



Fundação Educacional do Município de Assis  
Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis  
Campus "José Santilli Sobrinho"

**ELIAS LUCAS DE LIMA**

**Comparação de solos *in natura* com solos alterados pela ação de adubos**

Assis  
2010

ELIAS LUCAS DE LIMA

COMPARAÇÃO DE SOLOS IN NATURA COM SOLOS ALTERADOS  
PELA AÇÃO DE ADUBOS

Trabalho de conclusão de curso de Curso apresentado ao Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis, como requisito do Curso de Graduação em Química industrial.

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Dra. Rosângela Aguilhar da Silva  
Área de Concentração: Química Industrial

Assis  
2010

## FICHA CATALOGRÁFICA

LIMA, Elias Lucas

Comparação de solos *in natura* com solos alterados pela ação de adubos / Elias Lucas de Lima. Fundação Educacional do Município de Assis - FEMA -- Assis, 2010.

67p.

Orientador: Rosângela Aguiar da Silva.

Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis – IMESA.

1.Solos.2.*In Natura*.

CDD:660  
Biblioteca da FEMA

# COMPARAÇÃO DE SOLOS *IN NATURA* COM SOLOS ALTERADOS PELA AÇÃO DE ADUBOS

ELIAS LUCAS DE LIMA

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Instituto Municipal  
de Ensino Superior de Assis, como  
requisito do Curso de Graduação,  
analisado pela seguinte comissão  
examinadora:

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Dra. Rosângela Aguilari da Silva

Analisador: Prof<sup>o</sup>. Ms. Nilson Jose dos Santos

Assis  
2010

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha Mãe e toda a minha família que sabe o quanto é importante para mim esta conquista.

## AGRADECIMENTOS

*Agradeço primeiramente a Deus por tudo que tenho*

*Aos meus pais que me incentivaram*

*Aos Professores e colegas de Curso, pois juntos lutamos*

*Em especial, a minha Orientadora, Dra. Rosângela Aguilhar da Silva*

*A todos que, com boa intenção possibilitaram para que eu completasse meus objetivos*

*Agradeço também a Núbia Siqueira Maschietto que me apoiou e me ajudou a encontrar meu caminho S2*

## RESUMO

O solo é o meio natural para o crescimento e desenvolvimento dos vegetais na superfície da Terra, sendo composto de materiais minerais e orgânicos. Para o solo ser considerado fértil ele deve fornecer quantidades suficientes e balanceadas de todos os nutrientes essenciais às plantas, em formas assimiláveis. O presente trabalho teve por objetivo comparar dois tipos de solos: um sob o estado natural que foi denominado “mata” e o outro alterado denominado “plantação”, por meio de análises físico-químicas. Foram realizadas análises de Cu, Zn, Mn, Fe, B, K, Ca, Mg, H<sup>+</sup> + Al, Al (Tr), base, capacidade de troca de cátions (CTC), P, S, matéria orgânica, pH, base e alumínio (saturação). A análise dos resultados mostra que não houve diferenças significativas nas quantidades de Cu, Zn, e Fe entre os dois tipos de solos analisados. A única variação observada foi para o micronutriente boro em que o solo originário da “mata” foi o que apresentou maior quantidade deste componente. Os valores encontrados para K, Ca, Mg, H + Al, base e CTC foram menores para a amostra “plantação” do que os determinados para a amostra originária da “mata”. As concentrações de fósforo e matéria orgânica são maiores para o solo originado da “plantação” do que o da “mata” e o pH e a concentração de S menores para o solo plantação em comparação com a amostra de solo da mata. Ao se comparar a composição do solo originário da “mata” e da “plantação”, constatou-se que existem diferenças em relação a alguns atributos. O solo proveniente da “plantação” apresentou maior quantidade de matéria orgânica que o solo da mata e, portanto está apto para o plantio de determinadas culturas, necessitando apenas de pequenas correções de alguns nutrientes. A ferramenta mais utilizada para a avaliação da qualidade do solo tem sido a análise química, sendo possível avaliar o atual estado de qualidade do solo por meio de comparações com os valores considerados ideais ou com valores encontrados no solo sob estado natural.

**Palavras-chave:** Solo; *In Natura*.

## ABSTRACT

Soil is the natural medium for the growth and development of plants on Earth's surface, being composed of mineral and organic materials. To be considered fertile soil it must provide sufficient and balanced for all essential nutrients to plants in assimilable forms. This study aimed to compare two soil types: a natural state under what was termed "forest" and the other changes called "plantation" through physical and chemical analysis. Were analyzed for Cu, Zn, Mn, Fe, B, K, Ca, Mg, Al H, Al (Tr), base, cation exchange capacity (CEC), P, S, organic matter, pH, and base Aluminum (saturation). The analysis shows no significant differences in the amounts of Cu, Zn and Fe between the two types of soils. The only variation was observed for the boron in the soil originating from the "forest" showed the greatest amount of this component. The values found for K, Ca, Mg, Al H, base and CEC were lower for the sample "plantation" than those determined for the original sample of "forest". The concentrations of phosphorus and organic matter are higher in the soil originated from the "plantation" than the "forest" the pH and concentration of S lower for soil cultivation in comparison with samples of forest soil. Comparing the composition of the soil originating from the "forest" and "plantation" it was found that there are differences with some attributes. The soil from the "plantation" had higher amounts of organic matter in the soil of the forest and thus is able to plant certain crops, requiring only small patches of some nutrients. The most widely used tool for assessing soil quality has been chemical analysis, it is possible to assess the current state of soil quality through comparisons with the values considered ideals or values found in soil under natural condition.

**Keywords:** Soil; In Natura

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Formação de amônia por bactérias fixadoras.....	17
Figura 2	Complexação de oxalato de ferro ou alumínio em minerais.....	19
Figura 3	Água contida nos macroporos escoada por ação da gravidade....	25
Figura 4	Água retida em volta de partículas terrosas ou nos espaços capilares que é facilmente absorvida pelas raízes.....	25
Figura 5	Água fortemente retida em volta de partículas terrosas que não é absorvida pelas plantas.....	25

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Tabela de componentes Orgânicos do solo (Manahan, 1997).....	21
Tabela 2	Relação entre densidade e porosidade.....	24
Tabela 3	Classificação dos solos em função do pH.....	27
Tabela 4	resultado de análise de micronutrientes Cu, Zn, Mn, Fé, e B .....	35
Tabela 5	Resultados das análises de K, Ca, Mg, H + Al, base, CTC nas amostras de solo “mata” e “plantação” .....	36
Tabela 6	Resultados das análises de P (Res), matéria orgânica, pH, base, Al e S, nas amostras de solo “mata” e “plantação” .....	37

# SUMÁRIO

	página
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2. O SOLO .....</b>	<b>15</b>
2.1. COMPONENTES EXISTENTES NOS SOLOS .....	16
<b>2.1.1 Componentes Inorgânicos do Solo .....</b>	<b>16</b>
2.1.1.1 Nitrogênio .....	17
2.1.1.2 Fósforo .....	18
2.1.1.3 Potássio .....	18
<b>2.1.2 Componentes orgânicos do solo .....</b>	<b>19</b>
2.1.2.1 Húmus no solo .....	20
2.2 TIPOS DE SOLO .....	22
<b>2.2.1 Solos Arenosos .....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.2 Solos Argilosos .....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.3 Solos Siltosos.....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.4 Solo húmífero .....</b>	<b>23</b>
<b>2.2.5 Solo calcário .....</b>	<b>23</b>
2.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO SOLO .....	23
<b>2.3.1 Densidade e porosidade aparente do solo .....</b>	<b>23</b>
<b>2.3.2 Umidade do Solo .....</b>	<b>24</b>
<b>2.3.3 pH do Solo .....</b>	<b>26</b>
2.4 ESTRUTURAS DO SOLO .....	27
2.5 TEXTURA .....	28
<b>2.5.1 Solos de Textura Arenosa (Solos Leves) .....</b>	<b>28</b>
<b>2.5.2 Solos de Textura Média (Solos Médios) .....</b>	<b>28</b>
<b>2.5.3 Solos de Textura Argilosa (Solos Pesados) .....</b>	<b>29</b>
2.6 RESPIRAÇÃO DO SOLO .....	29
2.7 ATIVIDADES BIOLÓGICAS DO SOLO .....	30
<b>3. MATERIAIS E METODOS .....</b>	<b>31</b>
3.1 DETERMINAÇÃO DO PH EM CLORETO DE CÁLCIO.....	31

3.2 MÉTODO EXTRATOR COM RESINA PARA Ca, Mg e K .....	32
3.3 MÉTODOS COLORIMÉTRICOS PARA MATÉRIA ORGÂNICA.....	32
3.4 MÉTODOS EXTRATORES DTPA EM PH 7,3 PARA Zn, Fe, Cu, Mn...	33
3.5 MÉTODO ÁGUA QUENTE PARA BORO .....	33
<b>4. RESULTADOS E DISCUSÕES .....</b>	<b>35</b>
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>38</b>
<b>6. REFERENCIAS .....</b>	<b>39</b>
<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>41</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Solo é a camada que recobre as rochas, constituído de proporções e tipos variáveis de minerais e de húmus, matéria orgânica decomposta por ação de organismos do solo. Também se refere de modo mais restrito especialmente na agricultura, à camada onde se origina a vida vegetal. O nome técnico para o solo, em geologia, é manto de intemperismo, e ele se localiza logo acima da litosfera (SILVA, 2008).

O solo proporciona inúmeros benefícios, tais como, extração de minérios, pedras preciosas e também para o plantio de inúmeras espécies de plantas, árvores e legumes, utilizados para o nosso sustento (SILVA, 2008).

Para avaliar se o solo está apto a ser utilizado para o plantio deve ser considerado seu aspecto físico e químico, estando de acordo com a composição que a planta necessita para o seu desenvolvimento ideal. O solo é um componente fundamental do ecossistema terrestre, pois, além de ser o principal substrato utilizado pelas plantas para o seu crescimento e disseminação, fornece água, ar e nutrientes (SILVA, 2008).

O solo exerce também uma multiplicidade de funções como regulação da distribuição, escoamento e infiltração da água da chuva e de irrigação, armazenamento e ciclagem de nutrientes para as plantas e outros elementos, ação filtrante e protetora da qualidade da água e do ar (SILVA, 2008).

Como recurso natural dinâmico, o solo pode ser degradado pelo uso antrópico inadequado, condição em que o desempenho de suas funções básicas fica severamente prejudicado. Tal fato carrega interferências negativas no equilíbrio ambiental, diminuindo drasticamente a qualidade de vida nos ecossistemas, principalmente naqueles que sofrem mais diretamente a interferência humana como os sistemas agropecuários e urbanos (SILVA, 2008).

A análise do solo é importante porque fornece características físico-químicas que possibilitam a sua classificação e favorecem a escolha de determinados tipos de solos associados às necessidades de cada tipo de cultura.

O presente trabalho visa à comparação físico-química entre dois tipos de solos, nos quais, um estará totalmente virgem, ou seja, sem a intervenção de produtos utilizados pelos homens em lavouras, e o outro solo já utilizado pelo homem no cultivo de diferentes tipos de culturas.

## 2 O SOLO

O solo ajuda no crescimento e desenvolvimento dos vegetais, devido a ser um meio natural encontrado na superfície da terra, composto por materiais minerais e orgânicos. Para avaliar se o solo é fértil ele deve ter quantidades suficientes e balanceadas dos nutrientes necessários para as plantas (SILVA, 2008).

Com o uso correto de tais nutrientes o solo se torna responsável por 50% da produção de uma planta. As práticas corretivas do solo, como: a calagem, a fosfatagem, a potassagem, o uso de resíduos orgânicos e a prática da adubação mineral e orgânica, são utilizados com a finalidade de tornar o solo mais produtivo. A análise química é um dos métodos existentes para a caracterização da fertilidade dos solos (SILVA, 2008).

O solo é uma das partes naturais do ambiente global, com parte integrante desse universo, os solos estão em constante inter-relação com as águas superficiais, as águas subterrâneas, as rochas, o ar, as condições climáticas e com os ecossistemas (PÉREZ, 1997).

Envolvendo a superfície do planeta, os solos participam de seus principais ciclos vitais. Eles estão na base da reciclagem da cadeia de nutrientes originados das rochas e transformados pela ação da atmosfera, da água e da atividade biológica (LE SOL, 2007).

Por meio do processo de reciclagem, os solos também neutralizam as toxinas. No entanto, quando os dejetos urbanos, industriais e agropecuários ocorrem em excesso, os solos tornam-se incapazes de estocá-los e reciclá-los. (BORGGAARD, 2007).

## 2.1 COMPONENTES EXISTENTES NOS SOLOS

### 2.1.1 Componentes Inorgânicos do Solo

A formação de colóides inorgânicos no solo se origina do desgaste das rochas e minerais inorgânicos que compõem o solo. Estes colóides são repositórios de água e nutrientes da planta que estão disponíveis de acordo com suas necessidades. Colóides inorgânicos absorvem com muita frequência as substâncias tóxicas do solo, fazendo um papel de desintoxicação de substâncias que, caso contrário, prejudicariam as plantas. A abundância e o tipo de material coloidal inorgânico no solo são fatores importantes na determinação da produtividade do solo. A absorção dos nutrientes da planta através das raízes envolve frequentemente interações complexas entre a água e as fases inorgânicas, este processo é influenciado fortemente pela estrutura iônica do material inorgânico do solo (SANTOS, 2001).

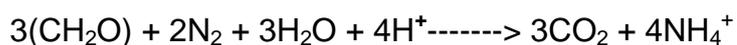
Os elementos mais comuns na crosta terrestre são oxigênio, sílica, alumínio, ferro, cálcio, sódio, potássio, e magnésio. Assim, os minerais compostos destes elementos, particularmente sílica e oxigênio, constituem a maior fração mineral da terra. Os componentes minerais mais comuns do solo são divididos finamente em quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), ortoclásio ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), epidote ( $4\text{CaO} \cdot 3(\text{AlFe})_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), geothite ( $\text{FeO}(\text{OH})$ ), magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_2$ ), carbonatos de cálcio e magnésio ( $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$ ) e óxidos de manganês ( $\text{MnO}_2$ ) e titânio ( $\text{TiO}_2$ ) (SANTOS, 2001).

Nitrogênio, fósforo e potássio são nutrientes para as plantas, os quais são obtidos através do solo. São de grande importância para a produtividade de uma colheita em que são adicionados ao solo como fertilizantes (SANTOS, 2001).

### 2.1.1.1 Nitrogênio

Mais de 90% do nitrogênio contido na maioria dos solos é orgânico. Este nitrogênio orgânico é o principal produto da biodegradação de plantas e animais mortos no solo. Ele é eventualmente hidrolisado à  $\text{NH}_4^+$  (nitrogênio inorgânico), o qual pode ser oxidado à  $\text{NO}_3^-$  (nitrogênio inorgânico) pela ação das bactérias presentes no solo (SANTOS, 2001).

O nitrogênio confinado no solo é muito importante para manter a fertilidade do solo. O nitrogênio não é um produto significativo do desgaste mineral, ao contrário do fosfato ou potássio. A atmosfera é uma das fontes de nitrogênio do solo, o qual é transformado por bactérias fixadoras de nitrogênio através de um processo bioquímico, apresentado na Fig. (1)



**Figura 1 - Formação de amônia por bactérias fixadoras**

No entanto, as bactérias fixadoras de nitrogênio não fornecem nitrogênio suficiente para manter a fertilidade do solo. O nitrogênio inorgânico, proveniente de fertilizantes ou da água da chuva, é constantemente perdido, na maior parte, pela lixiviação. O húmus do solo, porém, serve como um reservatório de nitrogênio que as plantas precisam (SANTOS, 2001).

Um dos principais componentes das proteínas e da matéria viva é o nitrogênio. Plantas e cereais cultivados em solos ricos em nitrogênio não somente rendem mais, como também são freqüentemente ricas em proteínas e, com tudo, mais nutritivas (SANTOS, 2001).

### 2.1.1.2 Fósforo

O fósforo é um componente essencial às plantas, embora seu percentual nas plantas seja relativamente baixo. O fósforo deve estar presente em uma forma inorgânica simples para que possa ser assimilado pelas plantas, como o nitrogênio. As espécies mais encontradas na maioria dos solos são ortofosfatos,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{HPO}_4^{2-}$  (GIRACCA, 2010).

O ortofosfato é mais disponível para as plantas em valores de pH perto da neutralidade. Pode-se dizer que em solos relativamente ácidos, os íons ortofosfatos são precipitados ou absorvidos por espécies de  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Fe}^{3+}$ .

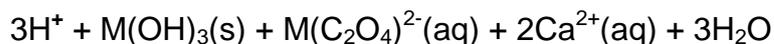
### 2.1.1.3 Potássio

O potássio é essencial para o crescimento das plantas. O potássio é o responsável pela ativação de algumas enzimas que ajuda no equilíbrio de água nas plantas. É também essencial para algumas transformações de carboidratos. O potássio presente no solo contribui para um bom rendimento de uma colheita. Quando fertilizantes de nitrogênio são adicionados ao solo para aumentar a produtividade, aumenta a remoção do potássio. Sendo assim, o potássio pode se tornar um nutriente limitante em solos fertilizados com grande quantidade de outros nutrientes (KORNDÖRFER, 2010).

O potássio é um dos elementos mais abundantes da crosta terrestre, cerca de 2,6%; porém, muito desse potássio não está disponível para as plantas, pois geralmente se apresenta sob a forma de minerais, por exemplo,  $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$  (KORNDÖRFER, 2010).

### 2.1.2 Componentes orgânicos do solo.

Grande parte da produtividade do solo é composta por menos de 5% de matéria orgânica produtiva. Utilizado como fonte de alimento para microrganismos que por meio de reações químicas, influencia nas propriedades físicas do solo. Os compostos orgânicos contribuem para o desgaste da matéria mineral em algumas de suas combinações, porém, essa matéria mineral é o processo pelo qual o solo se forma. Por exemplo,  $C_2O_4^{2-}$ , (íon de oxalato), produzido através do metabolismo de fungos do solo, quando presente na água do solo, dissolve minerais, enquanto acelera o processo de desgaste, aumentando assim a disponibilidade de espécies de íons nutrientes. Este processo de desgaste envolve complexação de oxalato de ferro ou alumínio em minerais, representados pela Fig. (2) na qual M é Al ou Fe (SANTOS, 2001).



**Figura 2 - Complexação de oxalato de ferro ou alumínio em minerais.**

Nos componentes biologicamente ativos da fração do solo se incluem polissacarídeos, nucleotídeos, aminoácidos, enxofre orgânico e combinações de fósforo. A maior parte de matéria orgânica que compõe o solo é o composto chamado Húmus, insolúvel em água, que se biodegrada muito lentamente (SANTOS, 2001).

A temperatura e a disponibilidade de oxigênio influenciam fortemente o acúmulo de matéria orgânica no solo. A taxa de biodegradação dos componentes diminui com baixas temperaturas, fazendo com que a degradação da matéria orgânica diminua, tendendo a formar o solo. Em água e em solos com grandes quantidades de água, a matéria orgânica formada priva-se de um acesso de oxigênio, causando o acúmulo, podendo alcançar 90% em áreas onde plantas crescem e deterioram em solos saturados com água (SANTOS, 2001).

### 2.1.2.1 Húmus no solo

O húmus do solo é o mais significativo dos componentes. Húmus é composto de frações solúveis chamadas ácidos húmicos e fúlvicos, e uma fração insolúvel chamada humina. É o resíduo originado quando bactérias e fungos biodegradam o material das plantas. Uma boa parte da biomassa da planta é constituída de celulose relativamente degradável e lignina resistente à degradação. Entre os principais componentes químicos da lignina estão os anéis aromáticos conectados por cadeias de alquilas, grupos metilas, e grupos hidroxilas. Estes artefatos estruturais acontecem no húmus do solo e dão a ele muitas de suas propriedades características (FONSECA, 2010).

A tabela 1 apresenta os componentes orgânicos existentes no solo

Tipo de Componente	Composição	Significado
Húmus	Resíduo da degradação do apodrecimento de plantas, em grande parte C, H e O.	Componente orgânico mais abundante, melhora propriedades físicas do solo, troca de nutrientes, reservatório de N fixo.
Gorduras, resinas e ceras	Extraídos de lipídios através de solventes orgânicos.	Pequena parte da matéria orgânica do solo, pode afetar as propriedades físicas do solo repelindo água, pode ser fitotóxico.
Sacarídeos	Celulose, amido, hemicelulose, gomas.	Principal fonte de alimento para microrganismos do solo, ajuda na estabilização de agregados do solo.
Nitrogênio orgânico	Nitrogênio ligado ao húmus, aminoácidos e outras composições.	Fornece nitrogênio para fertilidade do solo.
Compostos de fósforo	Éster fosfatos, inositol fosfatos (ácido fítico), fosfolipídios.	Fonte de fosfato para a planta.

**Tabela 1 - Tabela de componentes Orgânicos do solo (Manahan, 1997).**

## 2.2 TIPOS DE SOLO

### 2.2.1 Solos Arenosos

Os solos arenosos têm boa aeração, a água e o ar penetram com mais facilidade nele, plantas e microrganismos se desenvolvem mais. O solo arenoso é 100% composto de areia, o deserto é o exemplo mais comum deles. (<http://amociencia.blogspot.com/2007/06/saiba-tudo-sobre-solo.html>)

### 2.2.2 Solos Argilosos

Não são tão arejados, mas armazenam mais água. São menos permeáveis, a água passando mais lentamente ficando então armazenada. Alguns solos brasileiros mesmo tendo muita argila, apresentam grande permeabilidade. Sua composição é de boa quantidade de óxidos de alumínio (gibbsita) e de ferro (goethita e hematita). Formam pequenos grãos semelhantes ao pó-de-café, isso o torna similar ao arenoso e é chamado de latossolo. (<http://amociencia.blogspot.com/2007/06/saiba-tudo-sobre-solo.html>).

### 2.2.3 Solos Siltosos

Possuem grande quantidade de silte (Chama-se silte ou limo a todo e qualquer fragmento de mineral ou rocha menor do que areia fina e maior do que argila e que na escala de Wentworth, de amplo uso em geologia, corresponde a diâmetro  $> 4 \mu\text{m}$  e  $< 64 \mu\text{m}$  ( $1/256 = 0,004$  a  $1/16 = 0,064$  mm), são muito erodíveis. O silte não se mistura como a argila suas partículas são muito pequenas e leves. (<http://amociencia.blogspot.com/2007/06/saiba-tudo-sobre-solo.html>).

#### 2.2.4 Solo húmífero

Esse solo apresenta uma quantidade maior de húmus em relação aos outros. É um solo geralmente fértil, ou seja, um solo onde os vegetais encontram melhores condições para se desenvolverem. (<http://amociencia.blogspot.com/2007/06/saiba-tudo-sobre-solo.html>).

#### 2.2.5 Solo calcário

A quantidade de calcário nesse tipo de solo é maior que em outros solos. Desse tipo de solo é retirado um pó branco ou amarelado, que pode ser utilizado na fertilização dos solos destinados à agricultura e à pecuária. (<http://amociencia.blogspot.com/2007/06/saiba-tudo-sobre-solo.html>).

Esse solo também fornece a matéria-prima para a fabricação de cal e do cimento, que são utilizados na construção de edifícios, casas, muros, calçadas e pontes. (<http://amociencia.blogspot.com/2007/06/saiba-tudo-sobre-solo.html>).

### 2.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO SOLO

#### 2.3.1 Densidade e porosidade aparente do solo

A definição para a densidade do solo é a razão entre a massa da parte sólida de um dado volume aparente do solo e a massa de igual volume de água dependendo também da porosidade e varia também com a textura e o teor de matéria (LEITE, 1998).

A porosidade é a razão entre o volume ocupado pelos poros e o volume aparente do solo. Exprime-se em percentagem e varia de solo para solo. Varia também, em cada solo, com o estado do seu complexo argilo-húmido.

A tabela 2 mostra a relação entre a densidade aparente de um solo e a porosidade:

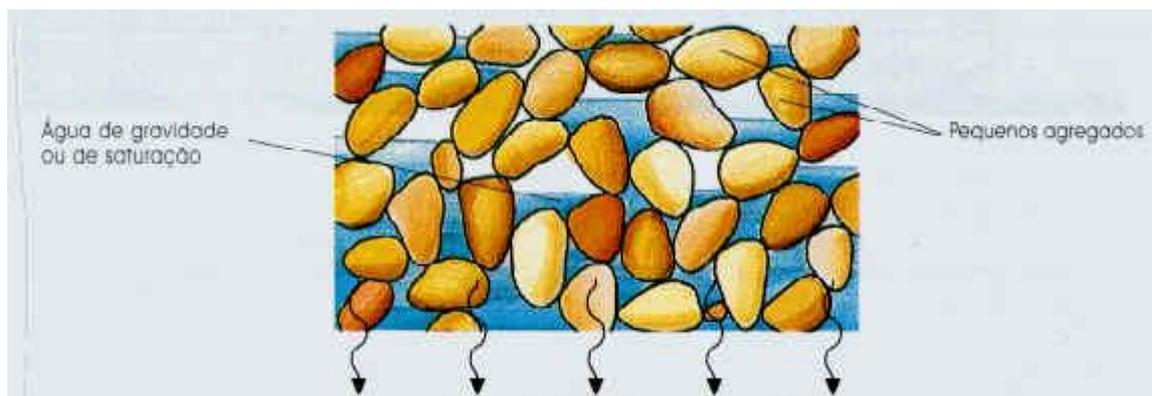
<b>DENSIDADE APARENTE</b>	<b>POROSIDADE</b>
1 a 1,2	55 a 62%
1,2 a 1,4	46 a 54%
1,4 a 1,6	40 a 46%
1,6 a 1,8	40%

**Tabela 2 - Relação entre densidade e porosidade**

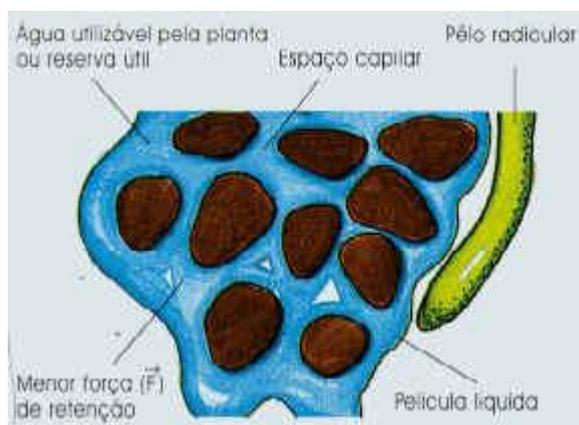
O cálculo da densidade aparente implica, geralmente, a secagem prévia da amostra do solo recolhida por meio de sondas (LEITE, 1998).

### 2.3.2 Umidade do Solo

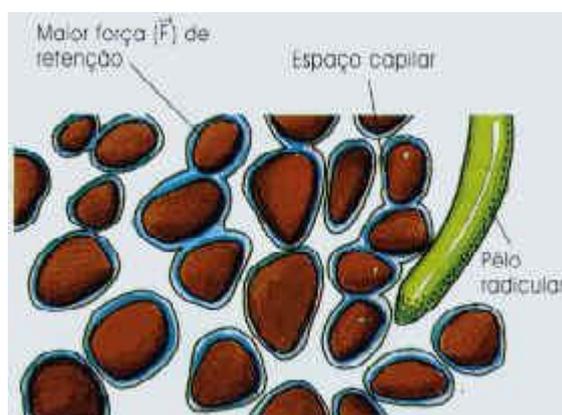
A água é um fator importante na gênese do solo sendo indispensável à vida das plantas, para identificar a quantidade de água existente no solo utiliza-se a percentagem de água em relação ao peso do solo, sendo importante o modo em que esta retida no solo. Este fato facilita ou não a absorção pelas plantas (fig. 3, 4 e 5) (LEITE, 1998).



**Figura 3 - Água contida nos macroporos escoada por ação da gravidade**



**Figura 4 - Água retida em volta de partículas terrosas ou nos espaços capilares que é facilmente absorvida pelas raízes**



**Figura 5 - Água fortemente retida em volta de partículas terrosas que não é absorvida pelas plantas**

A água existente no solo abrange a água higroscópica que é fixada na superfície dos colóides, por absorção; a água capilar que é sujeita a fenômenos de capilaridade no solo e desloca-se nos espaços intersticiais e água gravitacional que não é retida no solo, deslocando-se apenas nos macroporos, por ação da gravidade (LEITE, 1998).

### 2.3.3 pH do Solo

O pH do solo pode ser medido utilizando indicadores de pH (medida colorimétrica) ou potenciométricamente, utilizando uma porcentagem de solo em água. O resultado varia de acordo com a técnica utilizada, não podendo supor valor médio exato à concentração hidrogeniônica que os organismos necessitam encontrar no solo (LEITE, 1998).

O valor de pH de um solo não permanece constante e característico, sofrendo variações devido à variação da concentração da água. O pH da maioria dos solos situa-se entre 4 e 8,5 (LEITE, 1998).

O pH inferior a 4,5 prejudica a nutrição e o desenvolvimento das plantas pelas seguintes razões, excesso de Al, Fe e Mn solúveis, fraca assimilabilidade do P, muito fraca assimilabilidade de S, Mo, Cu, Zn, condições desfavoráveis a certas atividades biológicas, tais como: decomposição da matéria orgânica, umidificação, nitrificação e fixação simbiótica do azoto atmosférico (LEITE, 1998).

Há, no entanto plantas que preferem solos muito ácidos, como a hortênsia. Desconhece-se se trata de acidofilia ou de exigências de alumínio. O valor do pH do solo é mais elevado, por exemplo, nos solos de origem granítica, que são ácidos (LEITE, 1998).

A tabela 3, apresenta a classificação de solos em função das variações de pH entre 3 à 8.5

pH		Designação dos Solos	Utilização possível dos solos
pH comum nos solos de regiões áridas 5 a 7 pH comum nos solos de regiões húmidas 7 a 9	De 3 a 4,5	Solos extremamente ácidos	Charnecas e florestas de espécies acidófilas
	De 4,5 a 5	Solos fortemente ácidos	Charnecas e prados
	De 5 a 5,5	Solos muito ácidos	Prados e culturas de espécies acidófilas
	De 5,5 a 6	Solos ácidos	Prados
	De 6 a 6,75	Solos fracamente ácidos	Todas as culturas, exceto as leguminosas calcífugas
	De 6,75 a 7,25	Solos neutros	Todas as culturas
	De 7,25 a 8,5	Solos alcalinos	Todas as culturas, exceto as calcífugas
	Acima de 8.5	Solos muito alcalinos	Difíceis as culturas europeias usuais

**Tabela 3 - Classificação dos solos em função do pH.**

## 2.4 ESTRUTURAS DO SOLO

A disposição de partículas geométricas, primárias e secundárias, define a consistência de um solo, as primárias são isoladas e as secundárias são um conjunto de primárias dentro de um agregado mantido por agentes cimentantes. O ferro, a sílica e a matéria orgânica são os principais agentes cimentantes (ARAUJO, 2003).

A textura e a estrutura do solo influenciam na quantidade de ar e de água requeridas pelas plantas em crescimento.

## 2.5 TEXTURA

A textura do solo é baseada nas proporções relativas das partículas ou frações de areia, silte e argila, e a propriedade física do solo que menos sofre alteração ao longo do tempo. Muito importante na irrigação porque influencia na taxa de infiltração de água, na aeração, na capacidade de retenção de água, na nutrição, como também na aderência ou força de coesão nas partículas do solo (ARAUJO, 2003).

Os teores de areia, silte e argila no solo influenciam no ponto de aderência nos implementos de preparo do solo e plantio, facilitando e/ou dificultando o trabalho das máquinas. Influindo no método de irrigação utilizado. Para simplificar as análises, principalmente quanto às práticas de manejo, os solos são agrupados em três classes de textura:

### **2.5.1 Solos de Textura Arenosa (Solos Leves)**

Esses solos possuem teores de areia superiores a 70% e de argila inferior a 15%; são permeáveis, leves, de baixa capacidade de retenção de água e de baixo teor de matéria orgânica. Altamente susceptíveis à erosão, necessitando de cuidados especiais na reposição de matéria orgânica, no preparo do solo e nas práticas conservacionistas. São limitantes ao método de irrigação por sulcos, devido à baixa capacidade de retenção de água o que ocasiona uma alta taxa de infiltração de água no solo e conseqüentemente elevada perdas por percolação (ARAUJO, 2003).

### **2.5.2 Solos de Textura Média (Solos Médios)**

São solos que apresentam certo equilíbrio entre os teores de areia, silte e argila. Normalmente apresentam boa drenagem, boa capacidade de retenção de água e

índice médio de erodibilidade. Portanto, não necessitam de cuidados especiais, adequando-se a todos os métodos de irrigação (ARAUJO, 2003).

### **2.5.3 Solos de Textura Argilosa (Solos Pesados)**

São solos com teores de argila superiores a 35%. Possuem baixa permeabilidade e alta capacidade de retenção de água. Esses solos apresentam maior força de coesão entre as partículas, o que além de dificultar a penetração, facilita a aderência do solo aos implementos, dificultando os trabalhos de mecanização. Embora sejam mais resistentes à erosão, são altamente susceptíveis à compactação, o que merece cuidados especiais no seu preparo, principalmente no que diz respeito ao teor de umidade, no qual o solo deve estar com consistência friável. Apresentam restrições para o uso da irrigação por aspersão quando a velocidade de infiltração básica for muito baixa (ARAUJO, 2003).

## **2.6 RESPIRAÇÃO DO SOLO**

Considerando o solo como uma entidade viva, e não somente como um mero substrato em que as plantas se desenvolvem, pode-se dizer sim que o solo respira (SALEMI, 2009).

Andando-se em uma estrada pode se observar alguns barrancos de solo, com variações de cores, geralmente variando entre a cor amarela, laranja e a vermelha. Esses materiais que conferem essas cores ao solo são materiais minerais que compõem o mesmo e não possuem vida. No entanto, no solo, encontram-se raízes de plantas, minhocas e muitos outros organismos. Além disso, no solo há também organismos invisíveis a olho nu como fungos e bactérias que, onde a maioria deles é responsável pela decomposição de material orgânico morto, em geral, das plantas. Todos esses organismos citados, assim como os próprios seres humanos, realizam respiração, ou seja, conseguem energia para a realização dos seus processos vitais absorvendo O<sub>2</sub> da atmosfera e devolvendo CO<sub>2</sub> para a mesma (SALEMI, 2009).

Assim, entende-se que o solo é um habitat para muitos organismos vivos. O CO<sub>2</sub>, liberado pela respiração dos organismos, recebe o nome de respiração do solo, em uma analogia do solo atuando como um organismo vivo que obtém energia para a realização dos seus processos vitais absorvendo O<sub>2</sub> da atmosfera e devolvendo CO<sub>2</sub> para a mesma (SALEMI, 2009).

Desse modo, o termo “respiração do solo” representa a perda de CO<sub>2</sub> do solo para atmosfera através da respiração de raízes e respiração dos microrganismos que decompõem a matéria orgânica no solo. Entender a respiração do solo ajuda os cientistas a compreender como esse componente dos ecossistemas colabora, por exemplo, para o aquecimento global já que o solo, ou os organismos que habitam ele, atuam liberando CO<sub>2</sub> para atmosfera (SALEMI, 2009).

## 2.7 ATIVIDADES BIOLÓGICAS DO SOLO

A atividade biológica do solo é uma denominação genérica para a ação dos organismos vivos existentes nele, tanto animais quanto vegetais. Esses organismos têm uma grande influência na gênese e manutenção da organização dos constituintes do solo, principalmente nos horizontes superficiais (<http://www.fazfacil.com.br/jardim/solos.html>).

As raízes das plantas, por exemplo, alteram o pH do solo ao seu redor e, ao morrer e se decompor, deixam canais. Formigas, cupins e minhocas manipulam, ingerem e excretam material de solo formando micro agregados e construindo poros (<http://www.fazfacil.com.br/jardim/solos.html>).

### 3 MATERIAIS E METODOS

As amostras de solo foram retiradas da área experimental utilizando-se um amostrador tipo sonda sendo uma amostra por unidade experimental. Estas amostras foram homogeneizadas, retirando-se, em seguida, uma amostra por profundidade para envio ao laboratório de análise de solo.

Os procedimentos experimentais estão em anexo e os princípios de cada método são apresentados abaixo.

#### 3.1 Determinação do pH em cloreto de cálcio.

O pH, representado pela atividade do íon  $H^+$  na solução do solo, corresponde ao hidrogênio dissociado existente em solução, em equilíbrio com a acidez da fase sólida. Sua determinação é feita através de eletrodos mergulhados em suspensão de solo e medida com potenciômetro ou medidor de pH.

O pH determinado em solução  $0.01 \text{ mol L}^{-1}$  de  $CaCl_2$  é, em media, 0.6 unidades menor do que o pH em água, embora as diferenças sejam bastante variáveis.

No método de rotina o tampão SMP é usado não para determinar a necessidade de calagem, mas para estimar a acidez total, de acordo com Quaggio et al. (1985), que adaptaram o uso desse método para a determinação direta da acidez total. Para isso, o método é calibrado através da correlação entre os valores de pH de solos no tampão SMP e a acidez total dos solos determinada pelo método de acetato de cálcio.

Na análise de rotina, determina-se o pH em uma suspensão de solo em solução de cloreto de cálcio e, em seguida, adiciona-se a solução-tampão SMP (Shoemaker, Mac lean e Pratt) e lê-se novamente o pH de equilíbrio da suspensão, denominado pH<sub>SMP</sub>, que permite a estimativa de  $H + Al$ .

### 3.2 método extrator com resina para Ca, Mg e K (RAIJ, 2010).

O processo de extração descrito permite a avaliação do chamado fósforo lábil, por dissolução gradativa de compostos de íons fosfatados da fase sólida do solo e transferência de íons ortofosfatos para a resina de troca iônica. Além disso, como a extração é feita com uma mistura de resinas de troca catiônica e aniônica, saturadas com bicarbonato de sódio, ocorre também a extração dos cátions trocáveis, que se transferem, em grande parte, do solo para a resina, principalmente se os teores não forem muito altos.

O método original foi descrito por Raij e Quaggio (1983): Raij et al. (1986) e por Raij et al. (1987). Foi feita uma modificação posterior na composição do reagente usado na extração dos elementos da mistura de resinas trocadoras de íons, após o processo de extração, passando-se de uma solução contendo 1 mol L<sup>-1</sup> de NaCl e 0.1 mol L<sup>-1</sup> de HCl para uma solução contendo 0.8 mol L<sup>-1</sup> de NH<sub>4</sub>Cl e 0.2 mol L<sup>-1</sup> de HCl (Raij et al., 1987). A solução de cloreto de amônio favorece a leitura do cálcio e do magnésio por espectrofotometria de absorção atômica, em relação a solução de cloreto de sódio, porque não provoca entupimentos nos queimadores. Dessa forma a determinação de cálcio e magnésio é feita por espectrofotometria de absorção atômica e o potássio por fotometria de chama.

### 3.3 Métodos colorimétricos para matéria orgânica (RAIJ, 2010).

A determinação da quantidade de matéria orgânica em solos baseia-se na sua oxidação a CO<sub>2</sub> por íons dicromato, em meio fortemente ácido. Em amostras que requeriam maior precisão, a determinação da quantidade de íons Cr(III) reduzidos é feita indiretamente, por titulação dos íons dicromato em excesso, com íons Fe<sup>2+</sup>. Alternativamente, pode-se determinar diretamente a quantidade de íons Cr(III) por colorimetria, medindo-se a intensidade da cor esverdeada produzida por esses íons

em solução. A determinação por colorimetria, normalmente usada em rotina, requer a montagem de uma curva-padrão de calibração. Essa curva é feita com uma série de amostra de solo, nas quais o teor da matéria orgânica é determinado por titulação, que apresenta mais precisão.

O método colorimétrico baseia-se na leitura colorimétrica da cor verde do íon Cr(III) reduzido pelo carbono orgânico (Quaggio e Raij, 1979). Esse método utiliza o dicromato de sódio no lugar do de potássio, devido à maior solubilidade do primeiro. Além disso, a oxidação da matéria orgânica é feita a frio, apenas agitando o solo em uma solução contendo dicromato de sódio e ácido sulfúrico.

### 3.4 Métodos extratores DTPA em pH 7,3 para Zn, Fe, Cu, Mn (RAIJ, 2010).

O princípio do método utilizado na solução de DTPA (ácido dietilenotriaminopentaacético) pH 7.3, desenvolvido por Lindsay e Norvell (1978), é a complexação dos metais. O agente quelante reage com os íons livres de Cu, Fe, Mn, Zn, Cd, Cr, Ni e Pb em solução, formando complexos solúveis, o que resulta em redução da atividade dos metais livres em solução. Em resposta, íons desses metais desorvem da superfície do solo ou dissolvem da fase sólida para reabastecer a solução do solo. A quantidade de metais quelatados que acumula na solução durante a extração é função das atividades desses íons livres na solução do solo (fator intensidade), na habilidade do solo em reabastecer a solução (fator capacidade), da estabilidade do quelato e da capacidade do quelante em competir com a matéria orgânica pelo íon.

As determinações dos elementos podem ser feitas por espectrofotometria de absorção atômica em chama (AAS) ou por espectrometria de emissão em plasma (ICP-AES).

### 3.5 Método água quente para Boro (RAIJ, 2010).

A extração com água quente sob refluxo, proposta por Berger e Truog (1939), é o método mais empregado para avaliar a disponibilidade de boro em solos. Esse procedimento tem sofrido, ao longo dos anos, algumas modificações, como a introdução de gotas de cloreto de cálcio após a extração, ou mesmo a substituição da água por solução diluída de cloreto de cálcio, para evitar problemas de dispersão de argila. No procedimento original, as amostras são aquecidas sob refluxo, um processo trabalhoso para laboratórios de rotina.

Tentando eliminar as dificuldades analíticas apresentadas pelo método da água quente sob refluxo, Abreu et al. (1994) substituíram a água quente ou cloreto de cálcio pela solução de cloreto de bário, e o aquecimento sob refluxo pelo aquecimento assistido pelo microondas. Com isso foi possível eliminar interferências na extração via microonda e na determinação feita pela espectrometria de emissão atômica em plasma (ICP-AES), como pelo método colorimétrico, além de conseguir melhor controle no tempo de fervura.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.

Os resultados das análises de Cu, Zn, Mn, Fe e B para dois tipos de amostras de solos diferentes são apresentados na tabela 4. Essas amostras foram denominadas “mata” e “plantação”.

A análise dos resultados mostra que não houve diferenças significativas nas quantidades de Cu, Zn, e Fe entre os dois tipos de solos analisados. A única variação observada foi para o micronutriente boro em que o solo originário da “mata” foi o que apresentou maior quantidade deste componente.

Amostras	Análises				
	Cu mg/dm <sup>3</sup>	Zn mg/dm <sup>3</sup>	Mn mg/dm <sup>3</sup>	Fe mg/dm <sup>3</sup>	B mg/dm <sup>3</sup>
Mata	8,5	2,1	64,7	10	0,88
Plantação	8,2	2,4	63,1	10	0,42

**Tabela 4 - Resultado de análise de micronutrientes Cu, Zn, Mn, Fé, e B**

O solo é o meio natural para o crescimento e desenvolvimento dos vegetais na superfície da Terra, sendo composto de materiais minerais e orgânicos. Para o solo ser considerado fértil ele deve fornecer quantidades suficientes e balanceadas de todos os nutrientes essenciais às plantas, em formas assimiláveis (MELLO et al., 1983).

A análise química dos componentes de Cu, Zn, Mn, Fe e B é muito importante para a caracterização da fertilidade dos solos (AGUIAR, 1998). O cobre participa no

transporte de energia utilizado para a fotossíntese, o zinco está presente em várias enzimas responsáveis pela síntese de aminoácidos, o manganês auxilia no metabolismo das plantas, o ferro está relacionado com os processos de oxidação e redução e das enzimas responsáveis pela síntese da clorofila e o boro é importante para os processos de divisão e alongamento celular (<http://www.cdlestancia.com.br/noticia.php?id=569>).

Segundo MARTINEZ et al (1999), se um solo for utilizado para a cultura de milho, a concentração de boro adequada deve estar entre 4 e 20 mg/dm<sup>3</sup> e para o micronutriente ferro entre 20 e 250 mg/dm<sup>3</sup>. Os resultados deste estudo mostram que as concentrações destes micronutrientes estão abaixo destes valores e, portanto, é necessária a suplementação de boro e ferro antes da utilização deste solo para o plantio de milho.

A Tabela 5 apresenta os resultados de K, Ca, Mg, H + Al, Al (Tr), base e a capacidade de troca de cátions (CTC)

A análise dos resultados mostra que os valores encontrados para K, Ca, Mg, H + Al, base e CTC foram menores para a amostra “plantação” do que os determinados para a amostra originária da “mata”.

amostra	Análises Mmol/dm <sup>3</sup>						
	K	Ca	Mg	H+Al	Al (Tr.)	Base	CTC
Mata	4,8	102	30	18	0	136,8	154,8
plantação	4,2	47	18	26	0	69,2	95,2

**Tabela 5 - Resultados das análises de K, Ca, Mg, H + Al, base, CTC nas amostras de solo “mata” e “plantação”**

A Tabela 6 apresenta os resultados de P, Al, S, matéria orgânica, pH e base.

Os resultados obtidos mostram que as concentrações de fósforo e matéria orgânica são maiores para o solo originado da “plantação” do que o da “mata” e o pH e a concentração de S menores para o solo plantação em comparação com a amostra de solo da mata.

Amostra	Análises					S mg/dm <sup>3</sup>
	P (Res) mg/dm <sup>3</sup>	M.O g/dm <sup>3</sup>	pH	Saturação		
				Base V%	Al m%	
Mata	19	49	6,6	88,4	0,0	14
Plantação	62	62	5,9	72,7	0,0	5

**Tabela 6 - Resultados das análises de P (Res), matéria orgânica, pH, base, Al e S, nas amostras de solo “mata” e “plantação”**

A matéria orgânica ajuda na cor do solo, formação de agregados, aumento da capacidade de retenção da água, aumento da CTC e CTA, disponibilização de macro e micronutrientes, controle do pH do solo, entre outros (<http://www.cdlestancia.com.br/noticia.php?id=569>).

O fósforo está presente nas moléculas de energia (ATP, NADH, NADHP), ácidos nucleicos, fosfolípidios, açúcares fosfatados (<http://www.cdlestancia.com.br/noticia.php?id=569>).

O pH tem grande influência na disponibilidade de íons, o potássio tem atuação em processos vitais ao metabolismo celular, o cálcio participa como componente estrutural da lamela média de paredes celulares formando sais com pectina: pectato de cálcio, o que confere propriedades cimentantes à lamela média, o magnésio presente na molécula da clorofila e na ativação de enzimas, o H<sup>+</sup>Al e o Al na maioria das vezes são responsáveis pela alteração do pH no solo, o CTC é a capacidade de troca de cátions do solo, o enxofre participa da estrutura dos aminoácidos cisteína, cistina e metionina. Está presente também na estrutura da vitamina B<sub>1</sub> (tiamina) e na

biotina, bem como na glutatona (tripeptídeo) (<http://www.cdlestancia.com.br/noticia.php?id=569>).

## 5 Conclusões

A ferramenta mais utilizada para a avaliação da qualidade do solo tem sido a análise química sendo possível avaliar o atual estado de qualidade do solo por meio de comparações com os valores considerados ideais ou com valores encontrados no solo sob estado natural.

Ao se comparar a composição do solo originário da “mata” e da “plantação”, constatou-se que existem diferenças em relação a alguns atributos. O solo proveniente da “plantação” apresentou maior quantidade de matéria orgânica que o solo da mata e, portanto está apto para o plantio de determinadas culturas, necessitando apenas de pequenas correções de alguns nutrientes.

## 6 REFERÊNCIAS

**A importância dos nutrientes minerais para as plantas.** Disponível em: <<http://www.cdlestancia.com.br/noticia.php?id=569>>. Acesso em: 27/09/2010.

Aguiar, A. P. A. **Manejo da fertilidade do solo sob pastagem, calagem e adubação.** Guaíba: Agropecuária, 1998.

ALLISON, L.E.; BOLLEN, W.B. & MOODI E, C.D. Total carbon. In: BLACK, C.A. et alii, ed. Methods of soil analysis. **Madison, American Society of Agronomy**, 1965. v. 2, p.1346—1366.

ARAUJO, Alderi Emilio. **Cultivo do Algodão Irrigado.** Disponível em<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoIrrigado/solos.htm>>. Acesso em: 05/06/2010.

BORRGAARD, O. K. **Future of soil science.** Disponível em: <<http://www.iuss.org/2006%20-%20Future%20of%20Soil%20Science.pdf>>. Acesso em: 02/05/2010.

CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. & DECHEN, A.R. Efeitos do pH e da incubação na extração do manganês, zinco, cobre e ferro do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, n.6,1982, 83-88.

COELHO, Antonio Marcos; FRANÇA, Gonçalo Evangelista; PITTA, Gilson V. Exel; ALVES, Vera M. Carvalho. **Diagnose Foliar.** Embrapa. Disponível em <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho/ferdiagnose.htm>>. Acesso em: 24/11/2010.

FONSECA, Krukemberghe. **Húmus.** Universidade Federal de Uberlândia. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/biologia/humus.htm>>. Acesso em: 15/10/2010.

GIRACCA, Ecila Maria Nunes; NUNES, José Luis da Silva. **Fósforo (P).** Disponível em: <[http://www.agrolink.com.br/fertilizantes/nutrientes\\_fosforo.aspx](http://www.agrolink.com.br/fertilizantes/nutrientes_fosforo.aspx)>. Acesso em: 15/10/2010.

Isadora, Maria. **O Solo.** Disponível em <<http://amociencia.blogspot.com/2007/06/saiba-tudo-sobre-solo.html>>. Acesso em: 02/05/2010

KORNDÖRFER, Gaspar H.. **Potássio na Planta**. Universidade Federal de Uberlândia. Disponível em: <<http://www.scribd.com/doc/7175923/apostila-potassio>>. Acesso em: 15/10/2010.

LE SOL: epiderme vivant de la terre. Publicação conjunta de IUGS/ISRIC/UNESCO. Disponível em: <<http://www.iuss.org/Soil%20brochure%20-%20French.pdf>> Acesso em: 18/04/2010.

LEITE, Ricardo Augustos. **Solos**. Disponível em <<http://campus.fortunecity.com/yale/757/solos.htm>>. Acesso em: 11/04/2010.

Mello, F. A. F.; et al. **Fertilidade do solo**. São Paulo: Nobel, 1983.

**Os componentes inorgânicos do solo**. Disponível em: <[http://www.uenf.br/uenf/centros/cct/qambiental/so\\_compinorg.html](http://www.uenf.br/uenf/centros/cct/qambiental/so_compinorg.html)>. Acesso em: 08/03/2010.

PÉREZ, D. V. **A ciência do solo como uma das chaves para entender o ambiente global**. 1997. 39 p. Monografia (Pós-Graduação Lato Sensu) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

RAIJ, Bernardo Van; DE ANDRADE, João Carlos; CANTARELLA, Heitor; QUAGGIO, José Aantônio. **Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais**. Edição nº1. Campinas (SC). 2001.

SALEMI, Luis Felipe. **O solo respira**. Disponível em<<http://www.webartigos.com/articles/22200/1/O-solo-respira/pagina1.html#ixzz0u9IA4vQt>>. Acesso em: 18/04/2010.

SANTOS, Angélica Freitas. **Matéria orgânica no solo**. 2001. Disponível em <[http://www.uenf.br/uenf/centros/cct/qambiental/so\\_comporg.html](http://www.uenf.br/uenf/centros/cct/qambiental/so_comporg.html)>. Acesso em: 02/05/2010.

SILVA, Daniela Bendana. **Comparação entre solo *in natura* e adubado com composto orgânico do Horto Medicinal da UNIPAR**. In: XVI ENCONTRO DE QUIMICA DA REGIÃO SUL, 16, 2008, Blumenau SC, Brasil.

**Solos**. Disponível em <<http://www.fazfacil.com.br/jardim/solos.html>>. Acesso em: 18/04/2010.

WALKLEY, A. & BLACK, J.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, n.37, 1934, p.29—38.

## 7 Anexos

Determinação do pH em cloreto de cálcio.

### DETERMINAÇÃO DO pH EM CLORETO DE CÁLCIO

#### Aparelhos e material

1. Cachimbo para medidas de 10 cm<sup>3</sup> de terra.
2. Diluidor triplo de 25 mL
3. Medidor de pH provido de eletrodo combinado de vidro e de referência.
4. Mesa agitadora ou agitador de pH.
5. Bandejas de isopor com 10 frascos plásticos cônicos com tampa ou frascos plásticos utilizados para café.

#### Soluções

1. Soluções-tampão para pH 4,0 e 7,0.
2. Solução de cloreto de cálcio 0,01 mol L<sup>-1</sup>. Dissolver 1,47 g de CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O em água destilada, diluindo a 1 litro de solução. O pH dessa solução deve estar entre 5,0 e 5,5. Se não estiver, deve ser ajustado com HCl ou Ca(OH)<sub>2</sub>.

### Procedimento analítico

1. Transferir, com cachimbo, 10 cm<sup>3</sup> de terra para frasco plástico.
2. Adicionar 25 mL da solução de CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>, deixando 15 minutos em contato.
3. Agitar a suspensão por 10 minutos a 220 rpm, usando agitador com movimento circular horizontal ou agitador de pH. Deixar decantar por 30 minutos.
4. Ajustar o medidor de pH com as soluções-tampão de pH 4,0 e 7,0 e, freqüentemente, com uma dessas soluções, após a determinação de uma série de amostras.
5. Sem agitar, mergulhar o eletrodo combinado na suspensão, de modo que a ponta do eletrodo de vidro toque ligeiramente a camada de sedimento e a saída do eletrodo de referência fique submersa. Ler o pH após estabelecido o equilíbrio.
  - *O eletrodo deve ser lavado com água e enxugado com papel absorvente, após cada determinação. Isso é especialmente importante quando se passa para uma suspensão de pH muito diferente, ou de solução-tampão para suspensão de solo. Para valores de pH elevados, o equilíbrio leva algumas dezenas de segundos para ser obtido. Movimentos do eletrodo ajudam a estabelecer o equilíbrio, embora não se recomende agitar a suspensão.*

## Método extrator com resina para Ca, Mg e K

### PREPARO DOS EXTRATOS

#### Aparelhos e material

1. Mesa agitadora com movimento circular-horizontal, com rotação mínima de 220 rpm, e bandejas de alumínio para três unidades de bandejas de isopor com 10 frascos.

- *Podem ser utilizados outros tipos de agitadores. O importante é que haja um revolvimento contínuo da suspensão de terra e argila durante a agitação.*

2. Bandejas de isopor para 10 frascos plásticos cônicos truncados de 80 mL, com tampa.

3. Bandejas de isopor para 10 frascos plásticos cilíndricos de 100 mL com tampa.

4. Dispensador para volumes de 25 mL.

5. Aparelho separador de resina, apresentando um conjunto de 10 peneiras com malha de abertura de 0,4 mm, usado para a separação da resina do solo.

6. Painel de recuperação de resina.

7. Cachimbo para medidas de  $2,5 \text{ cm}^3$  de terra.
8. Cachimbo para medidas de  $2,5 \text{ cm}^3$  de resina, com fundo de malha de poliéster.
9. Pipetas volumétricas, balões volumétricos e provetas, para o preparo das soluções-padrão e medidas de soluções e resina.
10. Bolinhas de vidro com cerca de 2 cm de diâmetro.

### Reagentes e soluções

1. Resina trocadora de ânions tipo base forte, com granulometria de 20–50 mesh, com remoção das partículas menores do que 0,5 mm antes do umedecimento. Amberlite IRA-400 ou similar.
2. Resina trocadora de cátions tipo ácido forte, com granulometria de 20–50 mesh, com remoção das partículas menores do que 0,5 mm antes do umedecimento. Amberlite IR-120 ou similar.
3. Água destilada e desionizada.
  - *Empregá-la em todas as operações envolvendo preparo de soluções, recuperação de resina e lavagem final de vidraria. Somente na sua falta usar água destilada de boa qualidade.*
4. **Solução de ácido clorídrico  $1 \text{ mol L}^{-1}$ .** Transferir 83 mL de HCl p.a. para um balão de 1 L e diluir até a marca.
5. **Solução de hidróxido de sódio  $1 \text{ mol L}^{-1}$ .** Pesar 40 g de NaOH p.a., dissolver em água e completar o volume a 1 L.
  - *Efetuar a pesagem rapidamente, para evitar a absorção de  $\text{CO}_2$  e de umidade pelas pastilhas de NaOH.*
6. **Solução de cloreto de amônio  $1 \text{ mol L}^{-1}$ .** Dissolver 53,5 g de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  p.a. em água, completando o volume para 1 L.
7. **Solução de bicarbonato de sódio  $1 \text{ mol L}^{-1}$ .** Dissolver 84 g de  $\text{NaHCO}_3$  p.a. em água, completando o volume para 1 L. Medir o pH da solução e ajustá-lo a 8,5 com soluções de NaOH  $200 \text{ g L}^{-1}$  ou HCl (1+1) v/v.
  - *Essa solução deve ser preparada no dia em que for usada. O recipiente em que estiver contida não deve ficar aberto.*
8. **Solução de cloreto de amônio  $0,8 \text{ mol L}^{-1}$  em HCl  $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ .** Dissolver 42,8 g de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  p.a. em água, acrescentar 16,6 mL de HCl concentrado p.a. e completar o volume a 1 L.

## Preparação e manutenção da mistura de resinas trocadoras de íons

### 1. Pré-condicionamento

Passar as resinas aniônica e catiônica em peneira com abertura de malha de 0,5 mm, descartando as partículas finas que passarem pelas malhas. Misturar partes iguais, em volume, das resinas retidas na peneira e adicionar pelo menos o dobro em volume de água. Para cada 1.000 mL da mistura de resinas, preparar uma solução contendo, aproximadamente, 5 g de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 4 g de  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  e 2 g de  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , dissolvendo separadamente estes sais no menor volume de água possível e adicionando uma solução de cada vez à resina, com agitação. Juntar 10 mL de HCl  $1 \text{ mol L}^{-1}$  e colocar a solução obtida em contato com a mistura de resinas durante duas semanas, agitando ocasionalmente.

- *Uma das funções do pré-condicionamento é a expansão das resinas, que ocorre em soluções de eletrólitos. Além disso, resinas trocadoras de íons, usadas sem pré-condicionamento, tendem a fornecer resultados não reprodutíveis (HELFFERICH, 1962). O procedimento descrito permite saturar os sítios internos das resinas que podem reter íons de maneira irreversível. Uma vez colocadas em solução, as resinas nunca mais podem ser secas.*

Para eliminar a maior parte dos sais, com o auxílio de um béquer, lavar a mistura de resinas cinco vezes com água. Entre uma lavagem e outra, deixar a mistura de resinas decantar e descartar o líquido sobrenadante, e também os fragmentos de resina que não decantem com facilidade.

Transferir a resina para uma coluna de percolação, correspondente ao tubo maior do painel de recuperação. Através de regulagem da saída da fase líquida, eluir lentamente com as soluções descritas a seguir, de forma a deixar sempre uma camada de líquido sobre as resinas.

Para cada volume da mistura de resinas, passar em seqüência 5 volumes de água, 5 volumes de NaOH  $1 \text{ mol L}^{-1}$ , 5 volumes de água e 5 volumes de HCl  $1 \text{ mol L}^{-1}$ . Em seguida, passar 10 volumes de  $\text{NH}_4\text{Cl}$   $1 \text{ mol L}^{-1}$  e 1 volume de água.

- *A lavagem da resina deve ser feita de forma lenta, pois a transferência de íons através das esferas de resina ocorre por difusão, processo que requer tempo.*

## 2. Tratamento da resina para uso

Com o auxílio de uma proveta, medir uma quantidade da mistura de resinas suficiente para o uso diário, tomando cuidado para evitar a segregação das resinas aniônica e catiônica. Para cada volume de resina, preparar 5 volumes de  $\text{NaHCO}_3$  1 mol  $\text{L}^{-1}$  em pH 8,5. Colocar a mistura de resinas em um béquer e acrescentar cerca de um terço do volume da solução de  $\text{NaHCO}_3$ , deixando em contato por pelo menos 1 hora, agitando ocasionalmente com bastão de vidro. Em seguida, transferir a resina para coluna de eluição, a menor do painel de recuperação, e promover a passagem do restante da solução de  $\text{NaHCO}_3$  1 mol  $\text{L}^{-1}$ , o que deve ser feito em algumas horas. Em seguida, passar lentamente 20 volumes de água.

- *A resina deve ser usada imediatamente. É conveniente iniciar o preparo da resina na véspera (ou na sexta-feira, antes do fim de semana), para que o tratamento com bicarbonato de sódio possa ser feito com o devido tempo. Iniciar a lavagem com água no fim da tarde, regulando a vazão para que ela se prolongue durante a noite e concluindo-a na manhã seguinte.*

## 3. Recuperação da resina

Recolher a resina utilizada em um béquer. Lavar 5 vezes com água, descartando o líquido sobrenadante, inclusive os detritos orgânicos de solos e os fragmentos de resina. Transferir a resina usada de um béquer para outro, com auxílio de um jato de água, de forma que a areia permaneça na parte inferior do primeiro béquer. Acumular a resina durante vários dias para a realização da fase de recuperação apenas uma vez por semana. Medir o volume da resina a ser recuperada com uma proveta, transferindo para a coluna de eluição (a maior do painel de recuperação de resina). Percolar com 10 volumes de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  1 mol  $\text{L}^{-1}$  e, em seguida, com 1 volume de água. A resina, assim tratada, deve ser acondicionada em um frasco rotulado, com a designação de “resina recuperada”. Ela está pronta para ser submetida ao tratamento para uso (ver item 2).

- *Após uso prolongado, é conveniente tratar a resina com 5 volumes de  $\text{NaOH}$  1 mol  $\text{L}^{-1}$ , antes do tratamento com cloreto de amônio, para eliminar matéria orgânica. Realizar o tratamento rapidamente com a soda, agitando esporadicamente com bastão e, após cerca de 1 hora, lavar com 5 volumes de água, 5 volumes de  $\text{HCl}$  mol  $\text{L}^{-1}$  e 5 volumes de água. Em seguida, realizar o tratamento descrito no parágrafo anterior.*

### **Extração do solo com mistura de resinas trocadoras de íons**

1. Transferir 2,5 cm<sup>3</sup> de terra para um frasco plástico cônico truncado de 80 mL.
2. Acrescentar 25 ml de água e uma bolinha de vidro.
3. Tampar o frasco e agitar durante 15 minutos para promover a desagregação do solo.
4. Retirar a bolinha de vidro e adicionar 2,5 cm<sup>3</sup> de resina, medida com o cachimbo provido de fundo de malha de poliéster.
5. Fechar o frasco e agitar durante 16 horas, em agitador com movimento circular-horizontal, a uma velocidade de 220 rpm, de preferência aproveitando o período noturno.
  - *Na agitação é importante que a suspensão esteja em constante revolvimento, para acelerar a transferência dos elementos químicos do solo para a resina. O processo de transferência*

• *Os equipamentos de absorção atômica podem permitir a determinação de potássio por fotometria de emissão em chama, mas recomenda-se não utilizar este procedimento por causa da temperatura mais elevada da chama.*

2. Fotômetro de chama.
3. Pipetador para volumes de 1 mL.
4. Dispensador para volumes de 10 mL.
5. Bandejas com vários conjuntos de 10 frascos de vidro, com capacidade para 25 mL.

### Reagentes e soluções

**1. Solução-estoque de lantânio, com 100 g L<sup>-1</sup> de La.** Pesar 117 g de La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e transferir para um balão volumétrico de 1 L. Umedecer o óxido com água e juntar, aos poucos, 500 mL de HCl concentrado. Resfriar, completar o volume para 1 L com água e homogeneizar.

**2. Solução de trabalho com 1 g L<sup>-1</sup> de La.** Transferir 10 mL da solução estoque de La para um balão volumétrico de 1 L e diluir até a marca, com água.

### Determinação de cálcio e magnésio

1. Com o pipetador, retirar 1 mL dos extratos de NH<sub>4</sub>Cl 0,8 mol L<sup>-1</sup> em 0,2 mol L<sup>-1</sup> de HCl, transferindo para frascos de vidro, de 25 mL. Acrescentar 10 mL da solução contendo 1 g L<sup>-1</sup> de La e homogeneizar.

2. Proceder da mesma forma para as soluções-padrão de trabalho, identificadas por A, B, C, D, E e F, após a agitação com resina.

3. Realizar as leituras no espectrofotômetro de absorção atômica, seguindo as orientações do manual de instruções. Acertar o zero do aparelho com a solução A da curva de calibração.

• *É conveniente resumir as instruções de uso do aparelho, para as leituras de rotina.*

### Determinação de potássio

1. Ler diretamente em um fotômetro de chama as soluções-padrão de trabalho e os extratos de resina obtidos com a solução 0,8 mol L<sup>-1</sup> de NH<sub>4</sub>Cl em HCl 1 mol L<sup>-1</sup>.

- Seguir as instruções constantes do manual do aparelho, acertando o zero com a solução de trabalho A e leitura de 80 com a solução de trabalho F.
- As leituras também podem ser feitas diretamente no espectrofotômetro de absorção atômica, utilizando os extratos preparados para cálcio e magnésio, mas esse procedimento não é o preferido, por ser a temperatura da chama mais elevada.

## DETERMINAÇÃO ESPECTROFOTOMÉTRICA DE FÓSFORO

### Aparelhos e material

1. Fotocolorímetro ou espectrofotômetro capaz de operar em 720 ou 885 nm.
2. Diluidor para uso na proporção de 4 mL de extrato para 16 mL de diluente.
3. Bandeja com conjuntos de 10 frascos de vidro, com volumes de 25 mL e tampas.

### Reagentes e soluções

**1. Solução-estoque de molibdato.** Dissolver 20 g de molibdato de amônio,  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , em 200 mL de água a 60-70 °C e resfriar a solução. Em seguida, dissolver 2,73 g de tartarato de antimônio e potássio na solução de molibdato. Adicionar lentamente 230 mL de ácido sulfúrico concentrado ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) p.a., resfriando sob água corrente. Transferir para um balão volumétrico de 1 L e completar o volume com água, até a marca.

- Essa solução pode apresentar-se azulada inicialmente, mas ficará incolor ao ser diluída.

**2. Solução diluída de molibdato.** Transferir 50 mL da solução-estoque de molibdato para um balão volumétrico de 1 L e adicionar cerca de 500 mL de água. Dissolver, à parte, em um béquer com cerca de 100 mL de água quente (60-70 °C), 0,6 g de gelatina p.a., transferindo esta solução para o balão volumétrico. Homogeneizar. Acrescentar 5 g de ácido ascórbico previamente dissolvido em água. Completar o volume e homogeneizar.

- Essa solução deve ser preparada no dia de uso.

### Determinação de fósforo

1. Diluir 4 mL do extrato das resinas obtido com a solução de  $\text{NH}_4\text{Cl}$   $0,8 \text{ mol L}^{-1}$  em  $\text{HCl}$   $0,2 \text{ mol L}^{-1}$  com 16 mL da solução diluída de molibdato, com o auxílio do diluidor.

2. Proceder da mesma maneira para as soluções-padrão de trabalho contendo resina.

3. Após 15 minutos, realizar as leituras, no comprimento de onda de 720 nm ou de 885 nm.

- *A cor é estável por várias horas.*

### CÁLCULOS

A relação entre concentração e leitura, para os quatro elementos, deve ser linear, permitindo o cálculo através de fatores. As correspondências para os padrões, em resultados finais nos solos, são os seguintes:

Solução-padrão	Ca	Mg	K	P
	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			mg dm <sup>-3</sup>
A	0	0	0	0
B	20	4	1,2	16
C	40	8	2,4	32
D	60	12	3,6	48
E	80	16	4,8	64
F	100	20	6,0	80

Métodos colorimétricos para matéria orgânica.

## MÉTODO COLORIMÉTRICO

### Aparelhos e material

1. Cachimbo para medidas de 1 cm<sup>3</sup> de terra.
2. Dispensador para 10 mL de solução.
3. Mesa agitadora, com movimento circular horizontal.
4. Bandejas de alumínio, para três bandejas de isopor com dez frascos.
5. Fotocolorímetro ou espectrofotômetro.

### Soluções e amostras para a curva-padrão

1. **Solução contendo 0,667 mol L<sup>-1</sup> de dicromato de sódio e 5 mol L<sup>-1</sup> de ácido sulfúrico.** Dissolver 200 g de Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>·2H<sub>2</sub>O comercial em cerca de 600 mL de água destilada. Adicionar, lentamente e com resfriamento, 280 mL de ácido sulfúrico comercial concentrado. Após resfriar, completar o volume a 1 L e homogeneizar.

2. **Amostras de solo para curva-padrão.** Escolher um conjunto de 12 a 15 amostras de solos que contenham teores de matéria orgânica com ampla variação de valores, bem distribuídos na faixa de teores de

maior interesse prático, em geral entre zero e  $200 \text{ g dm}^{-3}$ . Essas amostras são analisadas pelo método volumétrico, descrito anteriormente, e os valores obtidos de matéria orgânica, utilizados para a calibração do método colorimétrico.

### Procedimento analítico

1. Transferir  $1 \text{ cm}^3$  de terra para frasco cilíndrico de 100 mL. Realizar uma prova em branco completa, sem terra.

2. Adicionar, com dispensador, 10 mL da solução de  $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  em ácido sulfúrico.

3. Agitar durante 10 minutos, em agitador com movimento circular-horizantal, com velocidade mínima de 180 rpm.

Após um repouso de uma hora, adicionar 50 mL de água, usando dispensador, com um jato forte para promover a mistura das soluções. Deixar decantar durante a noite.

5. No dia seguinte, transferir o líquido sobrenadante para a cela de medida do espectrofotômetro ou colorímetro, com filtro de transmissão máxima de 650 nm. Acertar o zero do aparelho com a prova em branco completa.

6. Calcular os resultados a partir da curva-padrão, preparada com solos analisados pelo método volumétrico.

7. Calibrar o método colorimétrico em relação aos resultados do método volumétrico, conforme descrito a seguir.

### Calibração do método colorimétrico

1. Analisar, pelo método colorimétrico, o conjunto de amostras selecionadas, com ampla variação no teor de matéria orgânica.

2. Colocar em gráfico os valores de transmitância ou de absorvância contra os teores de matéria orgânica previamente determinados pelo método volumétrico. A curva-padrão deve ser traçada por um modelo matemático que melhor se ajuste aos resultados obtidos pelas leituras colorimétricas e os teores estabelecidos pelo método de referência.

• *A curva-padrão não precisa ser refeita com muita frequência, desde que as condições do espectrofotômetro ou colorímetro não mudem e os resultados sejam verificados diariamente, através de amostras-controle.*

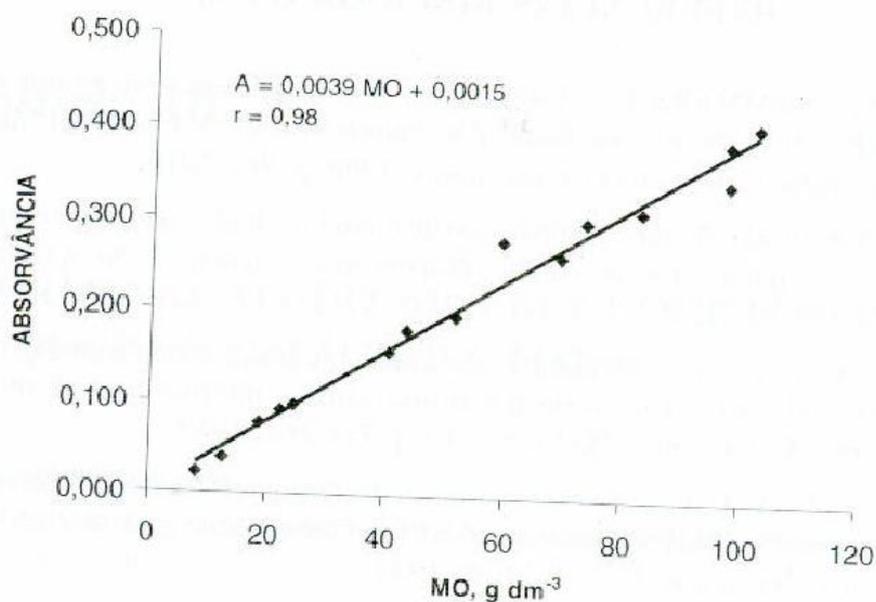


Figura 9.1. Calibração do método colorimétrico com base em amostras de solo com teores de matéria orgânica determinados pelo método de titulação.

No exemplo, a equação ajustada da figura 9.1 pode ser refeita para permitir o cálculo do teor de matéria orgânica a partir dos valores de absorvância:

$$A = 0,0039 \text{ MO} + 0,0015$$

$$\text{MO} = 256,4 A - 0,385$$

Quando as leituras forem realizadas em (%T), uma escala de leitura 0 a 100, muito conveniente para colorímetros manuais, o teor de matéria orgânica deve ser calculado considerando que:

$$A = -\log (\%T/100)$$

assim:

$$\text{MO} = -256,4 \log \%T + 512,4$$

As equações matemáticas devem ser empregadas para construir tabelas de conversão de resultados de leitura dos aparelhos em teor de matéria orgânica, quando não houver programa de computador para convertê-los automaticamente.

Métodos extratores DTPA em pH 7,3 para Zn, Fe, Cu, Mn

## **PREPARO DAS AMOSTRAS**

### **Aparelhos e material**

1. Cachimbos de PVC com 10 cm<sup>3</sup> de capacidade.
2. Conjunto de frascos cônicos de polietileno com capacidade de 115 mL (altura de 8 cm e diâmetro de 4,5 cm), e tampa plástica, colocados em bandeja de isopor postas em suporte de alumínio.

3. Dispensador com capacidade de 10 mL ou 20 mL.
4. Mesa agitadora com movimento circular-horizontal, com rotação mínima de 220 rpm e bandejas de alumínio para três unidades de bandejas de isopor com 10 frascos.
  - *Podem-se utilizar outros tipos de agitadores. O importante é que haja um revolvimento contínuo da suspensão de terra durante a agitação.*
  - *Mudanças no tipo de frasco e agitador deverão ser testadas previamente.*
5. Papel de filtro, faixa azul, filtragem lenta.
6. Medidor de pH, de preferência, com duas casas decimais.
7. Pipetas volumétricas, balões volumétricos, béqueres e provetas, para preparo das soluções.
  - *A vidraria deverá ser lavada com detergente e em seguida com uma solução diluída de HCl ou mesmo ser deixada em solução de HNO<sub>3</sub> ou HCl 10% v/v de um dia para outro.*

## Soluções

**1. Solução extratora DTPA - ácido dietilenotriaminopentaacético (DTPA 0,005 mol L<sup>-1</sup>) + trietanolamina (TEA 0,1 mol L<sup>-1</sup>) + cloreto de cálcio (CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O 0,01 mol L<sup>-1</sup>), a pH 7,30.** Adicionar em um béquer aproximadamente 200 mL de água deionizada, 1,96 g de DTPA e 14,9 mL de trietanolamina; agitar bem para dissolução. Em seguida, adicionar 1,47 g de CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O. Transferir para balão volumétrico de 1 L e completar o volume com água deionizada. Corrigir o pH para 7,30 ± 0,05 com ácido clorídrico 4 mol L<sup>-1</sup>.

- *O reagente DTPA é o ácido dietilenotriaminopentaacético (C<sub>14</sub>H<sub>23</sub>N<sub>3</sub>O<sub>10</sub>) com massa molar de 393,3 g mol<sup>-1</sup>; a marca Merck apresenta o nome Titriplex V.*

**2. Solução de ácido clorídrico 4 mol L<sup>-1</sup>.** Adicionar vagarosa e cuidadosamente 33 mL de HCl concentrado (d = 1,19 g L<sup>-1</sup>) em cerca de 50 mL de água deionizada. Completar o volume para 100 mL.

### Preparo dos extratos

1. Cachimbar 20 cm<sup>3</sup> de solo em frascos cônicos de polietileno.
2. Adicionar 40 mL da solução extratora de DTPA.
3. Tampar os frascos e agitar por 2 horas a 220 rpm.
4. Filtrar a suspensão imediatamente.

- *A suspensão poderá ser deixada filtrando durante a noite porque o processo é lento.*
- *Recomenda-se que qualquer modificação introduzida no método seja previamente comparada com os resultados obtidos usando o método aqui descrito.*

**ATENÇÃO:** Para a determinação por ICP-AES, as quantidades de solo e solução extratora de DTPA podem ser reduzidas pela metade. Portanto, pode-se utilizar 10 cm<sup>3</sup> de solo e 20 mL de solução de DTPA.

### DETERMINAÇÃO POR ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA EM CHAMA (AAS)

#### Soluções

**1. Soluções-padrão estoque de 1.000 mg L<sup>-1</sup> para cada elemento.** Pode ser preparada a partir de padrão do elemento dissolvido (Titrisol-Merck, Diluit-JT Baker ou similar) ou a partir dos metais puros ou dos seus sais ou óxidos. Outras informações sobre o preparo dessas soluções estão no Capítulo 3.

**2. Solução-padrão intermediária (I).** Transferir 2,0 mL da solução estoque de Cu (1.000 mg L<sup>-1</sup>), 4,0 mL da solução-estoque de Fe (1000 mg L<sup>-1</sup>), 1,0 mL da solução estoque Mn (1.000 mg L<sup>-1</sup>) e 1,0 mL da solução-estoque de Zn (1000 mg L<sup>-1</sup>), para um balão de 100 mL e completar o volume com a solução extratora de DTPA. Esta solução conterà 20, 40, 10 e 10 mg L<sup>-1</sup> de Cu, Fe, Mn e Zn respectivamente.

- *As concentrações das soluções de trabalho sugeridas deverão ser ajustadas para cada elemento, de acordo com o manual de instruções do espectrofotômetro de absorção atômica utilizado.*

Se houver interesse em determinar os elementos Cd, Cr, Ni e Pb deve-se, antes de completar o volume, acrescentar as seguintes quantidades: 0,5 mL da solução-estoque de Cd (1.000 mg L<sup>-1</sup>); 1,0 mL da solução estoque de Cr

Tabela 16.1. Volumes empregados da solução intermediária (I) para o preparo de 100 mL das soluções-padrão de trabalho utilizadas para a calibração do espectrofotômetro de absorção atômica, e as concentrações nas soluções-padrão e correspondentes no solo

Solução de trabalho	Volume solução	Concentração nas soluções-padrão de trabalho							
		Cu	Fe	Mn	Zn	Cd	Cr	Ni	Pb
	mL	mg L <sup>-1</sup>							
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	5,00	1,00	2,00	0,50	0,50	0,25	0,50	0,50	1,00
3	10,00	2,00	4,00	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	2,00
4	20,00	4,00	8,00	2,00	2,00	1,00	2,00	2,00	4,00
5	25,00	5,00	10,00	2,50	2,50	1,75	2,50	2,50	5,00

Solução de trabalho	Volume solução	Concentração no solo							
		Cu	Fe	Mn	Zn	Cd	Cr	Ni	Pb
	mL	mg dm <sup>-3</sup>							
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	5,00	2,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	2,00
3	10,00	4,00	8,00	2,00	2,00	1,00	2,00	2,00	4,00
4	20,00	8,00	16,00	4,00	4,00	2,00	4,00	4,00	8,00
5	25,00	10,00	20,00	5,00	5,00	2,50	5,00	5,00	10,00

(1.000 mg L<sup>-1</sup>); 1,0 mL da solução-estoque de Ni (1.000 mg L<sup>-1</sup>); 2,0 mL da solução-estoque de Pb (1.000 mg L<sup>-1</sup>) e completar o volume para 1 L. A solução conterá: 5, 10, 10 e 20 mg L<sup>-1</sup> de Cd, Cr, Ni e Pb respectivamente.

**3. Solução-padrão de trabalho.** Transferir os volumes da solução-padrão intermediária (I) indicados na Tabela 16.1, para balões de 100 mL e completar o volume com a solução extratora de DTPA.

### PROCEDIMENTO PARA A DETERMINAÇÃO POR AAS

1. Calibrar o espectrômetro de absorção atômica utilizando as soluções-padrão de trabalho. Correlacionar os valores de absorvância com as concentrações equivalentes de cada elemento no solo (Tabela 16.1). Caso o equipamento não seja computadorizado, é conveniente colocar a curva em um gráfico para avaliar se o ajuste dos pontos está satisfatório (Figura 16.1).

2. Ler diretamente no filtrado a concentração dos elementos, dentro de no máximo 24 horas, após a filtração.

- *Algumas amostras podem apresentar valores de concentração acima dos maiores valores da curva de calibração, especialmente para Fe e Mn. Neste caso, é necessário fazer uma diluição quantitativa da amostra utilizando a solução extratora de DTPA como diluente.*

- *Caso haja necessidade de guardar o filtrado, armazená-lo em frascos tampados e em geladeira por, no máximo, 15 dias.*

3. Com os valores de absorvância das amostras, calcular a concentração de cada elemento no solo.

A equação da reta apresentada na figura 16.1 é utilizada para calcular a concentração de cobre no solo a partir das leituras de absorvância das amostras:

$$A = 0,034 C_{Cu} + 0,004$$

em que A é o valor de absorvância e C<sub>Cu</sub> é a concentração do cobre no solo. Assim:

$$C_{Cu} \text{ (no solo, mg dm}^{-3}\text{)} = 29,41A - 0,118$$

Se a curva de calibração for feita a partir da concentração de cobre ou de outro elemento no extrato da amostra, em mg L<sup>-1</sup> (Tabela 16.1), o teor de cobre no solo, em mg dm<sup>-3</sup>, será a concentração no extrato multiplicada por dois, pois são utilizados 20 mL de solução para 10 cm<sup>3</sup> de solo, resultando na relação extrator-solo de 2:1.

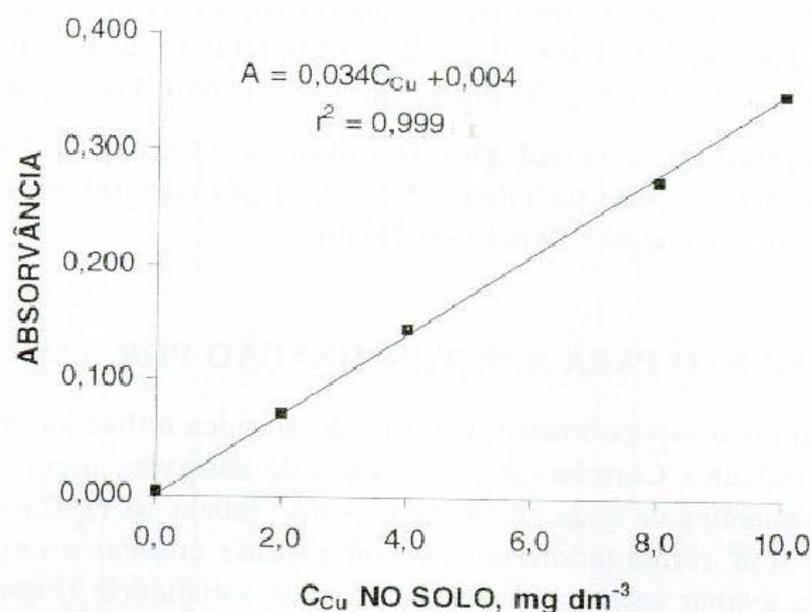


Figura 16.1. Representação gráfica da curva de calibração para a determinação de cobre por espectrofotometria de absorção atômica (marca Perkin Elmer modelo 5100PC) em extrato de DTPA. Nota-se que, a concentração está calculada para o teor no solo, portanto, os resultados das amostras não precisam ser multiplicados por dois.

## DETERMINAÇÃO POR ESPECTROMETRIA DE EMISSÃO ATÔMICA POR PLASMA (ICP-AES)

### Soluções

**1. Soluções-padrão estoque de 1.000  $mg\ L^{-1}$  para cada elemento.** Pode ser preparada a partir de padrão do elemento dissolvido (Titrisol-Merck, Diluit-JT Baker, Carlo Erba ou similar) ou a partir do metal puro ou sais. Maiores informações sobre o preparo dessas soluções estão discutidas no Capítulo 3.

**2. Solução Intermediária (I).** Transferir 10,0 mL da solução-estoque de Fe ( $1.000\ mg\ L^{-1}$ ), 5,0 mL da solução estoque Mn ( $1.000\ mg\ L^{-1}$ ), 1,0 mL da solução estoque de Cu ( $1.000\ mg\ L^{-1}$ ) e 1,0 mL da solução-estoque de Zn ( $1.000\ mg\ L^{-1}$ ) para um balão de 100 mL e completar o volume com a solução extratora de DTPA. Esta solução contém: 100, 50, 10 e 10  $mg\ L^{-1}$  de Fe, Mn, Cu e Zn respectivamente.

Tabela 16.2. Volumes empregados da solução intermediária (I) para o preparo de 100 mL das soluções-padrão de trabalho, utilizadas para a calibração do espectrofotômetro de emissão atômica (ICP-AES) e as concentrações nas soluções-padrão e correspondentes no solo

Solução de trabalho	Volume solução	Concentração nas soluções-padrão de trabalho							
		Cu	Fe	Mn	Zn	Cd	Cr	Ni	Pb
	mL	mg L <sup>-1</sup>							
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	5,00	0,50	5,00	2,00	1,00	0,25	0,25	0,25	0,50
3	10,00	1,00	10,00	5,00	2,00	0,50	0,50	0,50	1,00
4	25,00	2,50	25,00	12,5	5,00	1,75	1,75	1,75	2,50
5	50,00	5,00	50,00	25,00	10,00	2,50	2,50	2,50	5,00

Solução de trabalho	Volume solução	Concentração no solo							
		Cu	Fe	Mn	Zn	Cd	Cr	Ni	Pb
	mL	mg dm <sup>-3</sup>							
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	5,00	1,00	10,00	4,00	2,00	0,50	0,50	0,50	1,00
3	10,00	2,00	20,00	10,00	4,00	1,00	1,00	1,00	2,00
4	25,00	5,00	50,00	25,00	10,00	2,50	2,50	2,50	5,00
5	50,00	10,00	100,00	50,00	20,00	5,00	5,00	5,00	10,00

- *Se desejar determinar os elementos Cd, Cr, Ni e Pb deve-se, antes de completar o volume, acrescentar os seguintes volumes: 0,5 mL da solução-estoque de Cd ( $1.000 \text{ mg L}^{-1}$ ); 0,5 mL da solução-estoque de Cr ( $1.000 \text{ mg L}^{-1}$ ); 0,5 mL da solução-estoque de Ni ( $1.000 \text{ mg L}^{-1}$ ); 1,0 mL da solução-estoque de Pb ( $1.000 \text{ mg L}^{-1}$ ) e completar o volume para 1 L. A solução contém: 5, 5, 5 e  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de Cd, Cr, Ni e Pb respectivamente.*

**3. Solução-padrão de trabalho.** Transferir os volumes da solução intermediária (I), indicados na Tabela 16.2, para balões de 100 mL e completar o volume com a solução extratora de DTPA.

### PROCEDIMENTO PARA A DETERMINAÇÃO POR ICP-AES

1. Ajustar o espectrômetro de ICP utilizando as linhas espectrais dos elementos a serem analisados, Cu: 324,754 nm; Fe: 259,940 nm; Mn: 257,610 nm; Zn: 213,856 nm; Cd: 226,502 nm; Cr: 267,716 nm; Ni: 231,604 nm e Pb: 220,353 nm. Alternativamente, outras linhas espectrais disponíveis podem ser utilizadas, desde que não haja problemas de interferência. As demais condições de operação devem ser otimizadas dependendo do tipo e marca do equipamento. Consulte o manual de operação do seu equipamento para maiores detalhes

- *A parte óptica do espectrofotômetro de emissão atômica por plasma deve ser mantida sob vácuo ou estar sob fluxo de gás inerte (geralmente nitrogênio).*
- *Dar preferência para nebulizadores que suportem alto teor salino e soluções viscosas, a fim de evitar problemas de entupimentos.*

2. Usar corretor de fundo, de acordo com as instruções operacionais do equipamento.

3. Calibrar o aparelho utilizando as soluções-padrão de trabalho e as concentrações equivalentes no solo. Normalmente, os espectrômetros de emissão em plasma calculam a regressão da curva de calibração. A figura 16.2 apresenta um exemplo da determinação de Cu por ICP-AES.

4. Determinar a concentração de cada elemento diretamente no filtrado, dentro de 24 horas no máximo.

- *Caso haja necessidade de guardar o filtrado, armazená-lo em frascos tampados e em geladeira.*

- *Recomenda-se testar previamente qualquer modificação introduzida no método, comparando os resultados com o método aqui descrito.*

O cálculo empregado para a relação entre a concentração no extrato e no solo é o mesmo descrito anteriormente no método por espectrofotometria de absorção atômica.

As condições operacionais utilizadas para a construção da curva apresentada na figura 16.2 foram as seguintes: frequência de 40,68 MHz, potência de 1000 W, vazão de argônio de 12 L min<sup>-1</sup> para a alimentação do plasma e nebulizador do tipo fluxo cruzado (*crossed-flow*).

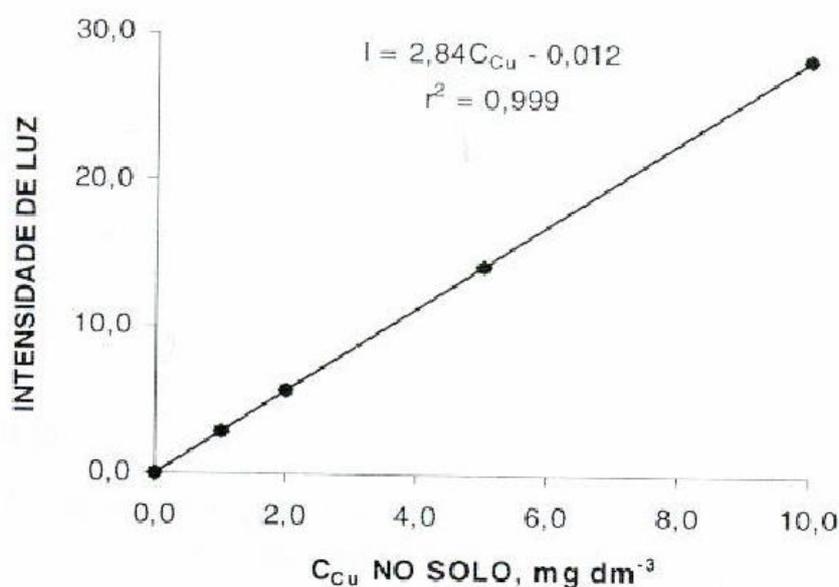


Figura 16.2. Representação gráfica da curva de calibração para a determinação de cobre por um espectrômetro de emissão atômica por plasma (ICP-AES) em extrato de DTPA. Essas medidas foram realizadas em um espectrômetro marca Jobin Yvon, modelo JY 50P, com correção de fundo. Nota-se que a concentração está calculada para o teor no solo, portanto, os resultados das amostras não precisam ser multiplicados por dois.

Método água quente para o boro.

## **PREPARO DOS EXTRATOS**

### **Aparelhos e material**

1. Cachimbos de PVC de 10 cm<sup>3</sup> de capacidade.
2. Saquinhos de polipropileno (15,5 x 25 x 0,05 cm).
3. Clipes de plástico.
4. Balões de polipropileno, tubos de ensaio, pipetas volumétricas, béqueres e provetas, para preparo das soluções.

- *Evitar o uso de vidrarias, dando preferência para material de polipropileno.*
  - *Caso necessite usar vidraria, transfira as soluções rapidamente para outros frascos plásticos.*
5. Dispensador tipo garrafa para 10 mL ou 20 mL.
  6. Seladora manual para plásticos, de uso doméstico.
  7. Forno de microonda tipo caseiro, com prato giratório, potência mínima de 700 W.
    - *O forno de microonda deve ser periodicamente calibrado para aferir a potência. Ver no final deste capítulo o procedimento para calibração do forno.*
  8. Prateleira própria para microondas adaptada para suportar os saquinhos.
  9. Papel de filtro de filtragem lenta, faixa azul.

### Soluções

**Solução extratora de cloreto de bário  $1,25 \text{ g L}^{-1}$ .** Dissolver  $1,25 \text{ g L}^{-1}$  de cloreto de bário em 1 L de água deionizada. Para armazenar essa solução durante alguns meses, adicionar 5 gotas de tolueno.

### Procedimento

1. Cachimbar  $10 \text{ cm}^3$  de solo em saquinhos de polipropileno.
2. Adicionar 20 mL da solução extratora de cloreto de bário.
3. Somente para a determinação por espectrofotometria, adicionar  $0,5 \text{ cm}^3$  de carvão ativo.
4. Preparar uma prova em branco (sem solo), adicionando 20 mL da solução de cloreto de bário e  $0,5 \text{ cm}^3$  de carvão ao saquinho de polipropileno.
5. Selar os saquinhos.
6. Fazer um pequeno furo no canto superior do saquinho com auxílio de um clipe.
7. Pendurar os saquinhos na prateleira usando cliques. Distribuí-los de forma uniforme e em círculo no sentido do raio do prato do forno de microonda.
  - *Usar a mesma posição para dispor os saquinhos na prateleira.*

8. Colocar a prateleira contendo sempre 14 saquinhos no forno.
  - *Usar sempre 14 saquinhos plásticos por extração. Se existirem menos de 14 amostras, os demais saquinhos deverão ser completados com 20 mL de água.*
  - *Colocar uma prova em branco e uma amostra-controle a cada 12 amostras, isto é, cada conjunto colocado no forno de microonda deve conter 12 amostras, uma prova em branco e uma amostra-controle.*
9. Programar o forno microonda para 4 minutos na potência máxima (700 W) e 5 minutos na potência média máxima (490 W).
  - *Calibrar o forno de microonda a cada 6 meses.*
  - *Se o forno de microonda tiver potência maior que 700 W, deve-se avaliar qual a potência e o tempo necessários para a suspensão (solo/solução) iniciar a fervura, e então deixar ferver por 5 minutos em uma potência média que deve estar em torno de 490 W.*
10. Esfriar a suspensão por 30 minutos e filtrar imediatamente usando papel de filtro.

## DETERMINAÇÃO DE BORO POR ESPECTROFOTOMETRIA PELO MÉTODO DA AZOMETINA-H

### Aparelhos e material

1. Espectrofotômetro UV-Visível ou colorímetro com capacidade para determinação em 420 nm.
2. Tubos de ensaio com capacidade de pelo menos 10 mL.
3. Agitador para tubos, tipo Vortex.

### Soluções

**1. Solução tampão.** Dissolver 250 g de acetato de amônio e 15 g de EDTA (ácido etilenodiaminotetracético) em 400 mL de água deionizada. Adicionar vagarosamente 125 mL de ácido acético glacial.

**2. Solução 9 g L<sup>-1</sup> de azometina-H contendo 20 g L<sup>-1</sup> de ácido ascórbico.** Dissolver 0,9 g de azometina-H e 2 g de ácido ascórbico em 100 mL de água deionizada. Esse reagente pode ser preparado semanalmente e guardado em refrigerador.

As condições operacionais do ICP utilizadas para a construção da curva de calibração (Figura 15.2) foram as seguintes: frequência de 40,68 MHz e potência de 1.000 W; vazão de argônio de 12 L min<sup>-1</sup> para a alimentação do plasma e nebulizador do tipo fluxo cruzado (*cross-flow*).

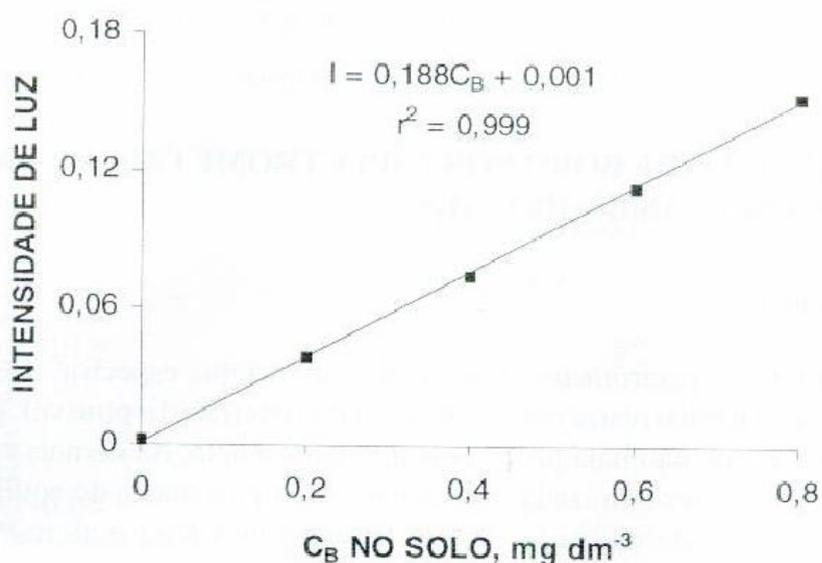


Figura 15.2. Representação gráfica da curva de calibração para a determinação de boro por ICP-AES em extrato de água quente. As concentrações são dadas em relação ao solo (Tabela 15.1). Estas medidas foram realizadas em um espectrômetro marca Jobin Yvon, modelo JY 50P, com correção de fundo.

## CALIBRAÇÃO DO FORNO DE MICROONDA

A calibração do forno de microonda é importante para se conhecer a potência do equipamento, pois se for diferente das especificadas no método, os tempos de aquecimento recomendados podem não se aplicar. Normalmente, os fornos de microonda têm sua potência reduzida com o uso, necessitando de uma avaliação periódica da potência.

### Procedimento

1. Colocar 1.000 g de água deionizada em um copo de teflon.
2. Medir a temperatura da água, com precisão mínima de 0,1 °C, a qual deve estar entre 19 e 25 °C.

3. Colocar o copo no centro do forno de microonda.
4. Ligar o forno por exatamente dois minutos em potência máxima (100%).
5. Certificar-se que o copo permaneça girando no interior do forno durante o aquecimento.
6. Remover o copo, agitar vigorosamente a água.
7. Medir novamente a temperatura.

### Cálculo da potência

$$P = (C_p m \Delta T)/t$$

em que:

P = potência aparente absorvida pela amostra, em watts ( $1 \text{ W} = 1 \text{ J s}^{-1}$ ).

$C_p$  = capacidade térmica ou calor específico da água (igual a  $4,184 \text{ J g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ).

m = massa da amostra, em gramas (g).

$\Delta T$  = temperatura final menos a temperatura inicial, em graus Celsius ( $^\circ\text{C}$ ).

t = tempo, em segundos (s).

Exemplo: usando  $t = 2 \text{ min}$  e  $1.000 \text{ g}$  de água deionizada a equação pode ser simplificada para:

$$P = 34,87 \Delta T$$