

**ANÁLISE DOS TEORES DE METAIS PESADOS NA COMPOSIÇÃO DO SOLO DE  
DIFERENTES LOCAIS DA CIDADE DE JARAGUÁ DO SUL**

BRUNO VINÍCIUS WOLFF

GUSTAVO FAGUNDES

GUSTAVO HENRIQUE ROSA DOS SANTOS

VITOR GABRIEL DE OLIVEIRA

WILLIAN MATOS CABRAL

BRUNO VINÍCIUS WOLFF  
GUSTAVO FAGUNDES DE SOUZA  
GUSTAVO HENRIQUE ROSA DOS SANTOS  
VITOR GABRIEL DE OLIVEIRA  
WILLIAM MATOS CABRAL

Projeto de pesquisa desenvolvido no eixo formativo diversificado “Conectando Saberes” do Curso Técnico em Química (Modalidade Integrado) do Instituto Federal de Santa Catarina - Campus Jaraguá do Sul.

**Orientador:** Juliano Ramos.

**Coorientador:** Juliano Maritan.

**Coordenadoras:** Aline Gevaerd Krelling e Ana Paula Duarte Souza.

Jaraguá do Sul  
2018

## SUMÁRIO

<b>1. TEMA</b>	<b>4</b>
<b>2. DELIMITAÇÃO DO TEMA</b>	<b>4</b>
<b>3. PROBLEMA</b>	<b>4</b>
<b>4. HIPÓTESES</b>	<b>4</b>
<b>5. OBJETIVOS</b>	<b>5</b>
5.1 Objetivo geral	5
5.2 Objetivos específicos	5
<b>6. JUSTIFICATIVA</b>	<b>5</b>
<b>7. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>7</b>
7.1. Solo	7
7.1.1 A formação do solo	7
7.1.1.1 Intemperismo	7
7.1.1.2.1 Intemperismo químico	8
7.1.2 Composição e características principais dos solos	11
7.1.2.1 Troca iônica	14
7.1.2.1.1 Capacidade de troca catiônica	16
7.1.2.2 Acidez do solo	16
7.1.2.2.1 Fontes de acidez no solo	17
7.2 Metais pesados	20
7.2.1 Metais pesados no solo	21
7.2.1.1 Ligações de metais pesados ao solo	23
7.2.1.2 Influência dos atributos do solo na interação entre solo e metais pesados	24
7.2.1.2.1 Matéria orgânica	24
7.2.1.2.2 Acidez	25
7.2.1.2.3 Troca catiônica	25
7.2.2 Metais pesados específicos	25
7.2.2.1 Cromo	25
7.2.2.2 Cobre	26
7.2.2.3 Níquel	26
7.2.2.4 Chumbo	27
7.2.2.5 Zinco	28
7.2.3 Valores de referência	28
7.3 Métodos analíticos	29
7.3.1 Espectroscopia de absorção atômica por chama	30
<b>8. METODOLOGIA</b>	<b>33</b>
8.1 Seleção das regiões de coleta	33

8.1.1 Regiões	33
8.1.1.1 Margem da rua Adélia Fischer	33
8.1.1.2 Margens das ruas Venâncio da Silva Pôrto e José Leier	34
8.1.1.3 Região tangente ao viaduto presente na avenida Waldemar Grubba	34
8.1.1.4 Margem e locais próximos à rua João Januário Ayroso	35
8.2 As amostras	35
8.2.1 Coleta	35
8.2.2 Processamento e armazenamento	36
8.3 Análises das amostras	37
8.3.1 Quantificação do teor de matéria orgânica	37
8.3.2 Análise do pH através do uso do peagâmetro	39
8.3.3 Determinação de metais pesados	40
<b>9 CRONOGRAMA</b>	<b>40</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>41</b>

## **1. TEMA**

Análise dos teores de metais pesados na composição do solo de diferentes locais da cidade de Jaraguá do Sul.

## **2. DELIMITAÇÃO DO TEMA**

Análise das quantidades de metais potencialmente nocivos no solo de locais pré-delimitados, com enfoque na quantificação dos teores de cromo, cobre, níquel, chumbo e zinco; levando em consideração e relacionando a quantidade de matéria orgânica e a acidez do solo amostrado.

## **3. PROBLEMA**

Os impactos causados pela produção industrial e a ocupação urbana em todas as esferas que compõem o meio ambiente já são conhecidos pelo ser humano. Nota-se, porém, que muitas vezes estas afetações são negligenciadas, ora devido à despreocupação, ora ao desconhecimento. Visto que Jaraguá do Sul é uma cidade relativamente industrial e que possui áreas de urbanização expressiva, esta possui em potência a capacidade de causar danos à natureza através dos resíduos descartados e efluentes e gases expelidos.

Mesmo com esta característica, poucas pesquisas públicas foram realizadas buscando relacionar as características não-naturais do meio ambiente da cidade com as atividades urbanas e a constante execução de metodologias industriais de produção. Desta forma, o presente projeto busca contribuir no preenchimento desta pendência, o qual basear-se-á na seguinte questão problema: É possível observar a presença de compostos e/ou características nocivas presentes no solo – de locais nos quais a industrialização e a urbanização é notável – que são provenientes de descartes (de qualquer tipo) por parte das atividades humanas/processos antropogênicos?

## **4. HIPÓTESES**

- 1) Os teores de metais pesados presentes nos solos amostrados estão abaixo do nível máximo permitido para todo o estado de Santa Catarina;
- 2) A quantidade de metais pesados é proporcional à acidez do solo e ao teor de matéria orgânica;

- 3) Regiões mais próximas de indústrias possuem teores mais elevados de metais pesados em seus solos;
- 4) Quanto mais intenso o tráfego de veículos na região, maior será a concentração de metais pesados no seu solo;
- 5) Os metais pesados cobre e cromo serão os mais presentes nos solos amostrados.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1 Objetivo geral**

O principal objetivo desta pesquisa é analisar a composição de diferentes amostras de solo, coletadas em determinadas regiões de Jaraguá do Sul, visando quantificar os teores de metais pesados e matéria orgânica e identificar o pH destas. Sendo que, a partir destes resultados, caso os teores sejam elevados, buscar-se-á mapear as possíveis fontes destes elementos, tanto no quesito geral da urbanização quanto na especificidade da indústria.

### **5.2 Objetivos específicos**

- 1) Encontrar relações entre os teores de metais pesados nas amostras de solo coletadas com a ocupação urbana e industrial da área que circunda o local nas quais foram coletadas;
- 2) Relacionar a quantidade de matéria orgânica e a acidez do solo com os teores de metais pesados;
- 3) Comparar os teores de metais pesados nos solos de Jaraguá do Sul com os valores utilizados como referência para o estado de Santa Catarina.

## **6. JUSTIFICATIVA**

Desde o início da industrialização brasileira, a partir da década de 50, diversas regiões passaram do foco na agricultura para o desenvolvimento de processos industriais, se tornando, muitas vezes, polos industriais em setores característicos, como a cidade de Jaraguá do Sul-SC que possui diversas indústrias dos setores têxtil, metalúrgico, metal mecânico, químico e alimentício. Devido à industrialização, o ambiente se modifica, acompanhando as novas necessidades da sociedade; ocasionando um intenso processo de urbanização e adaptação. Assim, a forma com que as pessoas se relacionam com os corpos naturais também se altera, tanto nos métodos de extração quanto nos de ocupação.

Já são conhecidos os impactos que a produção industrial tem sobre o meio ambiente.

Todos os gases e líquidos expelidos por ela podem afetar direta ou indiretamente a água, o solo e o ar; isto se deve a capacidade das substâncias de se dissolverem nestes respectivos meios, modificando, dessa forma, as características dos mesmos. Além disso, resíduos sólidos descartados, caso não o sejam de forma adequada, corromperão a composição química de todos estes meios, mas, principalmente, do solo da área em que este é descartado.

Segundo Sanchez (2001), os contaminantes presentes no solo são os que possuem uma baixa mobilidade e grande capacidade cumulativa. Isto faz com que estes sejam, potencialmente, agentes contaminantes de águas subterrâneas e superficiais, afetando, assim, toda a biota daquele ambiente.

Devido aos fatores citados precedentemente, os impactos do solo na vida humana demoram a serem notados. Isto fez com que tais impactos fossem negligenciados por muito tempo no Brasil; enquanto várias legislações eram criadas para impedir a poluição do ar e da água, ao solo quase nada foi realizado. No país, somente a partir de 2000, o poder público voltou sua atenção para a poluição do solo e áreas contaminadas (SPÍNOLA, 2011, p. 29-32).

O solo é uma das bases da vida e do progresso humano: a nossa alimentação, o cultivo, as moradias, os meios produtivos, *etc.*, só são possíveis devido à sua existência. A saúde do solo é pré-requisito para o desenvolvimento da vida e da economia. Por isso, é importante que se realizem análises físicas e químicas neste corpo natural, pois isto permite que os danos causados pelos processos humanos sejam identificados, mapeados e impedidos; garantindo a sua vitalidade e fertilidade.

A análise físico-química do solo se faz necessária para que a sua composição seja conhecida. Desta forma, é possível observar os teores de determinados contaminantes na sua composição. Visualizando se os valores encontrados são naturais e permitidos ou se demonstram um perigo eminente ou em potência à biota e à natureza.

Nesta pesquisa, os contaminantes analisados serão os metais pesados cromo, cobre, níquel, chumbo e zinco. A escolha destes metais se deu devido à existência de valores de referência apenas para estes no âmbito catarinense, os quais foram determinados por Hugen (2010). A realização de uma pesquisa deste tipo só é possível com a existência de valores que possibilitem a comparação entre um solo não modificado por ações humanas e um solo contaminado. Além, como complemento a estas análises, o teor de matéria orgânica e o pH do solo serão quantificados, com o intuito de relacionar estas características aos valores encontrados para as concentrações dos metais pesados, visto que ambas exercem influência

significativa da biodisponibilidade destes metais no meio.

## **7. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **7.1. Solo**

O solo é um corpo natural resultante da ação dinâmica e mútua de transformações climáticas e fenômenos biológicos que ocorrem sobre um determinado material de origem (esse material é a rocha, em grande parte das vezes) durante um determinado período de tempo, o qual está presente em grande parte da superfície terrestre. Ocorre neste processo de formação, então, um desenvolvimento coerente que consiste na passagem/transformação da rocha para o solo. Durante a sua formação, o solo sofrerá adições, subtrações, transportes e transformações. Este se difere da rocha pelo seguinte aspecto: é constituído de uma diversidade de camadas em hierarquismo vertical que divergem entre si em características como cor, espessura, granulometria, teor de matéria orgânica e nutrientes (LIMA; LIMA; MELO, 2007).

#### ***7.1.1 A formação do solo***

A formação de qualquer tipo de solo é caracterizada pela ação de agentes diversos sobre a rocha original, esta sofrerá processos de fragmentação de natureza físico-química e decomposição, ademais o transporte, a sedimentação e a evolução pedogênica (ROCHA, 2005; *apud* DINIS e FRAGA, 2007). Diferentes são os tipos de rochas que compõem a crosta terrestre, e isto é um dos principais fatores que influenciam para a diversidade expressiva de solos que existe, porém, não é o único. Além da natureza da fonte geológica majoritária, os organismos que vivem sobre e no solo, a erosão, os níveis de água subterrânea, o alagamento, o vento, a chuva, a radiação solar também são cruciais para a formação do solo e influenciam demasiadamente sobre as características do mesmo (PETTS e EDULJEE, 1994; *apud* DINIS e FRAGA, 2007).

##### ***7.1.1.1 Intemperismo***

Todos os mecanismos e fenômenos que agem sobre a rocha e transformam-na são chamados de intemperismos, esses desagregam os minerais das rochas e fragmentam-nos, e,

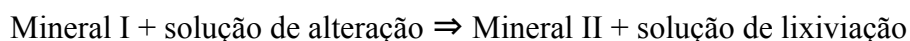
além, modificam sua composição através da decomposição e formam novos minerais. Os intemperismos podem ser classificados em três grupos: físicos, químicos e biológicos.

#### 7.1.1.2.1 Intemperismo químico

O intemperismo químico compreende todas as reações que geram a decomposição química dos minerais primários (dissolução de sais, hidrólise, oxidação e redução etc) e a síntese de minerais secundários com diâmetros inferiores aos primários. Ou ainda, segundo Manahan (2013), o intemperismo químico pode ser o resultado da tendência das rochas/água/sistemas minerais de atingirem um equilíbrio.

Dificilmente o intemperismo químico ocorrerá em situações nas quais há somente a presença de ar seco; necessita-se, geralmente, de água como meio para que os processos químicos se manifestem. Segundo Toledo (2014), na água provinda da chuva (denominada “solução de alteração” ou “de intemperismo”) estão dissolvidas substâncias presentes na biosfera e na atmosfera, no momento em que essa entra em contato com os minerais das rochas (minerais primários), esses sofrerão diversas reações, que divergirão de acordo com as condições do meio (clima, relevo, organismos, tempo) e a natureza dos reagentes. Entre os agentes que participam com a água nos processos reacionais, destacam-se os gases  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$ , os ácidos orgânicos, os ácidos de enxofre ( $\text{SO}_{2(\text{aq})}$  e  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) e os ácidos de nitrogênio ( $\text{HNO}_3$  e  $\text{HNO}_2$ ). Assim, quanto maior a acidez da água que entra em contato com os minerais, maior será a decomposição causada nas rochas.

É possível figurar o intemperismo químico da seguinte forma:



Para a qual se tem:

- 1) **Mineral I:** mineral primário (constituente da rocha mãe/dura);
- 2) **Solução de alteração:** água da chuva que se infiltra na rocha, na qual estão dissolvidos diversos elementos/substâncias;
- 3) **Mineral II:** mineral secundário formado através da reação ocorrida;
- 4) **Solução de lixiviação:** água da chuva que foi modificada devido às reações ocorridas e que percorrerá caminhos em meio a materiais geológicos até localizar-se em um

aquífero, rio ou na superfície.

Como pode ser observado, o intemperismo químico decompõe os minerais primários presentes nas rochas, esses minerais se reorganizarão e formarão novas estruturas (processo denominado síntese ou neoformação), chamadas de minerais secundários. No entanto, algumas substâncias ficarão dissolvidas na água, sendo transportadas junto a ela para outros meios. Os principais processos químicos envolvidos no intemperismo são: hidrólise, oxidação, hidratação, complexação etc.

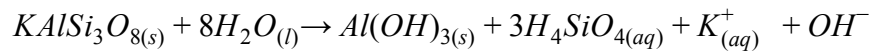
### *Hidrólise*

O processo de hidrólise ocorre no momento em que a água infiltrada na rocha entra em contato com os minerais que a constituem. Através da palavra *hidrólise* (proveniente da língua grega, na qual se tem os seguintes termos: *hidro*, significando água; *lyses*, quebra/rompimento), é possível ter uma ideia da reação que ocorre: a água vai ser responsável pelo rompimento da ligação do composto mineral. Os íons hídrons ( $H^+$ ), produtos da ionização da água, reagirão com os cátions dos minerais, pois eles entrarão na estrutura mineral, tencionando a transposição dos cátions para a solução (geralmente cátions alcalinos [ $K^+$  e  $Na^+$ ] e alcalinos terrosos [ $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ ]). Além disso, há o rompimento das estruturas minerais presentes na interface solução/sólido, liberando, conseqüentemente, silício e alumínio em fase líquida (ABRAHÃO *et al.*, 2005). Tais elementos podem recombinar-se, formando novos minerais, chamados de secundários, ou, também, serem removidos pela drenagem (água em movimento no manto do intemperismo).

Caso haja uma quantidade significativa de água e condições que permitam seu deslocamento, todos os elementos solúveis serão eliminados, sobrando, apenas, os elementos não solúveis naquelas condições de ambiente (hidrólise total). Ao contrário, havendo impedimentos para o escoamento, geralmente existentes em regiões baixas, nem mesmo os compostos mais solúveis serão eliminados (hidrólise parcial). Neste último caso, parte do silício ficará no ambiente do intemperismo; o potássio pode ou não ser eliminado totalmente. Esses elementos (que ficaram no local onde o intemperismo ocorreu) reagirão com alumínio, formando os aluminossilicatos hidratados (argilominerais).

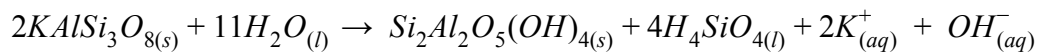
No processo de hidrólise total, os minerais secundários (formados pelos

compostos/substâncias não dissolvidas) serão compostos apenas por elementos químicos menos móveis (Fe, Al), formando oxi-hidróxido de ferro (goethita) e/ou hidróxido de alumínio (gibbsita):



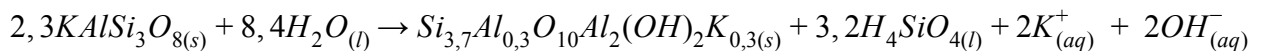
**Fonte:** Retirada de TOLEDO (2014).

Se não existir uma eficiência completa na drenagem, não ocorrerá a lixiviação de determinados produtos solúveis, fazendo com que parte do silício se combine com o alumínio, formando o argilomineral caolinita:



**Fonte:** Retirada de TOLEDO (2014).

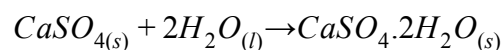
Se a drenagem for muito impedida pela impermeabilidade do meio ou por fatores de relevo, na composição dos minerais secundários estarão presentes a maioria dos elementos químicos presentes, porque não serão lixiviados nem mesmo os elementos mais móveis. O produto da neoformação será um argilomineral da família dos argilominerais 2:1, com estrutura mais complexa do que a caolinita formada na reação anterior:



**Fonte:** Retirada de TOLEDO (2014).

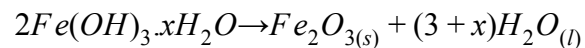
### *Hidratação*

Esse processo é caracterizado pela inserção de água nas estruturas cristalinas dos minerais. Tal fenômeno pode acarretar no enfraquecimento da estrutura primário, tencionado à formação de novos minerais com características diferentes. Como exemplo, temos a formação do gipso pela reação da água com a anidrita (sulfato de cálcio):



**Fonte:** Retirada de MANAHAN (2013).

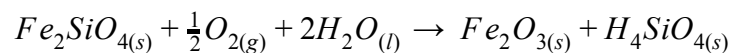
Ou, também, a formação do óxido de ferro através da entrada de água na estrutura do hidróxido de ferro:



**Fonte:** Retirada de MANAHAN (2013).

### *Oxidação*

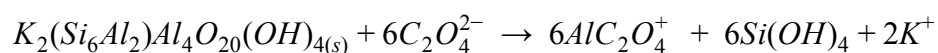
Este processo ocorre em minerais que têm em sua constituição elementos químicos passíveis de serem oxidados. Tais elementos serão seu estado de oxidação alterado, geralmente devido à reação com o oxigênio. Isso ocorre, muitas vezes, com o ferro presente nos minerais; esse elemento está, quase sempre, em estado reduzido nas rochas primárias duras, pois os ambientes de formação dessas são quase sempre não-oxidantes. O elemento, quando entra em contato com a água da superfície, que está carregada de oxigênio, será oxidado; acarretando na desestruturação do composto inicial.



**Fonte:** Retirada de MANAHAN (2013).

### *Complexação*

Reações do tipo complexação envolvem compostos orgânicos que estão dissolvidos na água, que possuem a capacidade de reter elementos químico pouco solúveis em sua estrutura, fazendo com que eles se movimentem, dinâmica que não ocorreria somente na presença da água. Para exemplificar, há a reação do íon oxalato  $C_2O_4^{2-}$  com o alumínio na muscovita ( $K_2(Si_6Al_2)Al_4O_{20}(OH)_4$ ):



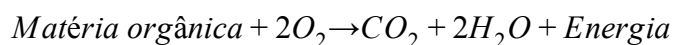
**Fonte:** Retirada de MANAHAN (2013).

## **7.1.2 Composição e características principais dos solos**

Como é expresso por Baird e Cann (2011), grande parte do solo é constituída de partículas sólidas, na qual uma parcela de 90% corresponde às estruturas inorgânicas, e o restante é composto de matéria orgânica e espaços (poros) – preenchidos de ar ou água – existentes entre os minerais.

A matéria orgânica do solo, segundo Favero, Lenzi e Luchese (2002), corresponde aos restos de animais e vegetais que estão submetidos a transformações constantes resultantes dos processos de decomposição e ressíntese, após a morte do tecido. Estes processos englobam fenômenos bioquímicos e são provenientes da ação de diversos micro-organismos (destacam-se: bactérias, fungos e actinomicetos). Na degradação da matéria orgânica estão presentes, principalmente, a mineralização e a humificação.

A mineralização é um processo de queima, que pode ser representado, de forma geral, pela seguinte equação:



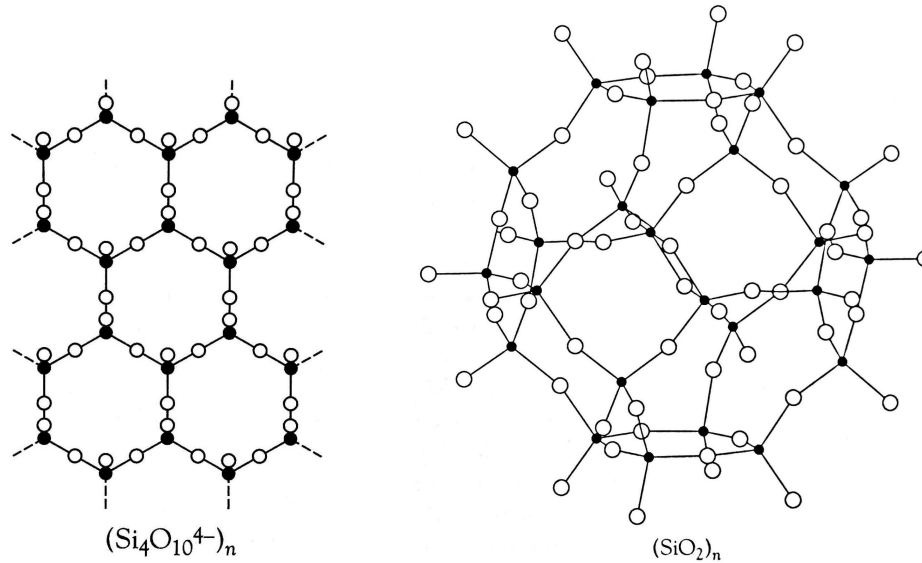
**Fonte:** FAVERO, LENZI e LUCHESE (2002).

O processo de mineralização resulta, além de quantidades significativas de gás carbônico, na liberação de compostos minerais e orgânicos. A natureza destes compostos dependerá das características e componentes dos resíduos depositados sobre a superfície do solo, destes últimos também depende a liberação de nutrientes para o meio ( $K^+$ ,  $H_2PO_4^-$ ,  $NO_3^-$  etc.)

Os compostos orgânicos, formados no processo de mineralização, passam, geralmente, pela polimerização de suas estruturas, que denomina-se como humificação, podendo formar estruturas de até 50.000 u (unidade de massa atômica). Tais polímeros apresentam grupos de estrutura aromática complexa e variável (FAVERO, LENZI e LUCHESE [2002]).

As partículas/compostos de natureza inorgânica, são resultantes da ação do intemperismo sobre as rochas; são, no âmbito químico, principalmente minerais silicatos. Esta classificação de mineral engloba as estruturas inorgânicas poliméricas que possuem como unidade principal o átomo de silício circunscrito por quatro átomos de oxigênio. Esses átomos de oxigênio se ligam, geralmente, com dois átomos de silício, o que se resulta em estruturas de redes ampliadas. Desta forma, a diversidade de conformação é muito grande. Determinadas redes possuem um número de átomos de oxigênio ( $O^{2-}$ ) igual ao dobro do número de átomos de silício ( $Si^{4+}$ ), formando-se, assim, estruturas eletricamente neutras.

**Figura 1:** Representação gráfica de estruturas moleculares de silicatos.



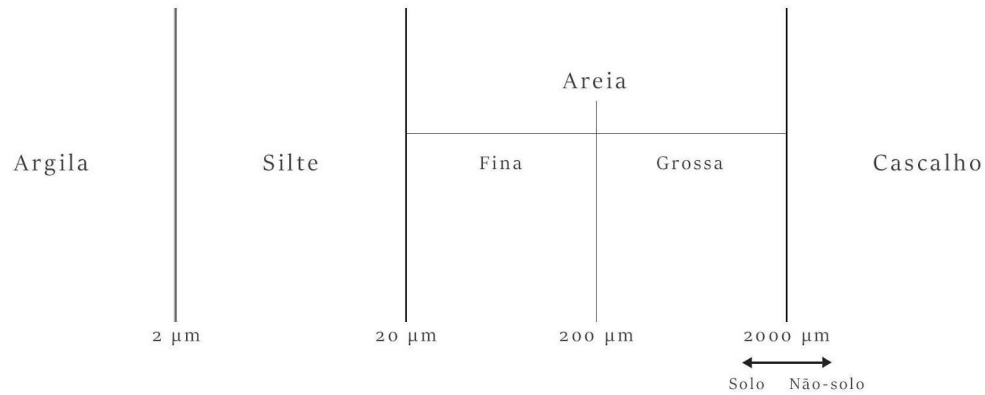
**Fonte:** Imagens figurativas fotocopiadas de Baird e Cann (2011).

Em outros casos, específicas posições tetraédricas são ocupadas, invés de íons  $\text{Si}^{4+}$ , por cátions  $\text{Al}^{3+}$ ; a carga negativa extra, neste último caso, é balanceada/neutralizada através da existência de outros cátions, a saber:  $\text{H}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Fe}^{2+}$ .

Os silicatos sofrerão intemperismos com o passar do tempo, podendo ocorrer reações desses com a água e ácidos, resultando na substituição de íons e a quebra das organizações moleculares. Os compostos provindos destas substituições fazem parte da classe de estruturas presentes no solo denominada como minerais argilosos. A classe engloba todos os minerais que possuem um tamanho de partícula inferior a  $2\ \mu\text{m}$ , que são denominados como argila.

O solo possui diversas espécies de estruturas cristalinas, as quais são classificadas de acordo com o tamanho de sua partícula (sendo a argila a de menor tamanho). A figura a seguir traz um esquema demonstrando a hierarquia de estruturas segundo o tamanho de suas partículas:

**Figura 2:** Sistema de classificação de solo por tamanho de partículas da Sociedade Internacional de Ciência do Solo.



**Fonte:** Imagem adaptada pela equipe de G. W. vanLoon e S. J. Duffy (200) *apud* Baird e Cann (2011)

Visto que as partículas de argila possuem tamanho muito menor em relação às outras, ela possuirá uma área superficial total por grama extremamente maior. Desta forma, a argila atuará como colóide na água. Conseqüentemente, a maioria dos processos vitais para o solo ocorrerão na superfície das partículas com tamanho menor de  $2 \mu\text{m}$ .

Geralmente, as partículas de argila têm o seu interior carregado eletricamente; isto faz com que se forme, em seu entorno, uma camada composta de cátions ( $\text{H}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e/ou  $\text{Ca}^{2+}$ ). Tendo a água cátions dissolvidos em sua composição, estes poderão, dependendo das concentrações, serem substituídos pelos da superfície argilosa.

#### 7.1.2.1 Troca iônica

Os processos físicos e químicos que ocorrem no solo envolvem, muitas vezes, transposições de íons entre as soluções aquosas e compostos sólidos, tanto de cátions quanto de ânions.

Os corpos coloidais presentes no solo (argila e matéria orgânica) possuem uma elevada superfície específica e são dotados de carga elétrica. Desta forma, por diferença de carga, partículas negativas ou positivas poderão ser adsorvidas à superfície destes colóides. Quando íons eletropositivos são atraídos ao colóide, ocorre um processo de *adsorção catiônica*. Ao contrário, quando ânions são adsorvidos por um colóide, denomina-se *adsorção aniônica*. Geralmente, o processo mais expressivo é o da adsorção catiônica, com os seguintes íons:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{NH}_4^+$ .

É possível, como já foi mencionado, que ocorra a transposição destes íons que estão sobre a superfície coloidal, eles serão movidos para a solução aquosa que circunda as partículas, em contrapartida, um íon que estava em solução mover-se-á para a superfície do

colóide, ou seja, processa-se uma substituição, na qual os íons participantes terão a mesma carga elétrica, o fenômeno ocorrido obedecerá a proporções estequiométricas e será reversível. Esse processo é chamado de *troca iônica* (TAVARES [2013]).

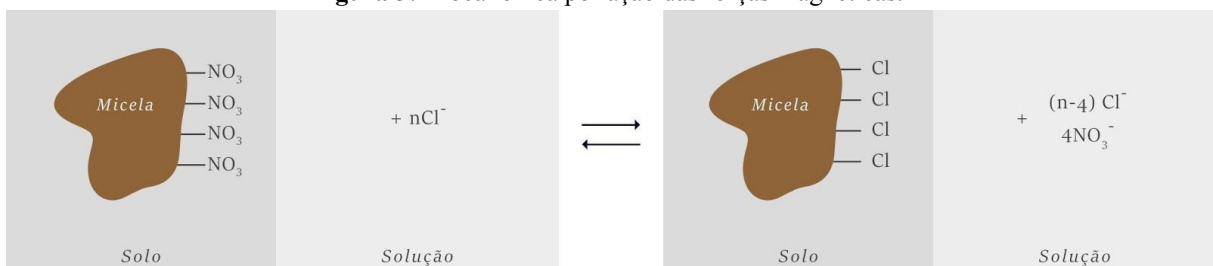
As trocas dependem tanto da natureza do colóide quanto da eletricidade do íon. Segundo Favero, Lenzi e Luchese (2002), os íons presentes na solução do solo criam em seu entorno um potencial elétrico ( $\Psi$ ) que corresponde a certo campo elétrico (E) com um certo raio (r). Este campo elétrico gera no ponto (P) uma força elétrica (F) que atua sobre todas as partículas carregadas que estão neste meio.

Dentro dos campos elétricos criados pelos íons, moléculas de água (possuintes de um caráter polar), que apresentam um dipolo elétrico, atraem-se com a carga de sinal oposto do íon. Desta forma, ocorrerá uma aglomeração de moléculas de água em torno do íon, fazendo com que a densidade neste espaço seja diferente da água pura. A camada de moléculas de água que se formam no entorno do íon é chamada de camada de hidratação, a quantidade de moléculas presentes nesta camada é chamada de número de hidratação. Quanto menor for o diâmetro do íon, maior será o seu número de hidratação. Assim, íons com maiores números de hidratação tenderão a ser atraídos para os colóides, visto que, segundo a Lei de Coulomb, as forças de atração, ou repulsão, são inversamente proporcionais às distâncias entre as cargas.

A troca pode ocorrer de acordo com os seguintes mecanismos:

- 1) Por simples ação das forças de repulsão e atração das cargas elétricas (forças eletrostáticas):

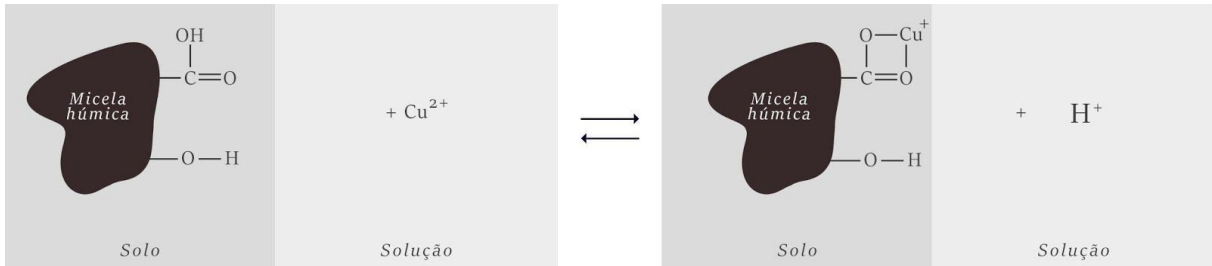
**Figura 3:** Troca iônica por ação das forças magnéticas.



**Fonte:** Produzida pela equipe com base em Favero, Lenzi e Luchese (2002).

- 2) Devido a ligação covalente de íons às estruturas presentes na superfície coloidal:

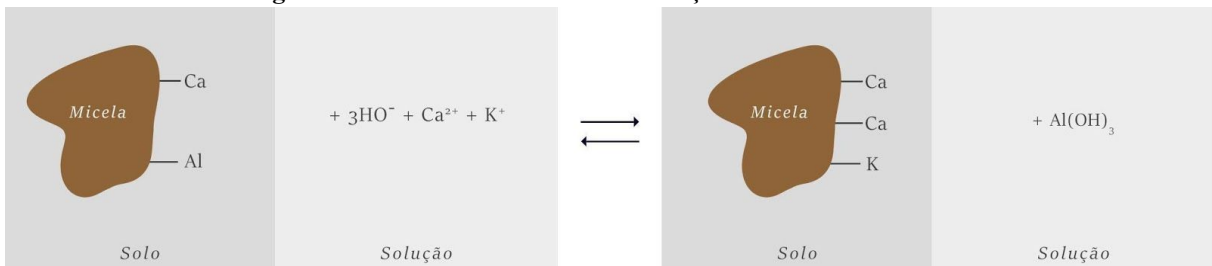
**Figura 4:** Troca iônica ocorrida devido a ligação covalente de íons e estruturas da superfície coloidal.



**Fonte:** Produzida pela equipe com base em Favero, Lenzi e Luchese (2002).

- 3) Pela ausência necessária manutenção da eletroneutralidade do meio, através da substituição de substâncias entre a superfície coloidal e a solução:

**Figura 5:** Troca iônica devida à manutenção da eletroneutralidade.



**Fonte:** Produzida pela equipe com base em Favero, Lenzi e Luchese (2002).

#### 7.1.2.1.1 Capacidade de troca catiônica

De acordo com Silva (2013), a capacidade de troca catiônica, ou CTC, é responsável por delimitar o potencial que os colóides do solo possuem em reter e liberar cátions na solução do mesmo. A ligação entre cátion e colóide se dá pela formação de complexos de esfera externa (interação na qual o cátion mantém sua camada de hidratação e se liga por forças eletrostáticas) entre estes dois corpos. As principais características da CTC são:

- 1) **Estequiometria:** as reações/substituições ocorrem respeitando as proporções estequiométricas, assim, para cada mol de carga ( $\text{mol}_c$ ) adsorvido, há um  $\text{mol}_c$  desorvido. Por exemplo, o íon  $\text{Ca}^{2+}$  deve ser substituído por dois íons  $\text{K}^+$ ;
- 2) **Velocidade:** reações deste tipo são rápidas;
- 3) **Independente à temperatura:** alterações de temperatura dentro de uma faixa estreita não afetam de forma expressiva as trocas;
- 4) **Reversibilidade:** todas as trocas catiônicas são reversíveis, pois um íon adsorvido pode ser trocado no futuro pelo íon que foi liberado, isto dependerá dos fatores/condições do ambiente.

#### 7.1.2.2 Acidez do solo

De acordo com Silva (2013), a acidez de um solo diz respeito à atividade e a expressividade de íons  $\text{H}_3\text{O}^+$  (ou  $\text{H}^+$ ) no meio.

O potencial hidrogeniônico (pH) é uma escala numérica que mede a concentração/atividade de íons  $\text{H}^+$  em solução. Ele é definido como o logaritmo da

concentração de hidrogênio, com sinal inverso. Por exemplo: para a água pura, o pH será igual a 7 ( $\text{pH} = -\log [10^{-7}]$ ). Desta forma: com o aumento da concentração de íons hidrônio, o valor do pH diminuirá; se ocorrer o aumento da concentração de  $\text{OH}^-$ , o pH aumentará.

O pH do solo será afetado de diversas formas, tanto direta quanto indiretamente. A água do solo apresenta diversas estruturas dissolvidas e submergidas, como sais, colóides minerais, compostos orgânicos e seres vivos; estes corpos são capazes de modificar (através de fenômenos de absorção e liberação, presentes nos seus respectivos mecanismos e cinéticas) a concentração de íons dissolvidos na água. A camada superior do solo possui contato direto com a atmosfera, sendo possível que esta última atue diretamente na composição do solo. Ademais, no solo estão constantemente atuando as águas percolantes provindas da superfície e a água ascendida dos lençóis subterrâneos.

De acordo com o valor do pH do solo, este pode ser classificado como ácido, neutro ou alcalino. A grande maioria dos solos em condições tropicais úmidas é ácida. Com o passar do tempo, a ação do intemperismo faz com que o pH do solo aumente, devido à perda de cátions alcalinos e alcalino-terrosos e à progressiva liberação de alumínio pela degradação dos corpos argilosos.

As formas com as quais os fenômenos químicos e biológicos ocorrem no solo dependerão do nível de acidez do meio. Juntamente à constituição química do solo, a acidez dita a capacidade produtiva e as exiguidades nutricionais ao crescimento das plantas. O pH interfere na solubilidade e disponibilidade dos nutrientes e de elementos tóxicos aos vegetais, afetando também as condições da matéria orgânica e de sobrevivência e proliferação de organismos.

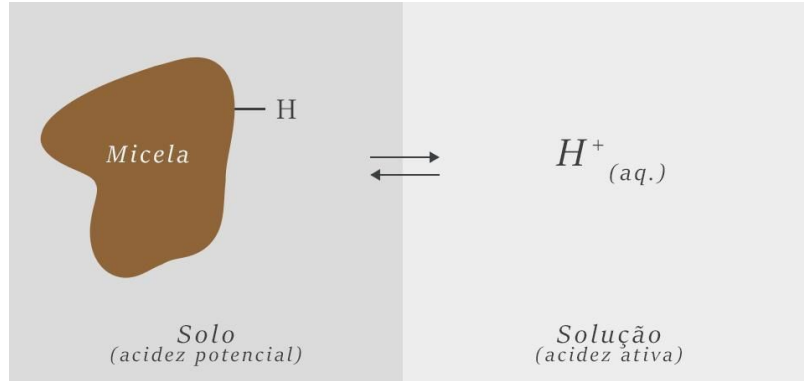
#### 7.1.2.2.1 Fontes de acidez no solo

*Acidez advinda das argilas:*

As estruturas argilosas podem interferir na acidez do solo de três formas:

- 1) Através dos íons  $\text{H}^+$  que estão localizados nos sítios de troca das superfícies ativas da argila (acidez potencial) com a acidez da solução do solo (acidez ativa):

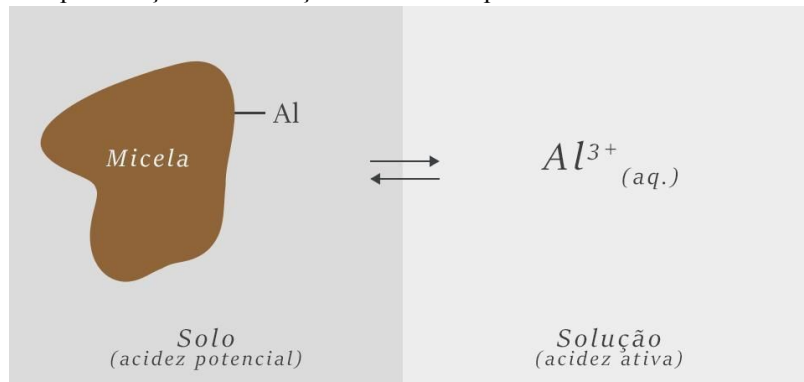
**Figura 6:** Representação da diferença entre a acidez potencial e a ativa referente ao íon  $H^+$ .



**Fonte:** Produzida pela equipe com base em Favero, Lenzi e Luchese (2002).

2) Pelos íons  $Al^{3+}$  existentes nos sítios de troca:

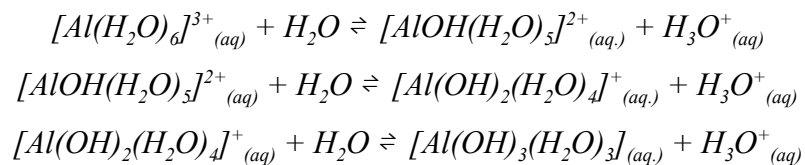
**Figura 7:** Representação da diferença entre a acidez potencial e a ativa referente ao íon  $Al^{3+}$ .



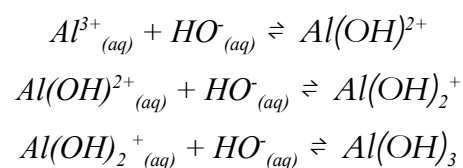
**Fonte:** Produzida pela equipe com base em Favero, Lenzi e Luchese (2002).

Os íons de alumínio liberados podem, dependendo do pH, se comportar de acordo com as seguintes mecanismos:

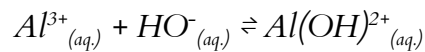
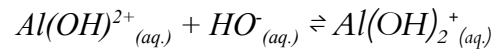
a) Sofrer hidrólise a partir do íon  $Al^{3+}$  hidratado:



b) Reagir com o íon  $OH^-$  da solução:

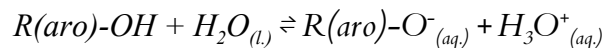
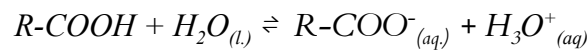


- 3) Grupos –SiOH e –AlOH estruturais, presentes nas superfícies dos minerais argilosos, e óxidos de ferro e alumínio, que podem consumir OH<sup>-</sup>, de acordo com as reações seguintes:



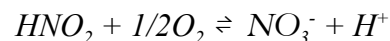
*Acidez provinda dos grupos ácidos da matéria orgânica:*

Sobre as superfícies de estruturas que compõem a matéria orgânica estão ligados diversos grupos funcionais, entre eles estão os carboxílicos e os fenólicos, os quais atuam mais expressivamente na acidez do solo. Estes poderão, dependendo do grupo R presente em sua composição, liberar íons H<sup>+</sup> em solução.



*Ácidos solúveis:*

Levando em consideração a exposição de Silva (2013), os processos de decomposição microbológica da matéria orgânica acarretam na formação de ácidos orgânicos solúveis (ácido acético, málico e oxálico) que aumentam a acidez do solo. Ademais, os compostos orgânicos, quando mineralizados, liberam compostos de nitrogênio e enxofre, que liberarão prótons na solução, como demonstra as reações a seguir:



A oxidação de caráter biológico de compostos orgânicos produz o gás carbônico, o qual reage com a água, formando o ácido carbônico, que tencionará à dissociação, formando íons H<sup>+</sup>.



## 7.2 Metais pesados

Segundo Merçon e Lima (2011), *metal pesado* é uma denominação dada a determinados elementos que apresentam certas características bem definidas e que podem, muitas vezes, serem tóxicos ao ser humano. Este grupo abrange elementos muito diversos, incluindo metais e ametais. Há vários conceitos relacionados aos metais pesados, no entanto, o mais utilizado diz respeito a três características gerais que definem uma substância como sendo um metal pesado, são elas: massa específica, número atômico elevado e massa atômica alta. Possuem uma elevada massa específica, o valor exato varia nos artigos relacionados, sendo possível encontrar valores entre 3,5 a 7,0 g/cm<sup>3</sup>, ou até maiores. A massa total do átomo do metal pesado é muito elevada em comparação à massa dos outros elementos, sendo o sódio (massa atômica de 23) utilizado como referência; e também o é o número atômico, sendo o cálcio (número atômico de 20) utilizado como referência. Segundo Baird e Cann (2011), uma característica que distingue o metal pesado dos demais elementos é a incapacidade deste ser degradado em formas não tóxicas. Salienta-se que o termo “metal pesado” é muitas vezes substituído por outros mais adequados e concretos, no entanto, para esta pesquisa o conceito que foi dado é suficiente.

Os metais pesados possuem a característica de serem, todos eles, sem exceção, elementos nocivos em potência, isso dependerá da concentração dos mesmos no corpo animal ou vegetal. Mesmo assim, alguns metais potencialmente tóxicos possuem importância vital no organismo de determinadas espécies. Tem-se como exemplo o cobre, o ferro, o manganês e o zinco, que, quando absorvidos em pequenas quantidades na nutrição vegetal, atuarão como micronutrientes. Além, o cobalto e o níquel são de suma importância para o crescimento das plantas. Por outro lado, existem metais pesados que não possuem nenhuma função biológica em quaisquer organismos e que não são essenciais (como exemplo: cromo, chumbo, mercúrio, arsênio, cádmio, tálio e urânio), estes, quando encontrados em concentrações que excedem a capacidade do corpo, desencadearão intoxicações (ALLOWAY e AYERS [1996] *apud* TAVARES [2013]). Isso ocorre pois tais elementos possuem elevados níveis de reatividade e bioacumulação; sendo capazes de provocar reações químicas não metabolizáveis, sendo impossível para os organismos degradá-los (MERÇON e LIMA [2011]). Substâncias deste tipo, quando lançadas no meio ambiente sem nenhum controle, dependendo da sua estrutura,

poderão se acumular no ambiente e prejudicar toda a cadeia alimentar da biota deste.

A toxicidade de determinado metal pesado e o seu comportamento ambiental dependerão também da forma como ele se encontra no meio, visto que estes elementos podem se apresentar em diferentes configurações e conformações moleculares. Isto se deve à estrutura atômica dos mesmos, que é caracterizada por possuir orbitais *d* livres, permitindo a aceitação de elétrons.

### **7.2.1 Metais pesados no solo**

De acordo com Baird e Cann (2011), a disposição última dos metais pesados é a deposição e sepultamento em solos e sedimentos. Estes compostos se acumulam, geralmente, na camada superficial do solo, na qual há um maior contato com corpos vegetais, fazendo com que sejam acessíveis à absorção por parte das raízes das plantas.

Os metais pesados presentes nos solos podem ser provindos de duas origens: provenientes de fontes geológicas (são chamados de metais pesados litogênicos), como fragmentações e reminiscências de rochas ou produtos do intemperismo; ou resultados da ação humana (são chamados de metais pesados antropogênicos), como: mineração, uso de defensivos agrícolas e fertilizantes, processos industriais, etc (ALLOWAY [1995] *apud* TAVARES [2013]).

Metais pesados podem ser encontrados nos solos mesmo sem a interferência das atividades humanas, em concentrações variáveis que dependerão da quantidade destes metais na rocha-mãe e o nível de intemperismo sofrido por ela. Os metais pesados podem se encontrar no solo em forma solúvel, trocável, fixadas nos minerais do solo, precipitados com outros componentes, na biomassa ou complexados pela matéria orgânica. O modo com que estes metais atuam no solo dependerá do equilíbrio entre os corpos argilosos, a matéria orgânica, os hidróxidos de ferro, alumínio e manganês, e quelantes solúveis. Além disso, a concentração de metais pesados no solo pode ser afetada através do transporte de sedimentos que os contêm pelas águas fluviais ou marinhas e os ventos. Esses fatores podem fazer com que determinados locais possuam altos níveis de metais pesados em suas respectivas composições, locais deste tipo serão ambientes de comunidades biotas adequadas à sobrevivência sob a condição de níveis elevados de metais pesados.

Mesmo tendo formas naturais de existir concentrações altas de metais pesados no solo, a maioria dos casos em que os solos são prejudicados pela supersaturação destes elementos

são causados pela influência antropogênica. Essa influência aumentou expressivamente após a explosão industrial causada pela revolução dos métodos de produção (ou, simplesmente, revolução industrial) e o aumento da demanda por produtos de origem industrial (TAVARES [2013]).

Durante o processo de transformação das rochas (processos intempéricos e pedogenéticos), os metais primários (metais formados junto com a rocha através de processos naturais e originários) que compõem a rocha são dissolvidos congruente ou incongruente, liberando os elementos químicos que os constituem. Visto que os metais pesados possuem diferentes características químicas (raio atômico, eletronegatividade, estados de oxidação), diferentes processos químico-cinéticos podem atuar sobre eles: precipitação ou co-precipitação juntamente aos minerais secundários; adsorção nas superfícies de minerais secundários (argilas ou óxidos de ferro, alumínio ou manganês) ou de material orgânico; complexação e lixiviação pela solução presente no solo (ALLEONI, *et al.* [2005] *apud* TAVARES [2013]).

Os processos cinéticos citados no parágrafo anterior entram no campo de estudo da mobilidade de um metal no solo. A mobilidade diz respeito aos processos químicos, nos quais se inclui as interações químicas com o meio/ambiente e a movimentação em solução posteriormente à dissolução do composto (mineral, em grande parte das vezes, no caso dos solos) químico. A mobilidade de um determinado composto em solução dependerá de certos atributos físico-químicos, principalmente ao potencial iônico (razão do número de oxidação pelo raio iônico): elementos com baixo potencial iônico são, geralmente, móveis em sistemas aquáticos, como exemplo o  $\text{Na}^+$  e o  $\text{Ca}^{2+}$ ; elementos com alto potencial iônico são, quando encontrados na forma de aniões ( $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{AsO}_4^{3-}$ ), móveis e tendem a formar ligações covalentes em vez de ligações iônicas; elementos com potencial iônico intermediário tendem a serem fortemente adsorvidos ou hidrolisados e possuem baixa solubilidade, sendo, desta forma, imóveis (ALLEONI, *et al.* [2005] *apud* TAVARES [2013]).

### *Biodisponibilidade*

Os metais pesados atuam como contaminantes na composição do solo, no entanto, eles só são nocivos e prejudiciais aos seres vivos e ao meio ambiente quando encontrados em formas que possibilitem a sua absorção por parte dos vegetais e, conseqüentemente, animais. Basicamente, segundo Ehlken e Kirchner (2002) *apud* Campos (2010), o termo

biodisponibilidade diz respeito à parcela de um contaminante presente no solo que pode ser absorvido diretamente da água ou da solução por um organismo vivo.

Neste processo, pode-se delimitar duas fases: a dessorção, na qual ocorrerá rompimento da ligação entre os metais pesados e os compostos minerais e orgânicos do solo, liberando-os na solução do solo; a absorção, a qual está relacionada, geralmente, com a passagem dos metais pesados do solo para as raízes das plantas, através do processo de troca iônica (AL-KHASHMAN [2004] *apud* CAMPOS [2010]).

De acordo com Joner e Leyval (2001) *apud* Campos (2010), o tempo influenciará diretamente na biodisponibilidade dos metais pesados, pois com o passar do tempo as ligações entre os componentes do solo e estes últimos diminuirão, aumentando a concentração de íons metálicos na solução do solo e, conseqüentemente, a concentração destes metais em forma disponível à absorção biológica.

#### *7.2.1.1 Ligações de metais pesados ao solo*

##### *Adsorção não-específica:*

Já foi dito que na solução do solo há uma grande quantidade de elementos na sua forma catiônica. Na adsorção não-específica, os cátions serão atraídos pelas superfícies coloidais e formarão complexos de esfera externa. Neste mecanismo, o íon é atraído eletrostaticamente, sem a dependência de ligações que necessitem de grupos funcionais (ligados à superfície) com configurações eletrônicas determinadas. A interação ocorre com o cátion em sua forma hidratada, o que resulta na diminuição da energia de ligação entre os dois corpos (SPOSITO [1989] *apud* TAVARES [2013]); tornando esta fraca e pouco estável.

##### *Adsorção específica:*

É um fenômeno que resulta em uma elevada afinidade entre superfícies coloidais e metais pesados; envolve mecanismos de troca entre metais e ligantes da superfície dos colóides através de ligações covalentes ou iônicas.

Neste processo os íons adentram em estruturas que estão ligadas à superfície e se ligam, através de ligação covalente ou covalente coordenada com os grupos O e OH (YONG, *et al.* [1992] *apud* TAVARES [2013]).

Ocorre principalmente com metais pesados de raio iônico pequeno e de elevada carga elétrica no núcleo atômico, como: cobre, zinco, cobalto e cádmio. Devido a sua elevada polaridade, estes metais possuem uma capacidade notável de se deformar, quando comparados a outros elementos, tais como os metais alcalinos e alcalinos terrosos.

A adsorção de cátions metálicos por meio da formação de complexos internos é a principal forma com a qual os metais pesados se ligam às superfícies de óxidos, oxidróticos, hidróxidos, silicatos amorfos, caulinita e colóides orgânicos (SPOSITO [1989] *apud* TAVARES [2013]). Isto resulta da existência de orbitais *d* livres nos átomos destes metais, pois, assim, possuirão maior potencial iônico, melhor acomodação de elétrons e maior eletronegatividade.

#### *Precipitação e dissolução:*

Quando os metais pesados e determinados íons se encontram em concentrações muito altas e as condições físico-químicas do meio estão favoráveis, ocorre a precipitação de metais pesados na forma de compostos insolúveis (sólidos). Tais compostos são os principais responsáveis pelo controle da solubilidade dos elementos na solução do solo e das suas respectivas biodisponibilidades (LINDSAY [1979] *apud* TAVARES [2013]).

As reações de precipitação e dissolução que ocorrem no solo são representadas, geralmente, pelo produto da solubilidade, quando um sólido dissolve-se para formar o soluto na solução deste (ROSS [1994] e BRÜMMER *et al.* [1983] *apud* TAVARES [2013]).

#### *7.2.1.2 Influência dos atributos do solo na interação entre solo e metais pesados*

##### *7.2.1.2.1 Matéria orgânica*

A forma com que os componentes da matéria orgânica interferem na biodisponibilidade dos metais pesados é lógica. Quanto maior a quantidade de matéria orgânica, mais corpos coloidais estarão disponíveis para o processo de adsorção, aumentando assim, a área superficial total. Com isto, a quantidade cátions metálicos na solução diminuirá, reduzindo a biodisponibilidade destes. (SANTOS [2005] *apud* COSTA e GUARÇONI [2015].)

Além disso, os compostos orgânicos formados no processo de mineralização podem se ligar aos metais pesados, formando quelatos. Resultado disso: a diminuição das reações de

adsorção dos metais pesados nos minerais e na absorção por parte das plantas. Os quelatos possuem uma elevada mobilidade, podendo ocorrer a contaminação de águas subterrâneas.

#### 7.2.1.2.2 Acidez

O pH de um solo interfere diretamente na sua capacidade de adsorção/dessorção. Quando em meios com pH elevado, os metais pesados tendem a possuir uma afinidade maior com sítios de troca em relação aos íons solúveis, aumentando a adsorção destes nas superfícies. Segundo Araújo *et al.* (2002) *apud* Costa e Guarçoni (2015), a diminuição da acidez do solo está vinculada a redução da concentração de prótons na solução, aumentando a ocorrência da adsorção de cátions metálicos.

Ademais, o aumento do pH faz com que ocorra a precipitação dos metais na forma de carbonatos, fosfatos, sulfatos e hidróxidos. Este fenômeno faz com que os elementos metálicos se estruturam de forma insuscetível à interação com superfícies; diminuindo, assim, as chances de ocorrer a adsorção destes metais nas raízes das plantas.

#### 7.2.1.2.3 Troca catiônica

Segundo Costa e Guarçoni (2015), a capacidade de troca catiônica influencia diretamente a disponibilidade de metais pesados, porque reduzem suas perdas por lixiviação. Este efeito é bem delimitado na literatura. Em pesquisa executada por Soares (2004), o pH e a capacidade de troca catiônica (CTC) foram as características que mais influenciaram a disponibilidade de metais pesados, sendo a primeira diretamente proporcional à segunda (COSTA e GUARÇONI [2015]). De acordo com Campos (2010), a baixa capacidade de troca de cátions condicionada pela mineralogia oxídica ou silicática 1:1 de ambientes tropicais, associada a condições de baixo pH, favorece a lixiviação e a disponibilidade dos metais pesados nos solos. Udom *et al.* (2004) *apud* Campos (2010) expressaram que a “CTC e o conteúdo de matéria orgânica são bons indicadores para a predição da mobilidade de metais pesados no solo”.

### **7.2.2 Metais pesados específicos**

#### 7.2.2.1 Cromo

De acordo com Baird e Cann (2011), o cromo é encontrado geralmente na forma de íons inorgânicos. Os seus estados de oxidação mais comuns são o trivalente (3+) e o hexavalente (+6). O estado do cromo dependerá das condições do meio.

Em condições oxidantes, o cromo ocorrerá como íon cromato  $\text{CrO}_4^{2-}$  (altamente solúvel em água) no estado hexavalente. Caso o meio seja ácido, formar-se-á  $\text{HCrO}_4^-$ .

Em condições redutoras, ter-se-á o cromo com o estado de oxidação trivalente, na forma do íon  $\text{Cr}^{3+}$ . Este possui uma solubilidade baixa em meio aquoso, resultando em sua frequente precipitação na forma do hidróxido  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ .

Os íons  $\text{CrO}_4^{2-}$  e  $\text{Cr}^{3+}$  possuem diferenças significativas quanto às suas toxicidades: o íon cromato é tóxico e suspeito carcinogênico; o íon  $\text{Cr}^{3+}$  é pouco tóxico e age como um nutriente traço. O íon cromato é capaz de penetrar na célula animal, devido à sua similaridade com o íon sulfato, e oxidar as bases de DNA e RNA. Assim, apresenta um risco grande à saúde humana, visto que ele é solúvel e possui mobilidade no meio ambiente.

O cromo é um elemento de extrema importância em sociedades industrializadas, visto que é utilizado como constituinte do aço inoxidável e das superligas empregadas em turbinas a jato, usinas nucleares, válvulas resistentes a compostos químicos. (MANAHAN [2013].)

#### *7.2.2.2 Cobre*

O cobre, segundo Alves (2012), é um metal de cor laranja-avermelhado que possui quatro características importantes: é um ótimo condutor; é resistente à corrosão; molda-se facilmente; é bactericida.

Este metal possui uma vasta campo de utilidades, e é usados em diversas áreas da indústria. É constituinte dos fios da rede elétrica devido à sua condutividade. A construção civil usa-o no aquecimento e refrigeração da água e na produção de máquinas industriais e aparelhos eletrônicos. Atua com papel importante na fabricação de veículos, visto que está presente nos fios, conectores, freios, rolamentos, radiadores e no motor. A sua propriedade bactericida faz com que ele atue como material para a produção de utensílios e aparelhos utilizados em hospitais, e compoinha moedas e sistemas de encanamento.

#### *7.2.2.3 Níquel*

Segundo Ferreira, Mesquita e Lima (2008), o níquel é o vigésimo segundo elemento no quesito da massa presente na crosta terrestre. Os seus principais minérios com importância econômica incluem o sulfeto de níquel e depósitos aluviais de silicatos e óxidos/hidróxidos.

As suas aplicações na indústria estão relacionadas, na maioria dos casos, à produção de ligas ferrosas e não-ferrosas. Estas ligas são utilizadas para a produção e o processamento de diversos materiais e equipamentos, tais como: ímãs; materiais resistentes à corrosão química; turbinas e filamentos de motores; moedas; *etc.*

De 65% a 70% do níquel produzido atualmente é utilizado na fabricação de aço inoxidável, e o restante na produção de baterias, catalisadores e outras ligas. Em galvanoplastia, o níquel é usado na construção civil e eletro-eletrônica.

#### 7.2.2.4 Chumbo

O chumbo é um elemento amplamente utilizado na indústria e com capacidade contaminante expressiva. Está presente na atmosfera, devido à utilização do tetraetilchumbo como detonante em carros a diesel, nos solos, como óxidos, carbonatos e sulfatos, em formas solúveis ou coprecipitadas, e adsorvido na matéria orgânica ou em complexos.

A forma mais tóxica do chumbo é, como já mencionado, o tetraetilchumbo; principal responsável pela poluição do ar com o chumbo, resultando em problemas sérios em locais urbanizados. No entanto, no Brasil, legalmente, o chumbo como aditivo deixou de ser utilizado.

Atualmente, o chumbo é usado, segundo o Instituto de Metais Não Ferrosos, na fabricação de forros para cabos, de elementos da construção civil, como pigmentos, soldas suaves e munições.

O chumbo possui excelente resistência à corrosão, devido a isso, encontra muitas aplicações na indústria química e de construção. É resistente ao ataque de determinados ácidos, devido a capacidade de formar a sua própria proteção contra o óxido.

A potência dúctil do chumbo possibilita que ele seja utilizado como forro para cabos de telefone e televisão, pois torna-o passível de ser estirado para formas revestimentos contínuos em torno dos condutores internos.

Ademais, forma ligas metálicas com diversos elementos, como estanho, cobre, arsênio, antimônio, bismuto, cádmio e sódio. (Estas ligas são utilizadas na fabricação de soldas, fusíveis, materiais de tipografia, materiais de antifricção, revestimentos, *etc.*)

#### 7.2.2.5 Zinco

Segundo Altoé, Mendes e Sylvia (2013), o zinco é um elemento essencial para os seres vivos, pois ele tem ação fundamental em diversos processos metabólicos. No entanto, caso o zinco se encontre em excesso e em formas perigosas (como o óxido de zinco e o sulfeto de zinco), poderá causar danos ao ser humano, pois a sua absorção excessiva prejudica e até suprime a absorção de outros elementos, como o cobre e o ferro.

Constitui diversos alimentos, como as ostras, carnes vermelhas, aves, pescados, mariscos, favas e nozes. É o 23º elemento mais abundante na crosta terrestre.

O zinco muitas vezes é encontrado ligado ao enxofre ou oxigênio e associado aos elementos chumbo, cobre, prata e/ou ferro. Os principais minérios de zinco são os seguintes: willemita ( $Zn_2SiO_4$ ); smithsonita ( $ZnCO_3$ ); calamina ( $Zn_4Si_3O[OH]_2$ ); wurtzita ( $[Zn,Fe]S$ ).

Os dois compostos de zinco mais utilizados na indústria são: óxido de zinco, usado nas indústrias de cerâmica, de borrachas, e na fabricação de tintas; sulfato de zinco, aplicado na indústria têxtil e no enriquecimento de solos.

#### 7.2.3 Valores de referência

Segundo Lima *et al.* (2015), a determinação de valores referenciais, que ditam os teores de componentes caracterizantes de um solo de qualidade, é um processo de extrema importância; que, além de ser fundamental para os órgãos ambientais e à sociedade, é uma exigência da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 420, de 28 de dezembro de 2009, que versa sobre os critérios e valores orientados para a qualidade do solo e sobre o gerenciamento de áreas contaminadas por ações/atividades antrópicas.

Agências de proteção ambiental expressam a necessidade do estabelecimento de valores orientadores, os quais possuem a função de identificar áreas poluídas/contaminadas e, paralelamente, delimitar os riscos em potência à saúde humana e ao meio ambiente como um todo (SOARES [2004] *apud* LIMA *et al.* [2015]). Para as substâncias inorgânicas, especialmente os metais pesados que ocorrem naturalmente no solo, os valores de referência

podem ser quantificados de acordo com as concentrações naturais, de solos que não sofreram alterações por parte do ser humano, considerando as suas propriedades específicas.

É importante salientar que o Conama determinou, a partir da Resolução 420/2009, que todos os estados brasileiros deveriam definir seus valores de referência da qualidade de solos (LIMA *et al.* [2015]). Isto se deve pois o país possui uma diversidade muito grande de solos submetidos a condições variadas, fazendo com que cada estado possua valores referenciais distintos.

Para o estado de Santa Catarina, os valores referenciais para as concentrações de cromo, cobre, níquel, chumbo e zinco foram delimitados por Hugen (2010). As análises foram realizadas com 94 amostras de solos não antropizados catarinenses, separadas em 8 grupos, utilizando as classes mais caracterizantes de cada região do estado. As concentrações totais de metais pesados foram extraídas utilizando água régia, com digestão em bloco digestor, e a quantificação dos elementos por absorção atômica de alta resolução com fonte contínua utilizando atomização em chama (HR-CS F AAS) (HUGEN [2010]).

**Tabela 1:** Valores de referência das concentrações de metais pesados para o estado de Santa Catarina.

ELEMENTO	CONCENTRAÇÃO (mg kg <sup>-1</sup> )
Cr	112
Cu	111
Ni	32
Pb	12
Zn	61

**Fonte:** Adaptada de HUGEN (2010).

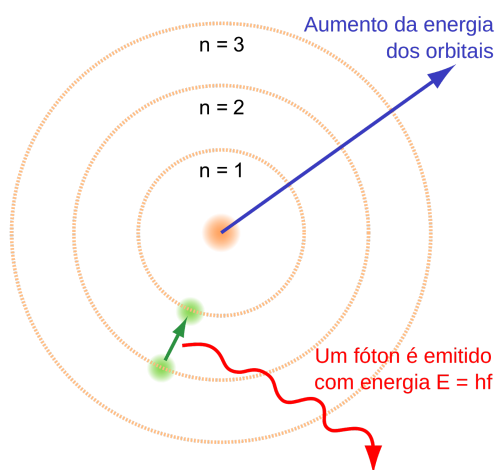
Como conclui Hugen (2010), as concentrações de metais pesados para os solos catarinenses são naturalmente elevadas. Esta característica é resultado, certamente, das características intempéricas do estado e da origem e natureza das rochas iniciais. Demonstrando a importância de um estudo específico para o estado, visto que, caso fossem utilizados valores externos ou genéricos para a análise de solos catarinenses, provavelmente existiriam erros gravíssimos.

### 7.3 Métodos analíticos

### 7.3.1 Espectroscopia de absorção atômica por chama

As teorias atômicas que vigoram atualmente no meio científico descrevem que um mesmo átomo pode possuir estados de energia distintos, visto que ele possui a capacidade de absorver e emitir energia em forma de fótons. Quando um átomo absorve uma determinada quantidade de energia, os elétrons presentes em sua eletrosfera sofrerão saltos quânticos, ou seja, eles passarão de uma camada que envolve uma energia menor para uma camada mais externa (tomando o núcleo como referência) e, conseqüentemente, relacionada a uma quantidade maior de energia. A absorção de energia por um átomo marca a transição deste de um estado fundamental (anterior) para um estado excitado (posterior). No entanto, o átomo não tem a capacidade ficar no estado excitado infinitamente, por isso, ele libera a energia absorvida por meio de *quantums* de energia (“pacotes” de fótons).

**Figura 8:** Ilustração dos níveis de energia com base do modelo atômico de Bohr.



Fonte: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/%C3%81tomo\\_de\\_Bohr](https://pt.wikipedia.org/wiki/%C3%81tomo_de_Bohr)>.

A quantidade de energia liberada é igual à diferença de energia entre os dois níveis participantes do fenômeno. A energia liberada terá características de onda (comprimento e frequência) bem definidas, a partir disto, tem-se a seguinte relação:  $E = h.f = (h.c)/\lambda$ . Onde:  $E$  é igual a energia envolvida;  $h$  corresponde à constante de Planck;  $f$  e  $\lambda$ , frequência e comprimento de onda, respectivamente;  $c$  é a velocidade da luz.

A espectroscopia de absorção atômica é um método analítico que visa quantificar as concentrações de determinados metais em amostras diversas, utilizando o processo atômico da absorção de energia como fenômeno básico.

Segundo VOGEL (2015), no momento em que uma solução entra em contato com uma chama, caso ela contenha íons metálicos em sua composição, formar-se-á um vapor constituído ricamente em átomos dos metais. É possível que estes átomos absorvam energia suficiente para que sejam ascendidos a níveis energéticos altos o suficiente para que ocorra a liberação de radiações características. Porém, a quantidade de átomos na fase gasosa que permanecem no estado fundamental é mais expressiva. Estes átomos tendem a receber energia radiante com um comprimento de onda específico. Assim, caso uma fonte emita radiação com comprimento de onda igual ao necessário para a excitação do átomo metálico, e esta radiação passe por uma chama que o contenha, a radiação será absorvida proporcionalmente à quantidade de átomos daquela espécie presentes na chama.

O aparelho mais utilizado neste processo analítico é o espectrômetro de absorção atômica, este pode ser separada em partes de acordo com as suas respectivas funções: fonte de radiação; monocromador; atomizador; detector.

A fonte de radiação geralmente é representada por uma lâmpada de cátodo oco, a qual é constituída por um ânodo de tungstênio e um cátodo cilíndrico (fabricado com o metal do analito ou que serve de suporte para um recobrimento deste metal) selados em um tubo de vidro, no qual existe um gás inerte submetido a pressões de 1 a 5 torr. Através uma diferença de potencial aplicada através dos eletrodos, ocorre, após processos internos, um processo denominado pulverização catódica; devido a isso, uma certa quantidade de átomos do metal analisado são removidos do cátodo e excitados, liberando, por conseguinte, radiação com os seus comprimentos de ondas características.

Segundo Krug, Nóbrega e Oliveira, o monocromador tem a função de separar a linha espectral necessária para a análise do material selecionado das demais produzidas pela fonte de radiação. Utilizando como meio um prisma ou rede de difração, os quais têm a função de individualizar as linhas que compõem o feixe de radiação, associado a duas fendas estreitas, as quais servem para a entrada e saída da luz. Regulando a fenda de saída, obtém-se a radiação desejada.

O atomizador é a parte da aparelho na qual serão gerados os átomos gasosos no estado fundamental, os quais absorverão a radiação característica emitida pela fonte. Este pode ser separado em duas grandes partes: o nebulizador e o queimador. O nebulizador tem a função de aspirar, através do fluxo de gás comprimido, a solução analisada para um câmara de nebulização, na qual esta tornará a ter a forma de aerossol (gotículas dispersas em gás). O

solvente das gotículas será evaporado, e estas serão encaminhadas para o queimador, no qual as altas temperaturas serão responsáveis pela volatilização dos íons e moléculas do analito. A chama presente no atomizador tem a função de transformar a espécie volatilizada em átomos no estado fundamental. Geralmente, utiliza-se uma chama formada por uma mistura de ar e acetileno, com uma quantidade elevada do oxidante em relação ao combustível.

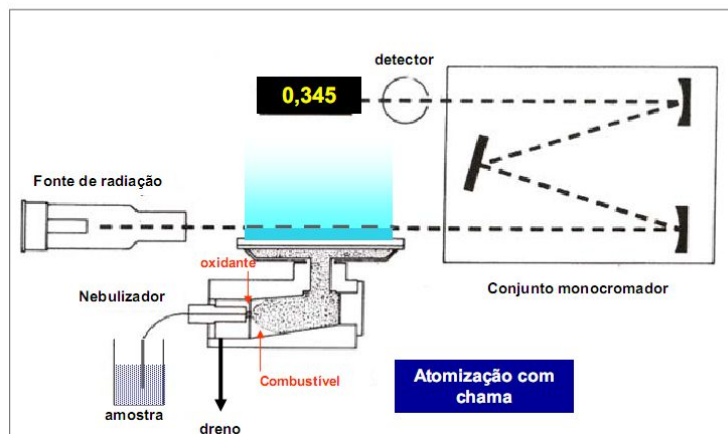
Na maioria dos aparelhos, o detector é constituído por válvulas fotomultiplicadoras e aparelhos de amplificação e detecção:

A válvula fotomultiplicadora é um sistema compacto composto por um cátodo recoberto por uma camada sensível à luz, um ânodo circundante e uma série de dinodos. Na superfície fotossensível do cátodo são emitidos fotoelétrons, devido à incidência da radiação provinda da fonte e separada na saída do monocromador. Estes fotoelétrons são acelerados e deslocados para uma sequência de dinodos. Quando um fotoelétron se choca a um dinodo, ocorre a liberação de mais 2 a 5 fotoelétrons, os quais se chocaram com os demais dinodos, gerando um processo em cadeia.

Os elétrons produzidos pela válvula fotomultiplicadora são recebidos em um sistema de amplificação e passam por um amperímetro analítico, ou seja, dispositivo capaz de quantificar a corrente resultante da válvula. Nos equipamentos modernos, o amperímetro envia as informações para um microcomputador, o qual executa diversas funções, fornecendo dados acerca da absorbância ou concentração (em diversas unidades de medida), cálculos de médias e desvios-padrão, registrando curvas de calibração, verificando coeficientes de correlação, *etc.*

Podemos observar, no seguinte esquema, uma representação simplificada do espectrômetro de absorção atômica por chama:

**Figura 9:** Diagrama de um espectrômetro de absorção atômica por chama.  
**Diagrama de um espectrômetro de absorção atômica com chama**



**Fonte:**

<<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA3SwAH/analises-metais-por-espectroscopia-absorcao-atomica>>

## 8. METODOLOGIA

### 8.1 Seleção das regiões de coleta

As regiões, nas quais as análises serão feitas, foram escolhidas seguindo especificamente dois critérios: serem relativamente urbanizadas e/ou industrializadas e possuírem regiões propícias à coleta de solo.

Em âmbito geral, as regiões de coleta foram distribuídas em pontos dispersos entre si, impedindo que a pesquisa demonstre dados referentes especificamente a apenas uma parte da cidade.

#### 8.1.1 Regiões

As imagens de satélite foram retiradas da plataforma *Google Maps*. As regiões avermelhadas delimitam os locais de coleta das amostras.

##### 8.1.1.1 Margem da rua Adélia Fischer

**Imagem 1:** Rua Adélia Fischer.



**Fonte:** Imagem modificada provinda da plataforma *Google Maps*.

#### 8.1.1.2 Margens das ruas Venâncio da Silva Pôrto e José Leier

**Imagem 2:** Ruas Venâncio da Silva Pôrto e José Leier.



**Fonte:** Imagem modificada provinda da plataforma *Google Maps*.

#### 8.1.1.3 Região tangente ao viaduto presente na avenida Waldemar Grubba

**Imagem 3:** Avenida Waldemar Grubba.



Fonte: Imagem modificada provinda da plataforma *Google Maps*.

#### 8.1.1.4 Margem e locais próximos à rua João Januário Ayroso

**Imagem 4:** Rua João Januário Ayroso.



Fonte: Imagem modificada provinda da plataforma *Google Maps*.

## 8.2 As amostras

### 8.2.1 Coleta

A etapa inicial do processo de análise de um solo, ou seja, a coleta das amostras, é de suma importância para toda a posterior metodologia empregada e requer um cuidado extremo no manejo e no processamento das parcelas coletadas.

Visto que os locais nos quais as amostras de solo serão coletadas não possuem vasta extensão territorial, não será necessário separá-los por glebas, conforme citado por Alvarez, Cantarutti e Ribeiro. Considerar-se-á o local como sendo composto de uma gleba apenas, a partir disso, utilizar-se-á de todos os procedimentos recomendados pela literatura.

Para que uma parcela do solo (uma pequena quantidade) seja utilizada em uma análise química e caracterize bem o solo original, necessita-se realizar o preparo de uma amostra composta realizada por meio de coleta de diversas amostras simples.

Segundo Alvarez, Cantarutti e Ribeiro, a quantidade de amostras simples coletadas deve estar entre 20 a 30. Além disso, dentro da gleba, os locais amostrados devem estar bem dispersos por toda a extensão; recomenda-se que a distribuição dos locais seja feita em zigue-zague, garantido assim adequada representatividade do local.

Precedente à coleta das amostras simples, se faz necessária a limpeza da superfície do solo; removendo restos vegetais e animais e outros elementos que se encontrem no local, mantendo, porém, a camada superficial do solo intacta.

Salienta-se que as amostras simples devem possuir o mesmo volume de solo. Para que isso seja possível, utilizar-se-á a ferramenta denominada trado de amostragem; o qual possibilita a obtenção de quantidades mais ou menos constantes.

A amostra composta pode ser preparada em recipientes de plástico de tamanho adequado, nos quais se adiciona e mistura todas as amostras simples. Após o preparo da amostra composta, a quantidade demandada pelas análises é colocada em um saco plástico e enviada ao laboratório.

### ***8.2.2 Processamento e armazenamento***

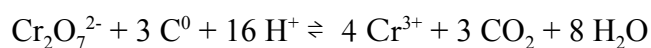
Após as amostras compostas coletadas se encontrarem no laboratório, é necessário que realize um processo de preparação da amostras para as subseqüentes análises. Segundo Fernandes e Galvani (2005), procedimento que deve ser seguido pode ser descrito através das seguintes etapas:

- 1) **Secagem:** Os torrões maiores presentes na amostra são manualmente quebrados e, devido ao assentamento do solo na amostra, é executado o revolvimento do material para facilitar a secagem. Após este procedimento, a amostra é seca a 40 °C em estufa com circulação de ar. A secagem deve ser finalizada a partir do momento em que a massa da amostra não se altera com o calor;
- 2) **Moagem:** Caso a amostra seca apresente ainda alguns torrões menores, utiliza-se de um almofariz com pistilo de porcelana para a quebra destes;
- 3) **Tamisação (peneiragem):** Posteriormente a moagem, a amostra é peneirada em malha de 2 mm;
- 4) **Acondicionamento:** As amostras, após passagem por estes três processos, são inseridas em sacos plásticos identificados, os quais são armazenados em caixas de papelão até o momento da análise.

### 8.3 Análises das amostras

#### 8.3.1 *Quantificação do teor de matéria orgânica*

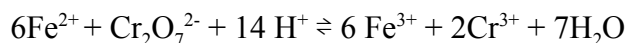
Para a quantificação da matéria orgânica presente na amostra, se utilizará o método de Walkley-Black, conforme citado por Embrapa (2011) e Junior, Silva e Torrado (1999). Tal método possui como princípio a oxidação do carbono orgânico total através de uma solução oxidante de dicromato de potássio (0,0667 M) em meio sulfúrico, utilizando o calor liberado do ácido ou uma placa elétrica como fonte de calor (EMBRAPA [1997] e EMBRAPA [2011]).



**Fonte:** EMBRAPA (1997)

Devido à proporção estequiométrica da reação, assume-se que o dicromato reduzido no processo é equivalente ao carbono orgânico da amostra. Portanto, o cálculo do teor de carbono orgânico é realizado considerando o volume de dicromato de potássio utilizado. O valor correspondente a este volume é obtido através da comparação da quantidade de uma solução de sulfato ferroso amoniacal (0,1 M) consumida na titulação de uma prova branca (contendo apenas dicromato de potássio em meio sulfúrico) com a utilizada na mistura do solo com o dicromato de potássio em meio sulfúrico. Essa comparação é possível pois no

segundo caso o sulfato ferroso amoniacal irá reagir com o excesso de dicromato de potássio resultante da reação deste com a amostra de solo. Portanto, caso a mesma quantidade de dicromato de potássio seja utilizada tanto na prova branca quanto na reação com o solo, a diferença de volume de sulfato ferroso amoniacal utilizado será proporcional a quantidade de carbono orgânico presente na amostra. A reação do sulfato ferroso amoniacal com o dicromato de potássio relacionada à titulação é a seguinte:



**Fonte:** Provinda do documento **Norma Técnica Interna SABESP - NTS 004**.

Precedentemente à titulação, em ambas as soluções serão adicionadas 3 gotas de indicador difenilamina. A titulação cessará no momento em que a coloração escura da solução se alterar para verde (CAMARGO [1986]; EMBRAPA [1999]; *apud* JUNIOR, SILVA e TORRADO [1999]).

Segundo Donagemma *et al.* (2017), a quantidade carbono orgânico é obtida através do seguinte cálculo:

$$C_{\text{orgânico}} = (0,003 \times V_d \times [40 - V_a] \times [40/V_b] \times 10)/m$$

No qual:

$C_{\text{orgânico}}$  — concentração de carbono orgânico ( $\text{g Kg}^{-1}$ );

$V_d$  — volume total de solução de dicromato de potássio adicionado na digestão da amostra (mL);

$V_a$  — volume da solução de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra (mL);

$V_b$  — volume da solução de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da prova branca (mL);

**Valor 0,003** — miliequivalente da massa de carbono ( $[\text{peso atômico/valência}]/1000$ );

**Valor 10** — passagem de % para  $\text{g kg}^{-1}$ ;

**m** — massa da amostra de solo (g).

Após a obtenção do valor referente ao carbono orgânico, necessita-se realizar a conversão para o teor de matéria orgânica presente na amostra. Para isso, multiplica-se a

concentração de carbono orgânico ( $C_{\text{orgânico}}$ ) por 1,724. Este valor provém da admissão de que, na composição média do húmus, o carbono participa com 58%, segundo Embrapa (2011).

$$\text{MO (g Kg}^{-1}\text{)} = C_{\text{orgânico}} \text{ (g Kg}^{-1}\text{)} \times 1,724$$

Com base em Embrapa (2011), o procedimento laboratorial referente a esta análise pode ser dividido nas seguintes etapas:

- Pesar uma massa de 0,500 g da amostra de solo e adicioná-la em um erlenmeyer de 250 mL;
- Adicionar, através do uso de uma pipeta, 10,00 mL da solução de dicromato de potássio (0,0667 mol/L) e 20,00 mL de ácido sulfúrico concentrado;
- Deixar o erlenmeyer preparado em repouso durante 20 a 30 minutos;
- Realizar o preparo de uma prova em branco e titulá-la com sulfato ferroso amoniacal (0,1 mol/L);
- Após o repouso, inserir um tubo de ensaio com 25 mm de diâmetro e 250 mm de altura cheio de água na boca do erlenmeyer, pois o tubo funcionará como condensador;
- Aquecer o erlenmeyer em uma placa elétrica até a fervura branca, por mais ou menos 5 minutos;
- Após o aquecimento, aguardar o resfriamento e adicionar 80,00 mL de água destilada (medida com a proveta), 2,00 mL de ácido ortofosfórico e 3 gotas de difenilamina;
- Titular com solução de sulfato ferroso amoniacal (0,1 mol/L) até que a coloração da solução torne de azul para verde;
- Anotar o volume utilizado de sulfato ferroso amoniacal.

### ***8.3.2 Análise do pH através do uso do peagâmetro***

O processo utilizado para a medição do pH da amostra de solo é relativamente simples. É caracterizado pela imersão de um eletrodo combinado em uma suspensão solo:líquido (água), com proporção de 1:2,5 (massa [g]/volume [mL]).

Uma massa de 10 g da amostra de solo é colocada em um tubo cônico do tipo falcon de 50 mL, juntamente com 25 mL de água destilada. A mistura formada deve ser agitada, utilizando um bastão de vidro, por cerca 60 segundos; após isso, deverá ficar em repouso por

1 hora. Posteriormente ao descanso, o recipiente deve ser agitado ligeiramente com um bastão de vidro; os eletrodos são mergulhados na suspensão homogênea e é efetuada a medida do pH. Este processo será repetido três vezes para cada amostra, encontrando a média e o desvio padrão das três medições.

### **8.3.3 Determinação de metais pesados**

Como já mencionado, os teores de metais pesados presentes nas amostras serão quantificados através do espectrômetro de absorção atômica por chama. O modelo do aparelho é o AAnalyst 400, produzido pela empresa PerkinElmer, que está disponível no laboratório do IFSC - Câmpus Jaraguá do Sul.

As curvas de calibração serão produzidas através do uso de soluções padrão de cromo, cobre, níquel, chumbo e zinco fornecidas pelo fabricante, as quais possuem uma concentração de 1000 mg/L. Estas curvas são realizadas visando delimitar uma equação de reta para cada metal analisado, possibilitando que a concentração deste seja conhecida a partir da absorbância envolvida no processo.

Para que as amostras sejam analisadas no espectrômetro de absorção atômica, visto que a quantificação só pode ser realizada com materiais líquidos, se faz necessária a digestão destas. Efetuar-se-á este procedimento através do uso de uma mistura de ácido nítrico com ácido clorídrico (1:3), pois, segundo Nogueira (2003), essa mistura é recomendada para a dissolução de metais, ligas e materiais biológicos, sendo muito utilizada em amostras ambientais e materiais geológicos.

Após a digestão, as amostras serão submetidas ao espectrômetro. O processo se repetirá, para cada amostra, três vezes; e, ao final, efetuar-se-ão cálculos que demonstrem a média obtida e o desvio padrão vinculado aos valores.

## **9 CRONOGRAMA**

	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Aprofundamento bibliográfico	X	X	X	X	
Visita prévia aos locais de coleta e	X				

preparação dos utensílios e ferramentas que serão utilizados nas análises					
Coleta das amostras de solo nos locais pré-delimitados	X	X			
Execução das análises estabelecidas		X	X		
Produção da discussão acerca dos resultados obtidos			X	X	
Escrita do relatório final			X	X	X
Apresentação do relatório produzido					X

## REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, Walter A. P. *et al.* **Conteúdos básicos de geologia e pedologia**. Viçosa: UFV, 2005.

ALTOÉ, Lenita P.; MENDES, Munique K.; SYLVIA, Frida de A. S. **Metais Pesado: Uma enorme pilha de problemas**. São Paulo: USP, 2013.

ALVAREZ, Victor Hugo; CANTARUTTI, Reinaldo Bertola; RIBEIRO, Antônio Carlos. **Amostragem do Solo**. Disponível em: <<http://tempuscomunicacao.com/agricola/wp-content/uploads/2012/07/instrucao-de-amostragem-solo.pdf>>. Acesso em: 14 de maio de 2018.

ALVES, Fábio. **O que é Cobre e qual sua principal utilização?** Disponível em: <<https://www.industria hoje.com.br/o-que-e-cobre-e-qual-sua-principal-utilizacao>>. Acesso em: 09 de junho de 2018.

BAIRD, Colin; CANN, Michael. **Química ambiental**. Tradução de Marco Tadeu Grassi *et al*; revisão técnica de Marco Tadeu Grassi. Porto Alegre: Bookman, 2011.

CAMPOS, Milton César Costa. **Atributos dos solos e riscos de lixiviação de metais pesados em solos tropicais**. Guarapuava, PR: 2010.

CHAVES, Marcelo S.; LIMA, Zuleide M. C.; SILVA, Fernando M.. **Gênese dos solos**. Natal, RN: EDUFRN, 2009.

COSTA, Aureliano N. GUARÇONI, André. **Influência de propriedades e características químicas dos solos na disponibilidade de metais pesados**. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/315671551>>. Acesso em: 12 de maio de 2018.

DINIS, Alzira; FRAGA, Helena. **Poluição dos solos: riscos e consequências**. Disponível em: <<https://bdigital.ufp.pt/bitstream/10284/574/1/49-54FCT2005-7.pdf>>. Acesso em: 30 de março de 2018.

DONAGEMMA, G. K. *et al.* **Manual de métodos de análise de solo**. 3ª ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de Solo**. 2 ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.

FAVERO, Luzia O. B.; LENZI, Ervim; LUCHESE, Eduardo Bernardi. **Fundamentos da química do solo**. Rio de Janeiro, RJ: Freitas Bastos, 2002.

FERNANDES, Fernando A.; GALVANI, Fábio. **Registro e preparação de amostras de solos para análises físicas e químicas**. Corumbá, MS: Embrapa, 2005.

FERREIRA, Diego; LIMA, Rafael; MESQUITA, Hugo. **Níquel**. Belém-PA: UFPA, 2008.

HUGEN, Camila. **Valores de referência para teores de Cr, Cu, Ni, Pb e Zn em solos do Estado de Santa Catarina**. Lages, 2010.

JUNIOR, José de S. A.; SILVA, Alexandre Christóforo; TORRADO, Pablo V. **Métodos de quantificação da matéria orgânica do solo**. Disponível em: <[http://www.unifenas.br/pesquisa/download/ArtigosRev1\\_99/pag21-26.pdf](http://www.unifenas.br/pesquisa/download/ArtigosRev1_99/pag21-26.pdf)>. Acesso em: 13 de maio de 2018.

KRUG, Francisco J.; NÓBREGA, Joaquim A.; OLIVEIRA, Pedro V. **Espectrometria de Absorção Atômica**. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/baccan/files/2011/05/AAS-geral-parte-1-revisada.pdf>>. Acesso em: 09 de junho de 2018.

LIMA, Erica S. *et al.* **Análise e monitoramento de metais pesados no solo**. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/286453977>>. Acesso em: 12 de maio de 2018.

LIMA, Marcelo R.; LIMA, Valmiqui C.; MELO, Vander de F. **O solo no meio ambiente: abordagem para professores do ensino fundamental e médio e alunos do ensino médio**. Curitiba, Paraná: UFPR, 2007.

MANAHAN, Stanley E. **Química ambiental**. Tradução de Félix Nonnenmacher. 9ª edição. Porto Alegre: Bookman, 2013.

NOGUEIRA, Ana R. de A. **Preparo de amostras**. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2003.

SILVA, Ivo Ribeiro. **Notas de aula – SOL 250: Química do solo**. Viçosa, MG: 2013.

SODRÉ, Fernando F. **Química de solos: uma introdução**. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/259931786\\_Quimica\\_de\\_Solos\\_Uma\\_introducao](https://www.researchgate.net/publication/259931786_Quimica_de_Solos_Uma_introducao)>. Acesso em: 31 de março de 2018.

SPÍNOLA, A. L. S. Inserção das áreas contaminadas na gestão municipal: desafio e tendências. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, 2011, 289 p.

TAVARES, Sílvio Roberto de Lucena. **Remediação de solos e águas contaminadas por metais pesados**. Rio de Janeiro, RJ: 2013.

TOLEDO, Maria C. M. **Intemperismo e pedogênese**. Publicado em: 2014. Disponível em: <[https://midia.atp.usp.br/impessos/lic/modulo02/geologia\\_PLC0011/geologia\\_top07.pdf](https://midia.atp.usp.br/impessos/lic/modulo02/geologia_PLC0011/geologia_top07.pdf)>. Acesso em: 31 de março de 2018.

TOLEDO, Maria Cristina Motta de. Intemperismo e pedogênese. In: *Geologia*[S.l: s.n.], 2014.

VOGEL, Arthur Israel. **Análise química quantitativa**. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

ZIMBACK, Célia Regina Lopes. **Formação dos solos**. Botucatu, SP: UNESP, 2003.

**Formação e tipos de solos**. Disponível em: <[http://www.eja.educacao.org.br/bibliotecadigital/cienciashumanas/apoio/Apoio%20ao%20Aluno/Temas%20de%20Estudo%20-%20EM/Geografia/Tema%2004\\_Forma%C3%A7%C3%A3o%20e%20Tipos%20de%20Solos.pdf](http://www.eja.educacao.org.br/bibliotecadigital/cienciashumanas/apoio/Apoio%20ao%20Aluno/Temas%20de%20Estudo%20-%20EM/Geografia/Tema%2004_Forma%C3%A7%C3%A3o%20e%20Tipos%20de%20Solos.pdf)>. Acesso em: 02 de maio de 2018.