo, pode ocorrer

restrições na mobilidade de Mo. Solos ácidos favorecem a retenção do Mo no solo, reduzindo sua disponibilidade para as plantas. Ao contrário dos outros micronutrientes, a disponibilidade de Mo no solo aumenta em valores de pH mais altos do solo.

8. O cloro pode ser adsorvido aos coloides na forma do ânion cloreto  $\text{Cl}^-$ . A adsorção é do tipo não específica.
9. Sim, pois com o aumento do pH, diminui a disponibilidade deste micronutriente. Com o aumento do pH, o Zn passa a estar em formas menos solúveis, sendo indisponíveis às plantas.

### **Leis da Fertilidade do Solo**

1. A diferença entre os macronutrientes e os micronutrientes é a sua necessidade pelas plantas. Os macronutrientes são exigidos em quantidades bem maiores em comparação aos micronutrientes.
2. Macronutrientes- Carbono (C), Hidrogênio (H), Oxigênio (O), Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S). Micronutrientes- Boro (B), Cloro (Cl), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo), Níquel (Ni), Zinco (Zn).
3. Elevado teor de matéria orgânica e elevada capacidade de troca catiônica.
4. Solo fértil é aquele que contém quantidades adequadas de todos os nutrientes necessários para o bom crescimento das plantas, não contém matérias tóxicas e possui bons atributos físicos. Solo produtivo, é um solo fértil, situado em zona climática favorável ao desenvolvimento de plantas.
5. Essa lei se baseia de que todos os nutrientes que são retirados do solo pelas plantas e exportados através das colheitas devem ser restituídos. O inconveniente dessa lei é que muitos solos perdem seus nutrientes por lixiviação e erosão, ou outros meios, que não são contabilizados para restituição.
6. A lei do mínimo formulada por Liebig diz que a produção será limitada por um nutriente que ocorre em menores proporções sendo o único a limitar a produção. A sua limitação é que no caso de vários nutrientes serem deficientes, a adição de qualquer um deles leva a aumentos na produção.
7. “Ao se adicionar doses crescentes de um nutriente, o maior incremento em produção é obtido com a primeira dose. Com aplicações sucessivas do nutriente, os incrementos de produção são cada vez menores. A equação de Mitscherlich assume um comportamento assintótico, ou seja, a curva de resposta da produção devido a adubação irá atingir um platô e permanecer constante. Entretanto, não são raros os efeitos depressivos de doses elevadas de fertilizantes (efeito tóxico), ou seja, a produção irá diminuir a partir de uma determinada dose como pode ser observado na figura abaixo.





**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO**

**BIBLIOGRAFIAS**

**BIBLIOGRAFIA BÁSICA (ordem alfabética)**

- ERNANI, P.R. Química do Solo e Disponibilidade de Nutrientes. Lages: Udesc, 1. ed., 2008. v.1, 230 p.
- LEPSCH, I.F. 19 Lições de Pedologia. São Paulo: Oficina de Textos. 2011. 456p.
- LOPES, A.S. (trad.). Manual da Fertilidade do Solo. São Paulo: ANDA/POTAFOS, 1989. 153p.
- MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. (Eds.). Química e Mineralogia do Solo - Conceitos Básicos. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. v.1. 695 p.
- MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. (Eds.). Química e Mineralogia do Solo - Aplicações. 1.ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. v.2. 685 p.
- MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; ARZOLLA, S. et al. Fertilidade do Solo, 3 ed. São Paulo: Nobel, 1987. 400p.
- MEURER, E.J. Fundamentos de Química do Solo, 3.ed. Porto Alegre: Editora Evangraf, 2006. 285 p.
- NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. Fertilidade do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. v.1. 1017 p.
- RAIJ, B. van. Avaliação da Fertilidade do Solo. Piracicaba: Instituto da Potassa e do Fosfato, 1981. 142p.
- RAIJ, B. van. Fertilidade do Solo e Manejo de Nutrientes. Piracicaba: IPNI, 2011.420 p.
- SANTOS, G.A; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Eds). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Genesis. 636p. 2008.



**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO**

**BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR**

- BORKERT, C.M.; LANTMAN, A.F. (ed.) Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira. Londrina: Embrapa Soja/IAPAR/SBCS, 1988. 317p.
- BRADY, N.C.; WEIL, R.R. Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos, 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 686p. (tradução de I.F. Lepsch).
- CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F.; CASAGRANDE, J.C. Química dos micronutrientes e de elementos tóxicos em solos. In: FERREIRA, M.E. et al. (ed.) Simpósio sobre micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: FCAV/Unesp, 1999. Anais, 2001. cap.5, p.89-124.
- KIEHL, E.J. Manual de Edafologia - Relações Solo-Planta. São Paulo, Editora Agronômica, 1979. 264p.
- MALAVOLTA, E. Manual de Química Agrícola - Nutrição de Plantas e Fertilidade do Solo. São Paulo: Editora Ceres, 1976. 528p.
- MIELNICZUK, J. O Potássio no Solo. Piracicaba: Instituto da Potassa-Fosfato: Instituto Internacional da Potassa, 1978. 79p. (Boletim Técnico 2)
- MONIZ, A.C. (Coord.) Elementos de Pedologia. São Paulo: Edusp, 1972. 459p.
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa: UFV, 1999. 399p.
- QUAGGIO, J.A. Acidez e calagem em solos tropicais. Campinas: Instituto Agronômico, 2000. 111p.
- RAIJ, B. van. Fertilidade do Solo e Adubação. São Paulo: Editora Ceres, 1991. 343p.
- RAIJ, B. van; BATAGLIA, O.C.; SILVA, N.M. (Coord.) Acidez e Calagem no Brasil. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. 361p.
- ROSCOE, R.; MERCANTE, F.M.; SALTON, J.C. (Eds). Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste. 304p. 2006.