



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS**

DANIEL RIBEIRO DE LIRA

**TEOR E FRACIONAMENTO DE NÍQUEL EM UMA TOPOSSEQUÊNCIA DE SOLOS
ULTRAMÁFICOS DE BUENOS AIRES-PE**

RECIFE

2022

DANIEL RIBEIRO DE LIRA

**TEOR E FRACIONAMENTO DE NÍQUEL EM UMA TOPOSSEQUÊNCIA DE
SOLOS ULTRAMÁFICOS DE BUENOS AIRES-PE**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à banca de avaliação, como requisito para obtenção do grau de Licenciado em Geografia, pelo curso de Licenciatura em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco.

Orientador: Prof.Drº Clístenes Williams Araújo do Nascimento
Coorientador: Me. Luiz Henrique Vieira Lima

**RECIFE
2022**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através
do programa de geração automática do SIB/UFPE

Lira, Daniel Ribeiro de.

Teor e fracionamento de níquel em uma topossequência de solos
ultramáficos de buenos aires-pe
/ Daniel Ribeiro de Lira. - Recife, 2022.

39 : il., tab.

Orientador(a): Clístenes Williams Araújo do Nascimento

Coorientador(a): Luiz Henrique Vieira Lima

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal
de Pernambuco, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Geografia -
Licenciatura, 2022.

Inclui referências, anexos.

1. Ciência do Solo . 2. Geografia física. 3. Metais pesados . 4. Solos. 5.
Solos serpentinos. I. Nascimento, Clístenes Williams Araújo do . (Orientação). II.
Lima, Luiz Henrique Vieira . (Coorientação). III. Título.

910 CDD (22.ed.)

DANIEL RIBEIRO DE LIRA

**TEOR E FRACIONAMENTO DE NÍQUEL EM UMA TOPOSSEQUÊNCIA DESOLOS
ULTRAMÁFICOS DE BUENOS AIRES-PE**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à banca de avaliação, como requisito para obtenção do grau de Licenciado em Geografia, pelo curso de Licenciatura em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco.

Aprovado em: 03/11/2022

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 CLISTENES WILLIAMS ARAUJO DO NASCIMENTO
Data: 16/01/2023 19:52:43-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Prof. Dr^o. Clistenes Williams Araújo do Nascimento
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dr^a Adriana Alves Batista de Souza
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof^a Dr^a Eugênia Cristina Gonçalves Pereira
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a meu avô Daniel Bezerra que assumiu um papel importante em toda minha vida, a meu Tio Jackson Ribeiro e minha Avó Ana Ribeiro por me apoiarem na minha segunda graduação e todas as loucuras que passei nela. À meu irmão mais novo Gabriel Ribeiro por ser um pouco de luz em um caminho tão complicado que foi minha vida no início da graduação.

Ao meu orientador, Prof. Dr^o. Clístenes Williams Araújo do Nascimento, e meu coorientador, Me. Luiz Henrique Vieira Lima me possibilitando a elaboração deste TCC e os dois projetos de pesquisa que participei durante 2 anos. A todos os meus colegas do Laboratório de Química Ambiental do Solo – LQAS, principalmente a Adriana Batista, Simone Lins e meus parceiros de Pibic como Poliana Ferreira, Lucas Mello e Taciana Paraizo por contribuírem ativamente para que pudesse concluir essa pesquisa com excelência. Aos meus colegas do Laboratório de Geografia Ambiental Lageam: Livia Andrea, André Vinicius, Ricardo Ferreira, Ana Vitória e principalmente a Professora Dr^a Eugênia Cristina Gonçalves Pereira por me dar a primeira oportunidade na pesquisa científica.

Ao meu grupo de amigos: Gabriel Soares, Juliana Barros, Alessandra Santana, Janete Nascimento, Camila Bandim, Thainá Caetano, Livia Andrea, Ana e Vanessa Pereira que carinhosamente apelidados de Ícones Geográficos. Sendo a principal base na minha saúde mental, em todos esses anos de graduação e suas dificuldades. A meu namorado Ítalo Gabriel que serviu de apoio emocional e até de correção desse TCC. Aos professores Osvaldo Girão da Silva e Talitha significativas contribuições conceituais e metodológicas. Os seus ensinamentos me guiam todos os dias em minha busca pelo conhecimento geográfico.

Às professoras doutoras Adriana Souza e Eugênia Pereira por aceitarem participar da banca de defesa, me presenteando com seus conhecimentos e experiências de vida. E por último ao Departamento de Geografia da UFPE, todos os professores e demais funcionários que trabalham para manter o globo do conhecimento geográfico girando. Obrigado a todos!

RESUMO

Solos ultramáficos apresentam altos teores de metais pesados como níquel (Ni), cromo (Cr) e cobalto (Co), e possuem baixa relação Ca/Mg, tornando-se ambientes pouco apropriados à produção agrícola e oferecendo riscos ao ecossistema. Assim, esse estudo teve como objetivo avaliar a geoquímica de Ni em uma topossequência de solo ultramáficos, localizada no município de Buenos Aires (PE), além de elaborar um plano de aula para alunos do ensino médio. Para isso, amostras de solo foram coletadas em diferentes posições no relevo: 168 m (P1), 216 m (P2) e 276 m (P3) de altitude. Após beneficiamento, em laboratório, foram realizadas as seguintes análises física e químicas: análise granulométrica, pH em água, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Al^{3+} trocável, acidez potencial (H+Al), P disponível, carbono orgânico (CO), Ni total e disponível e fracionamento químico do Ni no solo. As caracterizações químicas e física dos solos nos diferentes pontos apresentaram similaridade. Os valores de pH se aproximaram da neutralidade (6,3 – 7,1). Os teores de Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , P, Al^{3+} e CO foram considerados baixos nos três pontos. Adicionalmente, foi observada a inversão típica da relação Ca:Mg de solos ultramáficos (1:2 a 1:4). O maior teor de Ni disponível no solo foi encontrado no P1, parte mais baixa da topossequência. Enquanto os teores totais de Ni foram maiores no P3 da topossequência (276 m). Houve deslocamento do metal da fração residual para as frações de óxido de ferro amorfo e óxido de manganês. Com os teores totais, disponíveis e de fracionamento pode-se observar que o processo de intemperismo afetou a mobilização do Ni ao longo dos três pontos estudados. Após o processo de análise de dados e formulação das conclusões foi produzida uma aula para alunos do ensino médio.

Palavras-chave: metais pesados; relevo; solo serpentino.

ABSTRACT

Ultramafic soils have high levels of heavy metals such as nickel (Ni), chromium (Cr) and cobalt (Co), and have low Ca/Mg ratios, making them unsuitable environments for agricultural production and offering risks to the ecosystem. Thus, this study aimed to evaluate the geochemistry of Ni in an ultramafic soil toposequence, located in the municipality of Buenos Aires (PE), and to develop a lesson plan for high school students. For this, soil samples were collected at different positions in the relief: 168 m (P1), 216 m (P2) and 276 m (P3) altitude. After processing, in the laboratory, the following physical and chemical analyses were performed: granulometric analysis, pH in water, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, exchangeable Al³⁺, potential acidity (H+Al), available P, organic carbon (OC), total and available Ni, and chemical fractioning of Ni in the soil. The chemical and physical characterizations of the soil at the different points showed similarity. The pH values were close to neutral (6.3 - 7.1). The Ca²⁺, Na⁺, K⁺, P, Al³⁺ and CO contents were considered low in all three sites. Additionally, the typical inversion of the Ca:Mg ratio of ultramafic soils (1:2 to 1:4) was observed. The highest available Ni content in the soil was found at point 1, the lowest part of the toposequence. While the total Ni contents were highest at P3 of the toposequence (276 m). There was a shift of the metal from the residual fraction to the amorphous iron oxide and manganese oxide fractions. With the total, available and fractionation contents it can be observed that the weathering process affected the mobilization of Ni along the 3 studied points. After the process of data analysis and formulation of conclusions a lesson was produced for high school students.

Keywords: heavy metals; relief; serpentine soil

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 8 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA | 10 |
| 2.1 Formação do solo..... | 10 |
| 2.2 Solos ultramáficos | 11 |
| 2.3 Metais pesados | 12 |
| 2.4 Mobilidade do Ni em solos ultramáficos | 13 |
| 2.5 Fracionamento | 15 |
| 2.6 Toposequência..... | 16 |
| 2.7 Solo na educação..... | 17 |
| 3 OBJETIVOS | 19 |
| 3.1 Objetivo Geral | 19 |
| 3.2 Objetivos Específicos | 19 |
| 4 METODOLOGIA | 20 |
| 4.1 Área de estudo | 20 |
| 4.2 Análises química e física do solo..... | 21 |
| 4.2.1 Fracionamento químico do Ni no solo | 22 |
| 4.3 Análise estatística..... | 24 |
| 4.4 Desenvolvimento da aula | 24 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 25 |
| 5.1 Caracterização química e física..... | 25 |
| 5.2 Teores totais e disponíveis..... | 26 |
| 5.3 Fracionamento | 27 |
| 6 CONCLUSÕES | 29 |
| REFERÊNCIAS | 30 |
| ANEXO | 38 |

1 INTRODUÇÃO

Solos ultramáficos são formados pelo intemperismo de rochas serpentinizadas ou serpentinitos. Por conta do caráter ultramáfico, esses solos apresentam um teor de 70% de minerais ferromagnesianos, sendo assim, caracterizados por uma mineralogia carente em sílica (PABLO et. al., 2006). Além disso, ocorrem em apenas 3% da superfície terrestre (GUILLOT & HATTORI, 2013). Devido a sua origem litológica esses solos apresentam uma relação Ca:Mg invertida (1:3), e altos teores de metais como níquel (Ni), cromo (Cr) e cobalto (Co), sendo pobres em fósforo (P), potássio (K) e matéria orgânica, dessa forma, são inviáveis para produção agrícola se não forem devidamente manejados.

Os metais pesados presentes nesses solos podem trazer riscos à saúde humana. Contudo, sua disponibilidade é diretamente afetada por fatores como clima e relevo, que influenciam em processos como: deposição de material, erosão e retenção de água que colaboram com a gênese desses solos. Metais como o Ni e o Cr, liberados no processo de intemperismo dos solos ultramáficos/serpentinizados, tornam-se uma possível fonte de contaminação não humana (CHENG et. al., 2011). Como a mineralogia está ligada diretamente às propriedades pedogênicas, pode-se dizer que a disponibilidade de metais está ligada diretamente à gênese do solo (BANI et. al., 2014). Por isso, estudos de topossequências são importantes para compreender a dinâmica desses elementos no ambiente (CAMPOS et. al., 2012).

Mesmo que a concentração de metais pesados seja de origem natural, é necessário observar os teores nesses solos, já que podem oferecer riscos a saúde humana, a depender do nível de exposição humana ao metal. A exposição ao Ni pode ocorrer por inalação de ar, resultando em problemas pulmonares como bronquite e câncer de pulmão; ingestão de água e de alimentos contaminados, causando alterações sanguíneas, gastrointestinais e renais; ou por contato dérmico, que causa dermatite de contato (CETESB, 2021).

O teor de Ni nos solos agrícolas pode variar de 3 a 1000 mg kg⁻¹. Para monitoramento do teor de Ni no solo o CONAMA (2009) estabelece valores orientadores, por exemplo, o valor de prevenção é de 30 mg kg⁻¹, o valor de intervenção em área agrícola, residencial e industrial é de 70, 100 e 130 mg kg⁻¹. Contudo, em solos ultramáficos, o teor de Ni no solo pode ser dezenas de vezes

maior do que o valor de intervenção estabelecido pelo CONAMA, por exemplo, na cidade de Niquelândia – MG foi observado que o teor de Ni no solo, ultramáfico, da região variou de 2330 a 4577 mg kg⁻¹ (Gamier et al., 2006), nesse caso consta de teores naturais, mas que podem trazer riscos à saúde humana. Apesar dos altos teores totais de Ni nestes solos é importante salientar que somente a fração de Ni disponível no solo é que pode ser absorvida pelas plantas.

Uma das ferramentas que podem ser usadas para avaliar a disponibilidade e mobilidade do Ni e de outros metais no solo é o fracionamento químico, que consiste no uso de reagentes para avaliar em quais frações do solo (ex. trocável, ligado a óxido de manganês, óxido de ferro amorfo, óxido de ferro cristalino e na fração residual) o metal está associado (SILVA & VITTI, 2008; TESSIER, 1979). Dessa forma pode-se inferir sobre a disponibilidade do metal para absorção pelas plantas esobre quais frações podem aportar o metal mais facilmente para a fração trocável dosolo em função de mudanças no ambiente.

O extrator utilizado para quantificar o teor do metal na fração disponível do solo precisa se correlacionar com os teores observados na planta, nesse sentido, o extrator ácido dietilenominopentacético (DTPA) é um dos mais utilizados (GUSELNIKOVA et. al., 2017).

O estudo do teor total e disponível de Ni em topossequência em uma área de solo ultramáfico é importante, para observação possíveis áreas com valores elevados de Ni. Adicionalmente, entender como esse metal se move nas frações do solo ultramáfico para demonstrar os locais mais suscetíveis a problemas ambientais futuros. Diante deste contexto, esse trabalho avaliou a dinâmica do Ni em uma topossequência de solos ultramáficos do município de Buenos Aires - PE, junto a isso desenvolveu uma aula baseada nos conhecimentos retidos com solos ultramáficos para conscientização de alunos do ensino médio sobre a importância desses solos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Formação do solo

É a camada superficial da crosta terrestre alterada ou decomposta em contato com a atmosfera e com o universo vivo ou biosfera (Coelho e Terra, 2001). São originalmente formados por processos que atuam diretamente na sua fonte primária, ou seja, no material de origem onde sua composição da origem a maioria dos solos (OLIVEIRA,2011). O processo de formação do solo passa por muitos caminhos, um deles é o material de origem, que seria um dos fatores que influenciam na formação do solo. Os processos que englobam essa formação vão de químicos, físicos e biológicos. na degradação das rochas durante anos. Formando um sistema complexo e cheio de vida formado por vários aspectos que estão sobre influência de condições climáticas, que compõe a sua formação (STAMFORD et. al.,2006).

O intemperismo é um dos processos que faz parte da gênese e formação do solo, dividido entre físico e químico. Sendo o intemperismo físico processo de fragmentação e degradação de rochas, não tendo alterações químicas já o intemperismo químico promovendo a degradação mineral com o principal agente sendo a água (DE TOLEDO et. al.,2014). No intemperismo físico temos fatores como vento e temperatura como atuantes na degradação das rochas, no químico a água é o principal agente de degradação, mas também temos que levar em conta processos químicos causados por plantas e raízes.

A composição desse solo tem muita relação com o material de origem, que determina também quais forças vão atuar e quanto tempo vai levar para ele se formar. A depender de outros fatores como clima, relevo, microrganismos e tempo. O clima atuando diretamente a quantidade de vento e água levada para outras posições do relevo que dependendo de como o relevo se encontra o clima vai atuar de forma diferente. Além microrganismos dentro do solo podem mudar sua composição, adsorver materiais ou deixá-los mais suscetíveis a lixiviação. E por último o mais importante nesse processo é a passagem do tempo, porque mesmo com esses fatores atuando é preciso tempo para formação e esse tempo é determinante para avaliarmos em que estado esse solo se encontra.

Todos os processos de formação do solo podem mudar elementos e até transformá-los no processo dependendo de que elemento estamos falando e de que solo estamos nos referindo. O solo ultramáfico por exemplo formado de um processo de intemperismo de rochas serpentinizadas ou serpentinitos, essas rochas têm seus minerais dissolvidos no solo que foi formado. A dissolução de minerais por meio do intemperismo é incongruente, resultando a disposição de alguns elementos e outros não. Assim como pode ocorrer a migração de elementos de um horizonte para o outro, isso variando de acordo com o tamanho das partículas onde os minerais pedogênicos se aderem melhor a argila por exemplo. A monossilificação é um processo muito comum em solos de ambientes tropicais úmidos, caracterizado por um intemperismo intenso sobre os minerais primários o material residual remanescente, geralmente é rico em Fe e Al, e óxidos Ti e Mn, bem como elementos pesados tais como Ni, Zr e Cr (SCHATZL e ANDERSON, 2005).

2.2 Solos ultramáficos

Solos ultramáficos comumente chamados de serpentinos cobrem aproximadamente 3% da superfície terrestre, com manchas significativas em regiões temperadas como: Sul Europa, Turquia e Califórnia; e tropicais como: Cuba, Nova Caledônia, Brasil, Filipinas, Malásia, Indonésia, Omã e pequenas manchas ao todo o mundo (GUILLOT & HATTORI, 2013; Echevarria, 2018). Sendo formado pelo processo de intemperismo de rochas ultramáficas, como o periodotito e a serpentina, com minerais ferro magnesianos e teor de sílica de menor que 45% (Galey et. al., 2017). Pelo seu conteúdo mineralógico inicialmente como Peridotito, uma rocha ígnea que contém olivinas e piroxênios com pequenas quantidades de cromita. Em um processo metamórfico, após a incorporação de água, podemos chamar de serpentinação a transformação completa do periodotito em serpentina. No processo os minerais são substituídos e transformado, se tornando Mg (Magnésio), Fe (Ferro), Ni (Níquel), Mn (Manganês), Al (Alumínio) e Zn (Zinco) (NASCIMENTO et. al., 2022).

As rochas ultramáficas em países tropicais normalmente têm origem muito profundas, argilosas e em solos com intemperismo alto com graus de serpentinização e depósitos niquelados como é o caso de Niquelândia no Brasil por exemplo (Ratié et al., 2021).

As serpentinas, principais minerais da rocha que forma o solo ultramáfico, são formadas em condições mais próximas da superfície considerando temperatura e pressão fazendo com que os minerais primários sejam até mais estáveis que a maioria dos outros minerais primários. A vegetação que cresce normalmente é resistente às condições extremas do solo com uma baixa produtividade primária, apresentando até um contraste com a vegetação vizinha (DE ANDRADE et. al., 2022).

Ademais, a relação Ca/Mg se encontra invertida, dessa forma esses solos têm baixos teores de Ca e altos teores de Mg sendo rico também em ferro por conta da intemperização principalmente das olivinas (KIERCZAK et al., 2016). O teor alto de metais pesados como o Cr, Ni e Co, muito presentes nesses tipos de solos, podem ser potencialmente perigosos à saúde humana, já que esse metal pode ser inalado, ingerido, ter algum contato dermal ou lixiviar em direção aos lençóis freáticos e contaminar a água. Além disso, devido aos teores desses metais e a relação Ca/Mg inversa representam risco de bioacumulação de metais e dificultam a produção agrícola (BANDARA et al. 2017).

2.3 Metais pesados

Metais pesados termo cunhado para falar do elemento com densidade superior a 5 g/cm^3 , capazes de formar sulfetos. Além disso, tem uma característica de elevados níveis de reatividade e bioacumulação que pode ser perigoso à saúde humana por causar diversas reações químicas não metabolizantes (SOUZA, 2018). Podemos chamar metais pesados esses elementos: chumbo (Pb), cádmio (Cd), níquel (Ni), cobalto (Co), ferro (Fe), zinco (Zn), cromo (Cr), arsênio (As), prata (Ag). Alguns deles sendo micronutrientes, são eles zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn), níquel (Ni) e cobalto (Co) enquanto os outros não tem função biológica conhecida (GONÇALVES, 2002; MARSCHNER 1995; SOUZA, 2018).

Os solos ultramáficos encontram-se os maiores valores naturais para alguns desses metais, contudo três metais são os considerados mais preocupantes por conta dos seus teores. Níquel, Cr e Co podem chegar em valores de 60, 29 e 10 mg kg^{-1} respectivamente na maioria dos solos, já em solos ultramáficos esses valores aumentam muito o Ni pode chegar a mais de $70.000 \text{ mg kg}^{-1}$, Cr mais de 17.000 mg

kg⁻¹ e o Co a mais de 7.000 mg kg⁻¹ (KABATA-PENDIAS, 2011; VITHANAGE et al., 2019).

O Níquel dentre esses metais tem sido o metal mais pesquisado por diversos fatores, desde altos teores naturais até por ser um dos metais mais móveis dentro do solo. Ele tem o número atômico 28, que está classificado como mineral de transição comumente encontrado em depósitos de cobre o que rendeu o nome de cobre branco, os minerais que normalmente estão associados ao Ni são os sulfetos (pentlandita e a garnierita).

Os maiores depósitos desse metal no momento são as rochas ultramáficas, contendo em média 2000 mg kg⁻¹ de Ni, enquanto a crosta terrestre possui cerca de 47 mg kg⁻¹ (González-Álvarez et al. 2013). Inclusive é conhecido como um micronutriente, entrando no processo de produção de nitrogênio, se for aplicado como Ni foliar pode aumentar a produção (Lopes et. al., 2014). Por conta da quantidade de Ni e de outros metais e seu processo de bioacumulação e solubilização facilitada, torna necessário avaliar a mobilidade deste metal ao longo da mancha de solos ultramáficos. Os processos erosivos e deposição de água podem disponibilizar o Ni que estava nas frações mais recalcitrantes do solo, tornando ele um potencial risco à saúde e ao ambiente.

2.4 Mobilidade do Ni em solos ultramáficos

A dinâmica do níquel é diretamente ligada a textura, pH, teor de matéria orgânica, composição mineral, temperatura do solo e atividade microbiana (Kabata-Pendias, 2011). Dessa forma, os teores disponíveis dependem desses fatores para sofrerem alguma alteração dependendo da solubilização e mobilidade de alguns metais. O Ni por sua vez é um metal relativamente móvel se assemelhando ao Cd em questão de movimentação no solo (Sheppard e Thibault, 1992).

Metais como o Ni são alvo recorrente de pesquisas em ambientes ultramáficos, devido seus teores elevados nesses solos. Porém a avaliação desses ambientes como risco depende da biodisponibilidade desses metais. Em ambientes ultramáficos o Ni normalmente se encontra em frações mais recalcitrantes do solo, fazendo com que sua mobilidade seja dificultada (POZNANOVIC SPAHIC et al., 2019). Porém, processos intempéricos, principalmente em ambientes tropicais, podem aumentar a disponibilidade desse elemento.

A biodisponibilidade do níquel está diretamente ligada a quantidade de óxidos, ao pH do solo, a processos erosivos, a deposição de água, a quantidade de matéria orgânica e teor de argila. A erosão do solo e a deposição de água por exemplo pode mobilizar o níquel de uma fração a outra, tornando mais solúvel e possibilitando a absorção por plantas ou carreando o mesmo para os lençóis freáticos. O pH também deve ser levado em consideração já que a solubilidade do Ni tende a diminuir com o aumento do pH no solo, ou seja, o contrário também acontece se o solo estiver mais ácido esse elemento se torna mais solúvel e móvel (DE MACEDO et al., 2016).

O comportamento desse metal no solo está ligado diretamente a fatores biogeoquímicos, e para entender como esse metal se apresenta no solo precisamos avaliar os seus teores no solo. Já que mesmo que esse elemento estando presente no solo ultramáfico em grandes quantidades, não quer dizer necessariamente oferece algum risco aos seres vivos. Teores como disponíveis e totais precisam ser avaliados para entender a dinâmica desse metal no solo, que mesmo sendo móvel nem sempre oferece riscos já que ele também pode ser benéfico dependendo da sua concentração e como é usado.

Os teores de metais são usados para entender em que estado se encontra aquele metal no solo, por sua vez cada teor tem sua característica. Os teores totais, se referem a totalidade do metal no solo, que compõe todo metal desde mais disponível até o mais recalcitrante (Lázaro et. al., 2006). Já os teores disponíveis, trata-se do metal que está mais ambientalmente acessível por exemplo pela planta. A vista disso a disponibilidade está ligada diretamente a mobilidade do metal, que está em frações recalcitrantes e se disponibilizada devido a vários fatores já supracitados. Para determinar os valores disponíveis de Ni em solos ultramáficos, precisamos escolher bem os extratores. O ácido etilenodiaminotetraacético – EDTA já foi usado para avaliar a disponibilidade de Ni já que ele consegue acessar metais organicamente ligados (Sahuquillo et al. 2003).

Contudo o extrator (ácido dietilenotriaminopentaacético – DTPA foi criado originalmente para descobrir a deficiência de micronutrientes em solo, ademais foi descoberto uma alta afinidade com os íons metálicos que outros extratores, sendo assim mais usado quando o trabalho se refere a solos ultramáficos. (GUSELNIKOVA, 2017; CHARDOT-JACQUES et al., 2013; ECHEVARRIA et al.,

1998; ECHEVARRIA et al., 2006; LAZARUS et al., 2011; L'HUILLIER; EDIGHOFFER, 1996; ÜNVER et al., 2013).

2.5 Fracionamento

Para avaliar a mobilidade no ambiente e a possibilidade de disponibilizar o Ni, existem vários métodos, um deles é o fracionamento químico que também é conhecido como extração sequencial e pode ser definido como a extração de metais feita em diferentes frações do solo usando reagentes apropriados (Silva,2012). Os íons metálicos se dividem em cinco fases de biodisponibilidade, são eles: trocável, ligado à matéria orgânica, óxido de manganês, óxido de ferro amorfo e óxido de ferro cristalino, além da fração residual. Quando estamos falando de metais pesados algumas características devem ser observadas no fracionamento, já que a mobilidade de metais como níquel no solo pode representar um risco a saúde se o mesmo estiver acessível no solo. Dentro das frações que podem ser avaliadas existem algumas como na fração trocável que representa a fase mais disponível e que pode gerar um problema de toxicidade dependendo da sua quantidade encontrada nessa fração (Arenas-Lago et. al.,2014).

Metais como o Ni normalmente são mais observados nas frações recalcitrantes, quando estamos falando de solos ultramáficos. Dependendo das condições de o solo se encontra o Ni pode ser encontrado em frações diferentes (Lázaro et. al., 2006). Mas ainda sim junto ao cádmio o níquel é um dos metais mais moveis por isso é necessário avaliar sua disponibilidade nos solos ultramáficos juntamente a como ele sai de uma fração a outra, dessa forma podemos observar os fatores naturais e correlacionar com os teores desse elemento observando se ele é toxico ou não.

O fracionamento permite avaliar a disponibilidade e toxicidade dentro das dinâmicas e transformações naturais dos metais pesados em diferentes ambientes (SILVA & VITTI, 2008). Ele é utilizado porque os teores totais não correspondem exatamente à toxicidade do solo, já que ele representa a quantidade de metal em todo solo disponível ou não. Nem todo metal encontrado está disponível e solúvel o suficiente para considerar o solo perigoso para a saúde humana.

Além da fração trocáveis mostrarem que o metal esta mais ambientalmente acessível as próximas frações têm suas próprias características, sendo a residual a

fração mais recalcitrante e as oxidantes as que mais oferecem risco por serem frações que facilitam a mobilidade do metal dependendo da mudança de ambiente (JIA et. al.,2022).

Para avaliar a dinâmica do Ni no solo, precisamos entender o ambiente onde o solo ultramáfico se encontra, mais precisamente, como o relevo pode influenciar na dinâmica desse metal. A avaliação do solo em uma topossequência é uma estratégia interessante para avaliar como o Ni se comporta nas diferentes frações do solo e em qual situação do relevo representa maiores riscos para o ambiente.

2.6 Topossequência

Topossequência é o nome que se dá a sequência de solos que pode ser observada ao longo de uma encosta (Brady et. al.,2002). Dessa forma, para avaliar precisamente uma região os estudos de topossequência são usados, já que dentro desse tipo de metodologia é possível avaliar como o relevo pode interferir nas mudanças no solo.

O relevo está diretamente vinculado a formação do solo e como ele se comporta com o passar dos anos. Elementos químicos e físicos dentro desse solo não são apenas materiais estáticos eles se modificam e podem se movimentar dentro do solo. Por isso, comparações em pontos diferentes do relevo são importantes para entender a dinâmica daquele elemento naquela região. Já que diferentes tipos de relevo são afetados por fatores como o clima de forma diferente,e um elemento pode não ter o mesmo comportamento em regiões diferentes mesmose tratando do mesmo material de origem.

Diferentes tipos de relevo, característica do material de origem e processos pedológicos aponta o tipo de distribuição do solo nas paisagens. Sendo a paisagem um condicionante para a formação do solo essa condição está diretamente ligada ao relevo. O tipo de solo formado e suas variações dependem da posição do solo na paisagem, devido à drenagem do terreno, erosão e vegetação os quais atuam de forma direta no desenvolvimento do solo (MEIRELES et. al., 2012).

Dentro dos estudos do Ni vemos que claramente é um dos metais mais solúveis no solo, se comparado a outros metais pesados, devido a processos ligados ao intemperismo, dessa forma estudos de topossequência são necessários para avaliar a mobilidade do metal ao longo do relevo, que por sua vez afeta

diretamente os componentes do solo, dessa forma deixando o Ni mais ou menos biodisponível. Propiciando processos como deposição de materiais e retenção de água em uma determinada área, fazendo com que assim o metal se desloque das frações mais recalcitrantes e se torne de fácil acesso. Além disso a lixiviação de materiais do topo da topossequência para as regiões mais baixas do relevo, processos de deposição de materiais pelo vento e chuva entre outros comportamentos que podemos observar.

2.7 Solo na educação

O Solo tem se tornado um tema muito atual na educação, dada a sua importância em questões ambientais, hoje, esse tema faz parte do currículo escolar. O interesse por conservação do meio ambiente passa por vários âmbitos desde os climáticos até a conservação do solo onde pisamos, dessa forma se faz necessário uma construção de conhecimento em cima dessa temática. Segundo Muggler em 2006 “A Educação em Solos tem como objetivo geral criar, desenvolver e consolidar a sensibilização de todos em relação ao solo e promover o interesse para sua conservação, uso e ocupação sustentáveis.” Com aulas voltadas para o solo o professor tem como objetivo desenvolver o senso crítico de preservação do solo em seus alunos, e por ser um assunto tão familiar facilita a sensibilização do mesmo.

Como professor devemos visualizar no aluno, não um mero espectador, e sim um indivíduo atuante no processo de degradação ou de proteção do meio ambiente. O método construtivista de Vigotsky, com base em Piaget, entende que os alunos além de terem seu conhecimento hereditário têm o conhecimento do meio que o afeta diretamente. Quando falamos em Brasil temos os ideais deixados por Paulo Freire que entende a educação como uma construção permanente de significados da realidade, e o indivíduo como ator dessa realidade.

De uso da educação em solos partem da perspectiva da conscientização e formação do ser crítico que entende os solos como parte da vida no planeta e sua conservação quer dizer conservar a vida humana. Partindo desse pressuposto são criadas várias metodologias que podem ajudar nessa conscientização, por exemplo, um projeto bem comum em torno do assunto é o uso de tintas formadas de solo, como maneira de aproximar o aluno desse assunto. A diversidade de tonalidades os faz questionar sobre as diferentes composições do solo e sobre como ocorrem na

natureza. Um recurso simples, de baixo custo e de alto impacto na percepção do solo como parte do ambiente.

Um exemplo de metodologia usada para sensibilizar as crianças na importância do solo para sociedade e a Escola Agrotécnica no Município de Sumé (PB) foi ofertado um minicurso sobre as formações, funções, características e potencialidades do solo. Após isso as amostras foram coletadas, destorroadas e secas em estufa para pôr fim misturar a água e colo em baldes para confecção da tinta. E foi pedido aos alunos que levassem cartolinas para que fosse feito um catálogo de cores. Aplicando esse minicurso foi percebido uma interação entre agricultores e acadêmicos dessa forma promovendo o conhecimento do solo onde esses agricultores trabalham (Da Silva et. al., 2018).

Também podemos fazer uso da geografia ambiental nesse contexto de educação em solos ultramáficos, termo muito conhecido na geografia física acadêmica, mas pouco levado para sala de aula. Por ser um degrau a mais em alguns assuntos ele passa despercebido de algumas aulas como a de geologia ou a aula de solos. Se o tema de solos já é pouco explorado em sala de aula imagine diferentes tipos de solo, projetos como trabalhar com a cor de solos pode aproximar os alunos nesse tema.

Mas podemos usar outros instrumentos metodológicos para propiciar a sensibilização do aluno, um deles que é usado na geografia física é o estudo do meio onde o aluno é exposto a o que vai ser estudado, indo a campo junto ao professor para desenvolver um trabalho que extravasa a escola se tratando de um método ativo e interativo que requer um trabalho interdisciplinar (Bueno, 2009).

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Estudar a geoquímica e disponibilidade de Ni ao longo de uma topossequência de solos ultramáficos em Pernambuco e desenvolver uma aula baseada nos conhecimentos de solos ultramáficos.

3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar química e fisicamente solos ultramáficos desenvolvidos em Buenos Aires - Pernambuco;
- Proceder a um fracionamento químico do Ni no solo para entender a dinâmica de distribuição desse metal em pontos de solos ultramáficos;
- Determinar os teores biodisponíveis de Ni por extração com ácido Dietilenotriaminopentacético (DTPA) em diferentes perfis de solo na topossequência.
- Desenvolver uma aula com base nos conhecimentos retidos sobre solos ultramáficos

4 METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

A região de estudo foi o complexo ultramáfico localizado no município de Buenos Aires (S 07°45'39.4.7", W 035°24'45.1", altitude de 180 m), Zona da Mata de Pernambuco (Figura 1.) (NUNES et al., 2019).

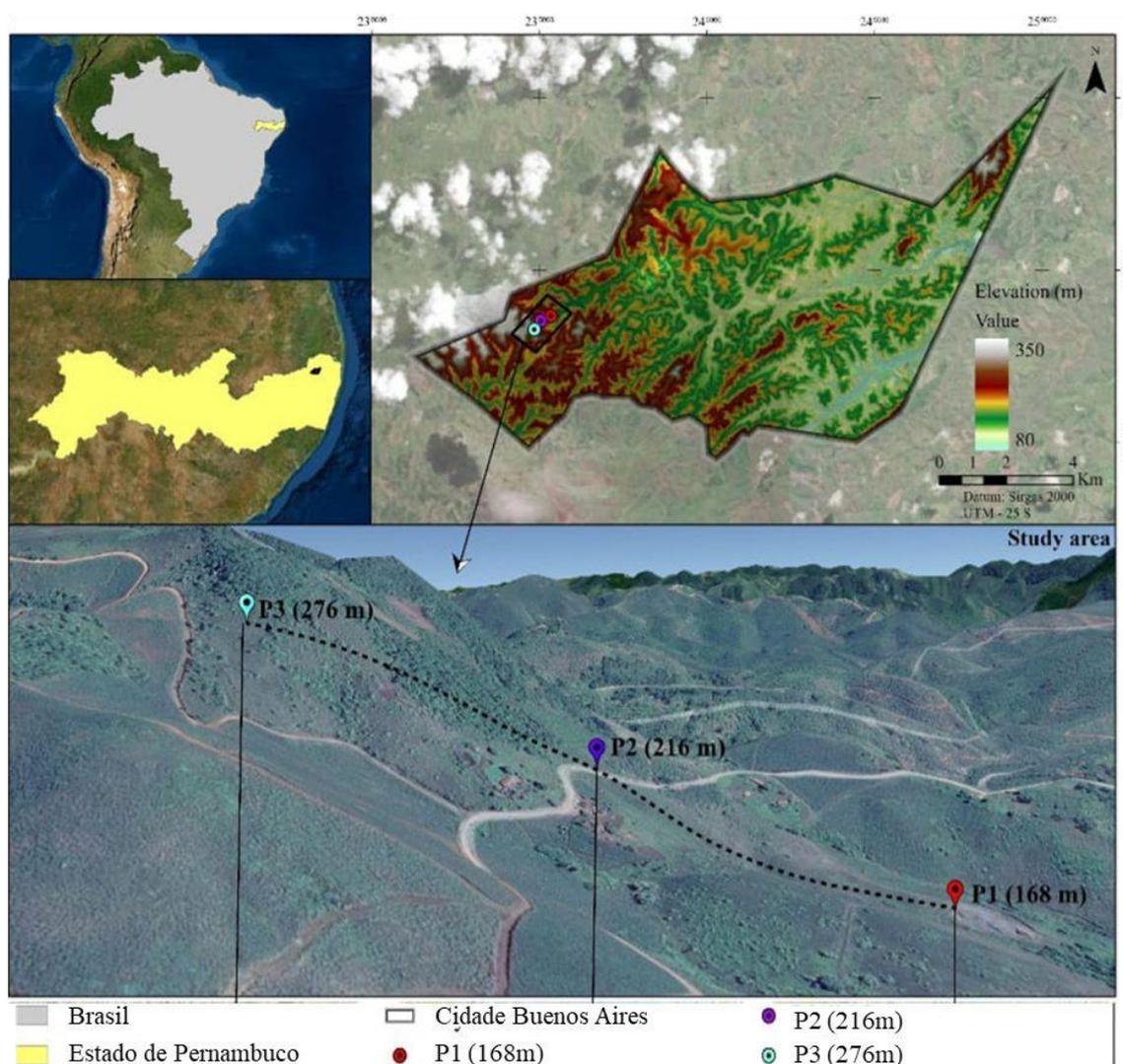


Figura 1. Mapa hipsométrico da área de estudo, localizada no município de Buenos Aires – PE.

Os solos são originados da rocha ultramáfica dunito, uma rocha ígnea plutônica (BRASIL, 2001). A região é caracterizada por apresentar clima tropical úmido, com precipitação pluvial média de 1800 mm, temperatura média anual de 27 °C, umidade relativa de 80% e relevo ondulado (Figura 2). A vegetação é composta

por Mata Atlântica e áreas de cultivo de cana-de-açúcar. Uma topossequência com três pontos de solo foi delimitada do ponto mais baixo para o mais alto da paisagem.



Figura 2. Imagem da região demonstrando o relevo ondulado.

4.2 Análises química e física do solo

Amostras de 0-20 cm foram coletadas de cada ponto e transportadas para o Laboratório de Química Ambiental de Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco. As amostras de solo foram, homogeneizadas, secadas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de abertura (TFSA) para caracterização química e física.

Os atributos químicos determinados foram: pH em água (1:2,5); K^+ e Na^+ trocáveis extraídos com Mehlich-1 e determinados em fotômetro de chama; Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis extraídos com KCl 1 mol L^{-1} e determinados pelo método volumétrico por titulação com EDTA (0,0125 mol L^{-1}); Al^{3+} trocável extraído com KCl 1 mol L^{-1} e

determinado pelo método volumétrico por titulação com hidróxido de sódio ($0,025 \text{ mol L}^{-1}$); acidez potencial extraída com solução de acetato de cálcio ($0,5 \text{ mol L}^{-1}$), com pH ajustado para 7 e titulação com hidróxido de sódio ($0,025 \text{ mol L}^{-1}$); P disponível extraído com Mehlich-1 e determinado em calorímetro; carbono orgânico e nitrogênio total (TEIXEIRA, 2017).

A granulometria foi realizada pelo método do densímetro. Resumidamente: Em garrafa plástica, 50 g de solo (TFSA) foi dispersado com 100 ml de solução de hexametáfosfato de sódio tamponada com carbonato de sódio por 16 h em agitador tipo Wagner a 50 rpm. Depois da agitação todo conteúdo da garrafa foi transferido para proveta de 1000 ml após passado em peneira de 0,053 mm, para separação da areia. A areia lavada foi transferida para latas de alumínio e levadas a estufa a 105° C para secagem por 24h. O conteúdo da proveta foi ajustado para 1000 ml com água de torneira, e agitado vigorosamente com bastão para homogeneização. Após uma hora e meia foi feita a determinação da densidade da solução com o uso de um densímetro para quantificação do silte, e após 24h para quantificação da argila. Com base nos valores foi calculado o teor de silte e de argila do solo (TEIXEIRA, 2017).

Os teores totais dos metais foram obtidos após digestão de 0,2 g de solo macerado (0,075 mm) em ácido fluorídrico, ácido nítrico e ácido clorídrico à 190° C em chapa aquecedora (Alvarez et al., 2001). Para controle de qualidade da digestão foi utilizada uma amostra de solo certificada (Nist San Joaquim).

A disponibilidade dos metais no solo foi realizada por meio da solução extratora DTPA $0,005 \text{ mol L}^{-1}$ pH 7,2 por 2 h a 220 rpm, posteriormente os extratos foram centrifugados, filtrados e armazenados a $4,0^\circ \text{ C}$ (TEIXEIRA, 2017).

A determinação dos metais foi feita por espectrometria de emissão óptica por plasma acoplado indutivamente (ICP- 22 OES/Optima 7000, Perkin Elmer).

4.2.1 Fracionamento químico do Ni no solo

Amostras de solo foram submetidas ao fracionamento segundo método descrito por QUANTIN et al. (2002), que por sua vez foi modificado por LELEYTER e PROBST (1999), exceto a etapa 1 (fração trocável), adaptada segundo a metodologia usada por VAN DER ENT et al. (2018), utilizando-se cloreto de cálcio como reagente extrator. Esse fracionamento objetivou separar do metal nas frações trocável, óxido de manganês, óxido de ferro amorfo e óxido de ferro cristalino. A

etapa para a fração matéria orgânica foi desconsiderada porque o solo trabalhado possui um teor considerado baixo. O procedimento realizado está descrito a seguir:

- **Fração Trocável (Tr)** – 1 grama de TFSA e 10 mL de cloreto de cálcio (CaCl_2 0,1 mol L⁻¹) foram agitados por duas horas em um tubo de centrífuga com capacidade para 50 mL. Em seguida, a amostra foi centrifugada, o sobrenadante filtrado e 10 mL de água destilada adicionada ao tubo. A amostra passou por outra agitação por 3 min, sendo centrifugada e filtrada. Os dois sobrenadantes foram combinados para análise.
- **Fração Óxido de manganês (OxMn)** – No mesmo tubo, ainda com a amostra de solo da extração anterior, 10 mL de cloridrato de hidroxilamina ($\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ 0,1 mol L⁻¹), pH 2,0, foram adicionados ao tubo de centrífuga e a amostra foi agitada por 30 minutos. Em seguida, a amostra foi centrifugada, e o sobrenadante, filtrado. Após adição de 10 mL de água destilada, a amostra no tubo de centrífuga foi agitada por 3 min, centrifugada e filtrada novamente. Os dois sobrenadantes foram combinados para análise.
- **Fração Óxido de Ferro Amorfo (OxFeA)** – 10 mL de uma solução de oxalato de amônio ($(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$ 0,2 mol L⁻¹) + ácido oxálico ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 0,2 mol L⁻¹), pH 3,0, foram adicionados à amostra no tubo de centrífuga, seguindo-se agitação por 4 horas no escuro. As amostras foram centrifugadas e filtradas. Posteriormente, 10 ml de água destilada foram adicionados ao tubo e agitados por 3 minutos, centrifugado e filtrado. Os sobrenadantes da lavagem foram combinados para análise.
- **Fração Óxido de Ferro Cristalino (OxFeC)** – 50 mL de uma solução com citrato de sódio ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - 78.4 g L⁻¹) + bicarbonato de sódio (NaHCO_3 - 9.82 g L⁻¹), pH 7,0, foram colocados em contato com a amostra de solo no tubo de centrífuga e aquecidos por 15 minutos a 80 °C em banho- maria. Após esse período, 1 grama de ditionito de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) foi adicionado ao tubo, onde permaneceram em banho – maria por mais 30 minutos. Em seguida, as amostras foram submetidas à centrifugação e à filtragem. Esse processo foi repetido três vezes, até o momento em que as amostras de solo começaram a apresentar uma coloração cinza.
- **Fração Residual:** Os teores dos metais presentes nesta fração foram obtidos pela diferença entre a soma das frações anteriores e o teor obtido da digestão

total da amostra. O procedimento de extração sequencial foi realizado utilizando-se as mesmas dosagens usadas no experimento com plantas em casa de vegetação.

O teor de Ni, em cada fração, foi determinado por espectrometria de emissão óptica por plasma acoplado indutivamente (ICP- 22 OES/Optima 7000, Perkin Elmer).

4.3 Análise estatística

. Os dados foram submetidos a estatística descritiva usando média dos valores e desvio padrão. O software utilizado foi o Statistica v.10.0.

4.4 Desenvolvimento da aula

Para desenvolvimento do plano de aula foi usado a prática do 'estudo do meio', voltado para o 1º ano do ensino médio, com base no currículo de Pernambuco. Nesta aula foi desenvolvido os conhecimentos sobre a formação e as características dos solos ultramáfico.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização química e física

O pH em água no solo foi encontrado próximo a neutralidade (Tabela 1), conseqüentemente o Al^{3+} trocável foi igual a $0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Tabela 1), em pH acima de 5,5 o Al trocável do solo precipita, deixando de ser tóxico para as plantas (JONES, 1979; BOHNEN, 1995; ECHART, 2001). Nos 3 pontos estudados o valor de Mg foi maior que os valores de Ca (Tabela 1). Na crosta terrestre, comumente, os valores de Ca são superiores ao de Mg, contudo, nos solos ultramáficos a relação Ca:Mg é invertida, devido ao alto teor de Mg nesses solos (VITHANAGE et al., 2019).

Os maiores teores de matéria orgânica foram observados nos pontos 2 e 3 (Tabela 1), tendo em vista que no ponto 1 ocorre o cultivo do solo para plantio com cana-de-açúcar, é sabido que o revolvimento do solo durante o seu preparo estimula a atividade microbiana e a decomposição da matéria orgânica. Os solos ultramáficos apresentam baixos valores de Na, K e P devido ao material de origem ser pobre nesses elementos, como visto na tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química do solo de 3 pontos coletados em uma topossequência, no município de Buenos Aires, Pernambuco

| Amostra | pH(água) | Ca | Mg | Al | Na | K | H+Al | C.O | M.O | P |
|---------|----------|---|-------|------|------|------|------|--------------------------------|-------|---------------------|
| | 1: 2,5 | ----- $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ----- | | | | | | ----- g kg^{-1} ----- | | mg dm^{-3} |
| P1 | 6,66 | 4,95 | 19,80 | 0,00 | 0,14 | 0,10 | 4,00 | 4,67 | 8,06 | 0,44 |
| P2 | 7,13 | 8,50 | 10,40 | 0,00 | 0,44 | 0,40 | 2,44 | 11,37 | 19,60 | 2,38 |
| P3 | 6,29 | 3,95 | 7,80 | 0,00 | 0,10 | 0,27 | 4,00 | 8,17 | 14,09 | 1,29 |

A textura dos solos foi caracterizada como franca (P1 e P2) e franco arenoso (P3), tabela 2. A textura franca é também chamada de textura média, por ter valores próximos de areia, silte e argila. O ponto 3, que por conta do seu maior teor de areia foi caracterizado como franco arenoso já que tem uma proporção de 72% de areia. Metais como Ni estão comumente associados a argila, devido à presença de cargas nesta fração do solo, assim contém os maiores teores desse metal, e o silte apresenta as menores concentrações (OZE, 2004; SIEBECKER, 2017).

Tabela 2: Caracterização física do solo de 3 pontos coletados em uma topossequência, no município de Buenos Aires

| Pontos | Argila | Areia | Silte | Textura |
|--------|--------|-------|-------|----------------|
| | % | % | % | |
| P1 | 21 | 39 | 40 | Franca |
| P2 | 26 | 49 | 25 | Franca |
| P3 | 10 | 72 | 18 | Franco arenoso |

5.2 Teores totais e disponíveis

Nos solos, os teores totais de metais não correspondem ao que está pronto para ser absorvido, dessa forma é preciso saber os valores disponíveis no solo. já que são estes que podem ser absorvidos, oferecendo risco à saúde humana (DA SILVA et. al., 2017). Nos três pontos coletados os teores disponíveis em relação aos totais foram menores que 1%. Contudo os valores de Ni disponível foram discrepantes em relação a topossequência, onde os teores do ponto mais elevado (P3) foram baixos devido a menor quantidade de argila e maior quantidade de areia e os do ponto mais baixo foram mais altos (Tabela 3).

Tabela 3: Média dos teores totais e disponíveis \pm desvio padrão de Ni, Cr e Co dos três pontos coletados, no município de Buenos Aires – PE

| Pontos | Ni T | Ni D | Cr T | Cr D | Co T | Co D |
|--------|----------------------|------------------|----------------------|------|-------------------|-----------------|
| P1 | 1515,62 \pm 152,91 | 61,65 \pm 0,23 | 3505,62 \pm 404,81 | 0,00 | 104,37 \pm 17,2 | 2,00 \pm 0,00 |
| P2 | 852,81 \pm 65,84 | 26,55 \pm 1,34 | 3490,93 \pm 327,47 | 0,00 | 41,56 \pm 2,30 | 2,62 \pm 0,10 |
| P3 | 364,75 \pm 4,94 | 15,22 \pm 4,97 | 826,25 \pm 229,36 | 0,00 | 61,87 \pm 7,10 | 2,03 \pm 0,16 |

Legenda: T:Teores totais, D:Teores disponíveis.

Os teores totais de Ni encontrados nos 3 pontos alteraram seus valores ao longo da topossequência onde os valores foram aumentando de forma crescente do ponto 3 até o ponto 1, valores esperados para esse tipo de solo (KIERCZAK et al., 2016). Já os teores disponíveis encontrados nos 3 pontos estudados foram de são considerados baixos em relação a outros trabalhos, por exemplo, Pędziwiatr et.al

(2018) obteve valores de 138 mg kg^{-1} (6,5%) do Ni encontrado no horizonte superficial. Isso nos mostra que mesmo os valores totais estando em altos níveis, nem sempre o que está disponível é o suficiente para ser considerado um risco. O processo de intemperismo pode aumentar a mobilidade do Ni no meio ambiente (CHENG et al., 2011). Por conseguinte, processos como erosão, deposição de materiais e acúmulo de água ao longo do relevo facilitou o processo de solubilização do Ni na topossequência deixando o mesmo mais disponível no ponto mais baixo. Um estudo feito na Albânia confirma que o intemperismo de solos ultramáficos leva a um desenvolvimento de solos enriquecidos com Ni (ESTRADE et al., 2015).

Os teores totais de Cr e Co nos pontos P1, P2 e P3 seguiram uma média e se mantiveram bem parecidos ao longo da topossequência, consequentemente, não solubilizaram como o Ni. Por se tratar de um solo ultramáfico temos teores maiores que as medias de solos do estado, quando nos referimos a Cr o maior valor encontrado no estado foi de $75,88 \text{ mg kg}^{-1}$ e Co o maior valor foi de $15,66 \text{ mg kg}^{-1}$ (BIONDI, 2010). Comparando com outros solos ultramáficos os teores de Cr ficaram entre 2753 mg kg^{-1} e 1640 mg kg^{-1} , o P1 e P2 foram bem acima do que se espera para Cr nesse tipo de solo (KIERCZAK et al. 2021). O cobalto no P1 mostra valores um pouco maiores que os solos serpentinos encontrados, por exemplo, no Noroeste da Espanha, onde os valores foram maiores que 70 mg kg^{-1} (LAGO-VILA et al. 2015). Por fim quando nos referimos a valores biodisponíveis, o Cr e o Co, não apresentaram valores que oferecessem algum risco, já que em média os valores ficaram entre 0 a $2,0 \text{ mg kg}^{-1}$.

Todos os valores de teores totais encontrados nesse trabalho superam e muito o mínimo permitido para agricultura o permitido pelo CONAMA (2009), apesar de não se tratar de um caso de contaminação já que os valores são naturais. Contudo é necessário mais estudo para avaliar a biodisponibilidade desses metais, já que podem causar riscos à saúde humana. O que não acontece nos pontos estudados, que apesar dos altos valores totais, os teores biodisponíveis, não são suficientes para causar algum problema ao ecossistema local.

5.3 Fracionamento

Os teores referentes ao fracionamento do Ni no solo seguiram a seguinte ordem decrescente: fração residual, óxido ferro amorfo, óxido de ferro cristalino e

trocável (Figura 4). Contudo, nas frações avaliadas nos 3 pontos estudados podemos ver uma associação maior do Ni nas frações de óxido de ferro amorfo e óxido de ferro cristalino, resultados semelhantes aos descritos por Tashakor, 2017 na Malásia, onde o Ni se mostrou mais associado em 5% ao óxido de ferro cristalino, onde claramente a uma relação maior do metal a essa fração.

No ponto P3 vemos que os valores de Ni se encontram na fração residual, onde o metal se torna mais difícil de ser acessado pelas plantas, algo parecido foi encontrado nos solos da região de Trás-os-Montes - Portugal onde o maior reservatório dos valores de Ni se encontravam na fração residual (Lazáro et. al., 2006). E ao longo da topossequência podemos ver que o Ni vai se deslocando da fração residual para os óxidos, que por sua vez são mais acessíveis para uma possível remoção do metal. Contudo, a fração trocável que seria a prontamente disponível para as plantas e organismos do solo apresentou valores menores em relação as outras frações em todos os pontos avaliados.

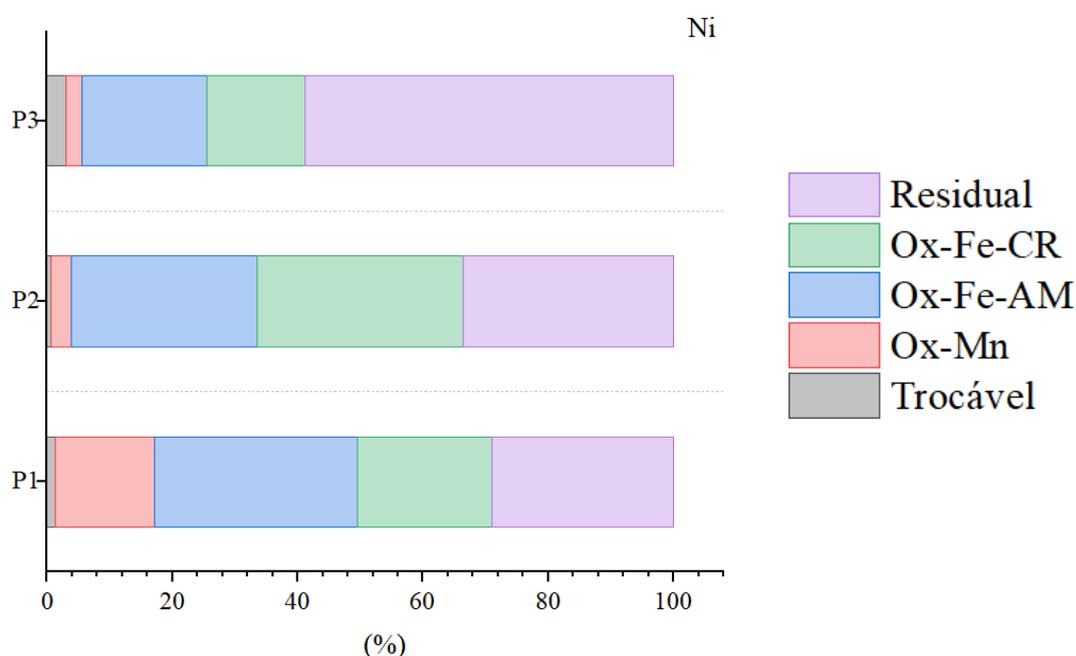


Figura 4. Teor de Ni em diferentes frações de solo ultramáfico, após fracionamento químico.

6 CONCLUSÕES

Os teores totais de Ni foram 2 a 4 vezes maiores nas posições mais baixas da topossequência, indicando maior grau de intemperismo e solubilização do metal nos perfis 2 e 3. O Ni apresentou forte associação com os óxidos de manganês, de ferro e na fração residual nos 3 solos avaliados, indicando baixa disponibilidade ambiental. Existe uma relação entre o relevo e os teores disponíveis de Ni nos solos ultramáficos estudados, possivelmente pelo maior acúmulo de água e processos erosivos com deposição de sedimentos nas posições mais baixas da topossequência.

REFERÊNCIAS

ARENAS-LAGO, D. et al. Sequential extraction of heavy metals in soils from a copper mine: Distribution in geochemical fractions. **Geoderma**, v. 230, p. 108-118, 2014.

BANI, Aida et al. Pedogenesis and nickel biogeochemistry in a typical Albanian ultramafic toposequence. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 186, n. 7, p. 4431-4442, 2014.

BANDARA, Tharanga et al. Efficacy of woody biomass and biochar for alleviating heavy metal bioavailability in serpentine soil. **Environmental geochemistry and health**, v. 39, n. 2, p. 391-401, 2017.

BUENO, Míriam Aparecida. A importância do estudo do meio na prática de ensino em geografia física. 2009.

BRASIL. Base Nacional Comum Curricular. Brasília: MEC, 2017. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf Acesso em: 14 de mar. de 2022.

BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução n. 420/2009, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas 2009. Diário Oficial da União, Brasília. 30 dec. 2009 Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>. Acesso em 04 ago. 2019.

BANDARA, Tharanga et al. Efficacy of woody biomass and biochar for alleviating heavy metal bioavailability in serpentine soil. **Environmental geochemistry and health**, v. 39, n. 2, p. 391-401, 2017.

BRADY, Nyle C.; WEIL, Ray R. The nature and properties of soil 13th edition. **Agroforest. Syst**, v. 54, n. 3, p. 249, 2002.

BIONDI, Caroline Miranda. Teores naturais de metais pesados nos solos de referência do estado de Pernambuco. **Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco**, 2010.

CAMPOS, Milton César Costa et al. Topossequência de solos na transição Campos Naturais-Floresta na região de Humaitá, Amazonas. **Acta Amazônica**, v. 42, p. 387-398, 2012.

CAMPOS, Milton César Costa. Atributos dos solos e riscos de lixiviação de metais pesados em solos tropicais. **Ambiência**, v. 6, n. 3, p. 547-565, 2010.

CHARDOT-JACQUES, Vanessa et al. Chrysotile dissolution in the rhizosphere of the nickel hyperaccumulator *Leptoplax emarginata*. **Environmental science & technology**, v. 47, n. 6, p. 2612-2620, 2013.

CHENG, Chang-Ho et al. Pedogenic chromium and nickel partitioning in serpentine soils along a toposequence. **Soil Science Society of America Journal**, v. 75, n. 2, p. 659-668, 2011.

DA SILVA, William Ramos et al. Assessing human health risks and strategies for phytoremediation in soils contaminated with As, Cd, Pb, and Zn by slag disposal. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 144, p. 522-530, 2017.

DE ANDRADE, L. R. M. et al. Edaphic Factors as Agents of Genetic Diversity and Adaptation of Native Plant Species of Harsh Environments in the Brazilian Savanna. 2022.

DE TOLEDO, Maria Cristina Motta; TAKAYAMA, Carolina Harumi; BOUROTTE, Christine Laure Marie. Intemperismo simulado em animação gráfica. **Terra e Didática**, v. 10, n. 3, p. 351-356, 2014.

DE MACEDO, Fernando G. et al. Nickel availability in soil as influenced by liming and its role in soybean nitrogen metabolism. **Frontiers in plant science**, v. 7, p. 1358, 2016.

DA SILVA, Joelma Gomes et al. Educação em solos: permeando fronteiras na arte. 2018.

ECHEVARRIA, Guillaume. Genesis and behaviour of ultramafic soils and consequences for nickel biogeochemistry. In: Agromining: farming for metals. **Springer**, Cham, 2021. p. 215-238.

ECHART, Cinara Lima; CAVALLI-MOLINA, Suzana. Fitotoxicidade do alumínio: efeitos, mecanismo de tolerância e seu controle genético. **Ciência Rural**, v. 31, p. 531-541, 2001.

ESTRADE, Nicolas et al. Weathering and vegetation controls on nickel isotope fractionation in surface ultramafic environments (Albania). **Earth and Planetary Science Letters**, v. 423, p. 24-35, 2015.

ECHEVARRIA, Guillaume. Genesis and behaviour of ultramafic soils and consequences for nickel biogeochemistry. In: Agromining: Farming for metals. **Springer**, Cham, 2021. p. 215-238.

ECHEVARRIA, Guillaume et al. Assessment and control of the bioavailability of nickel in soils. **Environmental Toxicology and Chemistry: an International Journal**, v. 25, n. 3, p. 643-651, 2006.

ECHEVARRIA, Guillaume et al. Assessment of phytoavailability of nickel in soils. American Society of Agronomy, **Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America**, 1998.

GUSELNIKOVA, O. et al. Pretreatment-free selective and reproducible SERS-based detection of heavy metal ions on DTPA functionalized plasmonic platform. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 253, p. 830-838, 2017.

GUILLOT, Stéphane; HATTORI, Keiko. Serpentinites: essential roles in geodynamics, arc volcanism, sustainable development, and the origin of life. **Elements**, v. 9, n. 2, p. 95-98, 2013.

GALEY, M. L. et al. Ultramafic geocology of South and Southeast Asia. *Bot Stud* 58: 18. 2017.

GONÇALVES JR, Affonso Celso; DOS SANTOS PESSOA, Antônio Carlos. Fitodisponibilidade de cádmio, chumbo e cromo, em soja cultivada em Argissolo Vermelho eutrófico a partir de adubos comerciais. **Scientia Agraria**, v. 3, n. 1-2, p. 19-23, 2002.

HOBBELEN, P. H. F.; KOOLHAAS, J. E.; VAN GESTEL, C. A. M. Bioaccumulation of heavy metals in the earthworms *Lumbricus rubellus* and *Aporrectodea caliginosa* in relation to total and available metal concentrations in field soils. **Environmental pollution**, v. 144, n. 2, p. 639-646, 2006.

JIA, Jia et al. Fractionation, source, and ecological risk assessment of heavy metals in cropland soils across a 100-year reclamation chronosequence in an estuary, South China. **Science of the Total Environment**, v. 807, p. 151725, 2022.

KIERCZAK, Jakub et al. Mobility of Ni, Cr and Co in serpentine soils derived on various ultrabasic bedrocks under temperate climate. **Geoderma**, v. 268, p. 78-91, 2016.

KIERCZAK, Jakub; PIETRANIK, Anna; PEŹZIWIATR, Artur. Ultramafic geoecosystems as a natural source of Ni, Cr, and Co to the environment: A review. **Science of The Total Environment**, v. 755, p. 142620, 2021.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4. ed. Boca Raton: CRC Press, 2011. 505 p.

LÁZARO, J. Díez; KIDD, P. S.; MARTÍNEZ, C. Monterroso. A phytogeochemical study of the Trás-os-Montes region (NE Portugal): Possible species for plant-based soil remediation technologies. **Science of the Total Environment**, v. 354, n. 2-3, p. 265-277, 2006.

LAGO-VILA, M. et al. Cobalt, chromium and nickel contents in soils and plants from a serpentinite quarry. **Solid earth**, v. 6, n. 1, p. 323-335, 2015.

LAZARUS, Brynne E. et al. Species specific plant-soil interactions influence plant distribution on serpentine soils. **Plant and Soil**, v. 342, n. 1, p. 327-344, 2011.

L'HUILLIER, Laurent; EDIGHOFFER, Sylvie. Extractability of nickel and its concentration in cultivated plants in Ni rich ultramafic soils of New Caledonia. **Plant and Soil**, v. 186, n. 2, p. 255-264, 1996.

LOPES, José Francisco et al. Adubação foliar com níquel e molibdênio no feijoeiro comum cv. Ouro Vermelho. **Revista Ceres**, v. 61, p. 234-240, 2014.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2nd (eds) Academic Press. **New York**, p. 15-22, 1995.

MARCOVECCHIO, Jorge E. The use of *Micropogonias furnieri* and *Mugil liza* as bioindicators of heavy metals pollution in La Plata River estuary, Argentina. **Science of the Total Environment**, v. 323, n. 1-3, p. 219-226, 2004.

MEIRELES, Humberto Teixeira et al. Relações solo-paisagem em topossequência de origem basáltica. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, p. 129-136, 2012.

MUGGLER, Cristine Carole; PINTO SOBRINHO, Fábio de Araújo; MACHADO, Vinícius Azevedo. Educação em solos: princípios, teoria e métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 733-740, 2006.

NASCIMENTO, Clístenes Williams Araújo do et al. Ultramafic soils and nickel phytomining opportunities: A review. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 46, 2022.

OLIVEIRA, J. B. Pedologia Aplicada. 4 ed. FEALQ. 592 p. 2011.

OZE, Christopher et al. Chromium geochemistry in serpentized ultramafic rocks and serpentine soils from the Franciscan complex of California. **American Journal of Science**, v. 304, n. 1, p. 67-101, 2004.

POZNANOVIĆ SPAHIĆ, Maja M. et al. Natural and anthropogenic sources of chromium, nickel and cobalt in soils impacted by agricultural and industrial activity (Vojvodina, Serbia). **Journal of Environmental Science and Health, Part A**, v. 54, n. 3, p. 219-230, 2019.

PEŁDZIWIATR, Artur et al. Rock-type control of Ni, Cr, and Co phytoavailability in ultramafic soils. **Plant and Soil**, v. 423, n. 1, p. 339-362, 2018.

PERNAMBUCO. Secretaria de Educação e Esportes. Reorganização Curricular - Ensino Fundamental Anos Finais. Recife: A Secretaria, 2020, 639 p. Disponível em: <http://www.educacao.pe.gov.br/portal/upload/galeria/21557/REORGANIZA%C3%87%C3%83O%20CURRICULAR%20-%20FUNDAMENTAL%20ANOS%20FINAIS.pdf> Acesso em: 14 de mar. de 2022.

RAMOS, Michele Ribeiro et al. Contaminação por metais pesados em áreas agrícolas no estado do Tocantins. **Tecno-Lógica**, v. 24, n. 2, p. 166-178, 2020.

RAOUS, S. et al. Potentially toxic metals in ultramafic mining materials: identification of the main bearing and reactive phases. **Geoderma**, v. 192, p. 111-119, 2013. ,

RATIÉ, G. et al. The behavior of nickel isotopes at the biogeochemical interface between ultramafic soils and Ni accumulator species. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 196, p. 182-191, 2019.

SILVA, Maria Ligia de Souza; VITTI, Godofredo Cesar. Fractionation of heavy metals in polluted soil before and after rice cultivation. **Química Nova**, v. 31, p. 1385-1391, 2008.

SILVA, Márcio de Jesus. Fracionamento de metais traço (Cr, Cu, Ni e Zn) em solos e sedimentos do município de Madre de Deus, Bahia. 2012.

SHEPPARD, Marsha I.; THIBAUT, Denis H. Desorption and extraction of selected heavy metals from soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, n. 2, p. 415-423, 1992.

SOUZA, Ana Kely Rufino et al. Poluição do ambiente por metais pesados e utilização de vegetais como bioindicadores. **Acta Biomedica Brasiliensia**, v. 9, n. 3, p. 95-106, 2018.

SIEBECKER, Matthew G.; CHANEY, Rufus L.; SPARKS, Donald L. Nickel speciation in several serpentine (ultramafic) topsoils via bulk synchrotron-based techniques. **Geoderma**, v. 298, p. 35-45, 2017.

SCHAETZL, R.; ANDERSON, S. Soils: Genesis and Geomorphology. Cambridge Press. New York. 791 p. 2005.

STAMFORD, Newton P. et al. Propriedades físicas e químicas dos solos. **Ecologia e Manejo de Patógenos Radiculares em Solos Tropicais**, p. 41, 2006.

SCHAETZL, R. & ANDERSON, S. Soils: Genesis and Geomorphology. New York: Cambridge Press, 2005. 791p.

SAHUQUILLO, A.; RIGOL, A.; RAURET, G. Overview of the use of leaching/extraction tests for risk assessment of trace metals in contaminated soils and sediments. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 22, n. 3, p. 152-159, 2003.

TASHAKOR, Mahsa; HOCHWIMMER, Bernhard; BREARLEY, Francis Q. Geochemical assessment of metal transfer from rock and soil to water in serpentine areas of Sabah (Malaysia). **Environmental Earth Sciences**, v. 76, n. 7, p. 1-13, 2017.

ÜNVER, İ. et al. Influence of rainfall and temperature on DTPA extractable nickel content of serpentine soils in Turkey. **Geoderma**, v. 202, p. 203-211, 2013.

USGS, 2020. Nickel Statistics and Information. National Minerals Information Center. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/centers/nmic/nickel-statistics-and-information>>.

USGS, 2022. Nickel Statistics and Information. National Minerals Information Center. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/centers/nmic/nickel-statistics-and-information>>.

ÜNVER, İ. et al. Influence of rainfall and temperature on DTPA extractable nickel content of serpentine soils in Turkey. **Geoderma**, v. 202, p. 203-211, 2013.

VIDAL-TORRADO, Pablo et al. Gênese de solos derivados de rochas ultramáficas serpentizadas no sudoeste de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 3, p. 523-541, 2006.

VITHANAGE, Meththika et al. Occurrence and cycling of trace elements in ultramafic soils and their impacts on human health: A critical review. **Environment International**, v. 131, p. 104974, 2019.

ANEXO

Proposta didática

O desenvolvimento dessa aula tem vários objetivos, mas o principal é a fundamentação crítica e conceitual na cabeça dos alunos sobre um elemento tão importante para nossa existência como humanidade, o solo. O solo ultramáfico uma ferramenta para a produção de e aproximação de um conhecimento normalmente esquecido ou desconsiderado por quem não trabalha diretamente na área.

Título da aula: Solos ultramáficos: conceito, gênese e particularidades

Modalidade: Presencial

Disciplina: Geografia

Duração: 2 dias

Estratégia: Estudo do Meio

Público-alvo: 1º Ano do Ensino Médio

Aula interdisciplinar: Geografia/Biologia/Química

Habilidades de área (BNCC): Analisar e avaliar criticamente as relações de diferentes grupos, povos e sociedades com a natureza (produção, distribuição e consumo) e seus impactos econômicos e socioambientais, com vistas à proposição de alternativas que respeitem e promovam a consciência, a ética socioambiental e o consumo responsável em âmbito local, regional, nacional e global.

Habilidades específicas dos componentes (BNCC): (EM13CHS300GE11PE)
Analisar o processo geológico de constituição e consolidação da Terra, identificando os resultados visíveis e não visíveis dessas transformações naturais e antrópicas, ocorridas na superfície terrestre, interpretando as mútuas influências entre a biosfera e a atmosfera.

Objeto de conhecimento (BNCC): O planeta Terra: formação e evolução da Terra; estrutura interna da Terra; relevo continental e submarino; formação dos solos; atmosfera: tempo e clima; biomas e formações vegetais; águas subterrâneas e bacias hidrográficas.

Objetivo Geral: Desenvolver o conhecimento sobre a formação do solo ultramáfico e com isso o entendimento crítico dos seus elementos e de fatores para conservação do mesmo sem risco a saúde humana.

Objetivos específicos:

1. Sensibilizar os alunos a solos que eles não conhecem;
2. Desenvolver o senso crítico sobre a formação do solo;
4. Absolver o conhecimento sobre os solos ultramáficos.

Metodologia:

1. Desenvolver junto aos professores e alunos uma aula de campo usando o processo de estudo do meio, para que os alunos se sensibilizem com a proteção do meio ambiente. Após isso a viagem a Buenos Aires para visitar a mancha de solo ultramáfico, com o objetivo de dar aulas que envolvam a paisagem e o solo onde eles pisam;
2. Trabalho de formação e de cor do solo, onde os alunos em campo vão precisar anotar o que foi desenvolvido em aula pelo professor e os elementos que formam a cor do solo ultramáfico;
3. Aula expositiva com o intuito de fechar e retirar dúvidas sobre o assunto;
4. Trabalho de debate sobre os riscos à saúde humana, possíveis formas de economia e de conservação do solo.

Recursos didáticos: Ônibus, retroprojektor, uma pá, cadernos.

Possíveis ideias interdisciplinares: Em biologia falar sobre como a vegetação se comporta no solo e em química falar sobre os elementos dentro do solo ultramáfico e como ele pode ser perigosos a saúde humana.

Avaliação: Com o debate avaliar o que foi definido com objetivos e aferir nota a sala como um todo, que seja uma experiencia coletiva não individual.