

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

DANIELY NECKEL ROSINI

**VALORES DE REFERÊNCIA PARA ELEMENTOS-TRAÇO EM SOLOS DE SANTA
CATARINA COMO SUPORTE PARA A LEGISLAÇÃO E EDUCAÇÃO AMBIENTAL**

**LAGES
2024**

DANIELY NECKEL ROSINI

**VALORES DE REFERÊNCIA PARA ELEMENTOS-TRAÇO EM SOLOS DE SANTA
CATARINA COMO SUPORTE PARA A LEGISLAÇÃO E EDUCAÇÃO AMBIENTAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito para obtenção do grau de Doutora em Ciência do Solo.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Mari Lúcia Campos

Coorientador: Prof. Dr. David José Miquelluti

LAGES

2024

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Universitária Udesc,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Rosini, Daniely Neckel
VALORES DE REFERÊNCIA PARA ELEMENTOS-TRAÇO
EM SOLOS DE SANTA CATARINA COMO SUPORTE À
LEGISLAÇÃO E EDUCAÇÃO AMBIENTAL / Daniely Neckel
Rosini. -- 2024.
135 p.

Orientadora: Mari Lucia Campos
Coorientador: David José Miquelluti
Tese (doutorado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina,
Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação
em Ciência do Solo, Lages, 2024.

1. Valores de Referência de Qualidade. 2. Selênio. 3. Mercúrio.
4. Valores Orientadores . 5. Qualidade Ambiental. I. Campos, Mari
Lucia. II. Miquelluti, David José. III. Universidade do Estado de
Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de
Pós-Graduação em Ciência do Solo. IV. Titulo.

DANIELY NECKEL ROSINI

VALORES DE REFERÊNCIA PARA ELEMENTOS-TRAÇO EM SOLOS DE SANTA CATARINA COMO SUPORTE À LEGISLAÇÃO E EDUCAÇÃO AMBIENTAL

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito para obtenção do grau de Doutora em Ciência do Solo.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Mari Lúcia Campos

Coorientadores: Prof. Dr. David José Miquelluti

BANCA EXAMINADORA

Orientadora:

Prof^a. Dr^a. Mari Lúcia Campos
Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

Membros:

Prof. Dr. João Batista Pereira Cabral
Universidade Federal de Jataí (UFJ)

Dr^a. Ilana Marin Suppi
Instituto do Meio Ambiente (IMA-SC)

Prof. Dr^a. Lenita Agostinetto
Universidade do Planalto Catarinense (UNIPLAC)

Prof. Dr. Osmar Klauberg Filho
Universidade do Estado de Santa Catarina

Prof. Dr. Jaime Antonio Almeida
Universidade do Estado de Santa Catarina

Lages, 10 de dezembro de 2024.

Ao meu filho *Miguel Augusto Rosini Velho* e
aos meus pais *Marli Terezinha Neckel Rosini e Luiz Claudio Rosini*
DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ser minha força e guia em cada etapa desta jornada acadêmica.

Aos meus queridos avós (*in memorian*) Wilibaldo, Iria, Olívia e Augusto, que permanecem vivos em meu coração e em tudo que sou. Vocês foram exemplos de amor, coragem e sabedoria, e deixaram em mim um legado que carrego com orgulho. Cada ensinamento, cada gesto de carinho e cada lembrança me acompanharam ao longo dessa jornada, dando-me força para seguir em frente. Dedico também a vocês essa conquista, com amor eterno e gratidão por tudo o que fizeram e representam em minha vida, com toda minha saudade.

Aos meus pais, minha admiração e gratidão são infinitas. Pai, calmaria e bom coração. Mãe, determinação e força. Vocês me ensinaram o valor do trabalho árduo, da honestidade e da perseverança. Foram a força que me sustentou nos momentos difíceis e o incentivo que me fez acreditar em mim quando eu mais precisei. Obrigada por cada sacrifício, cada conselho e cada gesto de amor incondicional. Esta conquista é tão de vocês quanto minha, pois sem o apoio, a paciência e o amor de vocês, eu jamais teria chegado até aqui. Amo vocês mais do que as palavras podem expressar.

Ao meu filho, Miguel Augusto, obrigada por me tornar minha melhor versão e por me permitir sentir o maior amor desse mundo. Mesmo sendo tão pequeno, você é minha força em cada desafio e o motivo de cada conquista. Em seu sorriso inocente, encontro o ânimo para vencer qualquer cansaço e a inspiração para construir um futuro melhor. Esta vitória também é para você, que sem saber, me dá a coragem e o amor que preciso para continuar. Que um dia você entenda o quanto já me transformou e o quanto é profundamente amado. Cada conquista é também para você, que me impulsiona a ser um exemplo a cada dia.

À minha irmã, minha companheira de vida, amiga e uma talentosa designer no Canva. Sou imensamente grata por ser meu porto seguro, meu sorriso em muitos momentos e, tantas vezes, a força que me impulsionou a seguir em frente. Com você, aprendi o verdadeiro significado da lealdade, da sinceridade e do amor fraterno. Sei que, independentemente das circunstâncias, sempre terei ao meu lado alguém que acredita em mim, me apoia, celebra minhas conquistas e ainda transforma ideias em arte com habilidade e criatividade.

À toda minha família, minha base e meu maior tesouro, minha eterna gratidão. Vocês são a união que me fortalece, a força que me sustenta, a sabedoria que me guia, o apoio que me levanta e o amor que me preenche. Cada um de vocês, com suas palavras e gestos, esteve presente em cada página desta jornada. Obrigada por serem meu porto seguro e por me ensinarem, dia após dia, o valor de persistir e amar o que se faz.

À minha orientadora, Mari Lucia Campos, gostaria de expressar minha profunda gratidão por todo o apoio e orientação. Sua força e sabedoria são verdadeiramente inspiradoras. Você é uma mulher exemplar, que não apenas guia seus alunos com dedicação, mas também demonstra amor e cuidado como uma verdadeira mãe. Agradeço por estar sempre ao meu lado, acreditando em mim e me incentivando a alcançar meus objetivos. Seu exemplo me motiva a ser uma pessoa melhor, tanto profissionalmente quanto pessoalmente.

Ao meu coorientador, professor David José Miquelluti, sua atenção aos detalhes, sempre aliada a um bom humor que torna as jornadas mais leves, fez toda a diferença no meu percurso. Além de sua (super) ajuda em estatística, sua disponibilidade e paciência foram fundamentais para que eu pudesse enfrentar os desafios do doutorado com confiança. Obrigada por acreditar no meu potencial e me guiar de forma tão cuidadosa e eficiente.

A todos os meus professores, desde a educação infantil ao ensino médio, vocês foram essenciais para que eu chegassem até aqui. Aos professores do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais e em Ciência do Solo (PPGCS) da Universidade do Estado de Santa Catarina, vocês são excelência, competência e inspiração. Todos os ensinamentos, o carinho e o apoio que recebi de cada um de vocês estiveram sempre presentes em minha trajetória. Você não foram apenas educadores, mas também guias que ajudaram a moldar minha visão de mundo e despertaram em mim a vontade de aprender e crescer. Agradeço a todos os profissionais que foram meus exemplos na educação básica, em especial aos professores Alosir Moretti (*in memoriam*), Sonia Neckel, Geane Mota e Ezilda Bunn, que conduziam suas aulas com dedicação incansável e sabedoria. Sigo em frente carregando cada lição com gratidão, porque sem vocês, este caminho teria sido muito mais difícil. A educação é, de fato, a força que move o mundo.

Ao professor Valter Antonio Becegato, meu orientador do mestrado, que me ensinou muito mais do que como conduzir uma pesquisa. Aos professores Osmar Klauberg Filho e Jaime Antonio de Almeida, por aceitarem o convite de participar da banca examinadora e por contribuírem imensamente na minha formação. Ao professor João Cabral, à professora Lenita Agostinetto e à Ilana Suppi, minha sincera gratidão. Agradeço pela generosidade com que dedicaram seu tempo e conhecimento para avaliar este trabalho, contribuindo com sugestões valiosas e apontamentos cuidadosos que enriquecem esta pesquisa. Você são profissionais exemplares, que eu tenho uma admiração imensurável.

À professora Zuleica, do CETEM, meu carinho pela experiência, docura e empatia, profissional querida que dedicou seu tempo ao nosso trabalho, fazendo tudo com muito amor.

Com muito carinho, agradeço à equipe gestora, aos professores e aos alunos da EMEB Ondina Neves Bleyer, por todo o apoio, parceria e aprendizado ao longo desta jornada.

A todos os meus amigos, meu mais sincero agradecimento. Vocês foram meu suporte e minha alegria durante esta jornada, sempre prontos para oferecer palavras de encorajamento, risadas e momentos de descontração que tornaram os desafios mais leves. A amizade de vocês é um tesouro que preenche minha vida de felicidade e significado.

Aos meus colegas, Gustavo, Gabriel, Guilherme, Fernanda, Elias, Bruna, Sofia, Luana, Kelly, Isa, Carol, Ananda, Cassiana, Renata e Débora, que estiveram ao meu lado durante essa jornada desafiadora e transformadora. Vocês foram uma fonte constante de apoio, inspiração e parceria, compartilhando conhecimento, experiências e encorajamento nos momentos em que mais precisei. Agradecimento também a Márcia Eduarda e a Fabiele, bolsistas que literalmente adotaram esse projeto. Agradeço por cada discussão enriquecedora, pelas palavras de incentivo e, acima de tudo, pela amizade que construímos ao longo dessa trajetória. Não teria chegado até aqui sem a colaboração e o apoio de cada um de vocês. Agradecimento especial a Carol, Betel, Beatriz, Natacha e Aline que se tornaram verdadeiras irmãs ao longo desta jornada. Vocês foram mais do que companheiras de estudo, foram fonte de apoio, risadas e momentos inesquecíveis. Obrigada, manas, por todas as vezes que vocês escutaram minhas angústias e me apoiaram sempre. Cada desafio compartilhado fortaleceu nossos laços e tornou essa experiência ainda mais significativa.

Aos técnicos e à equipe da secretaria, em especial ao Matheus, Edinho, Melissa, Gustavo e Ederson, agradeço profundamente pelo suporte e pela dedicação ao longo da realização deste trabalho. Agradeço pela atenção e eficiência, fundamentais para o andamento das atividades de laboratório, experimentos e trâmites burocráticos.

À Universidade do Estado de Santa Catarina pelo ensino público e de qualidade. Agradeço à UNIEDU-SC pela bolsa de estudo que possibilitou a realização deste trabalho e à FAPESC e ao IMA-SC pelo apoio financeiro fundamental para o desenvolvimento da pesquisa.

“Pedacinhos coloridos de cada vida que passa pela minha e que vou costurando na alma. Nem sempre bonitos, nem sempre felizes, mas me acrescentam e me fazem ser quem eu sou. Em cada encontro, em cada contato, vou ficando maior... Em cada retalho, uma vida, uma lição, um carinho, uma saudade... Que me tornam mais pessoa, mais humana, mais completa. E penso que é assim mesmo que a vida se faz: de pedaços de outras gentes que vão se tornando parte da gente também. E a melhor parte é que nunca estaremos prontos, finalizados... Haverá sempre um retalho novo para adicionar à alma. Portanto, obrigada a cada um de vocês, que fazem parte da minha vida e que me permitem engrandecer minha história com os retalhos deixados em mim. Que eu também possa deixar pedacinhos de mim pelos caminhos e que eles possam ser parte das suas histórias. E que assim, de retalho em retalho, possamos nos tornar, um dia, um imenso bordado de nós”

(Coralina, 2004).

APRESENTAÇÃO

Desde criança, de família de muitas professoras exemplares, de mulheres fortes e de garra, sempre sonhei em ser professora. A paixão por aprender foi uma constante e, quando terminei o ensino médio, ainda cheia de incertezas, escolhi cursar Ciências Biológicas, o curso que me apaixonei desde o primeiro semestre da faculdade. Minha preocupação com o meio ambiente sempre me acompanhou e acredito profundamente no poder transformador da educação: “Educação não transforma o mundo. Educação muda as pessoas. Pessoas transformam o mundo” (Paulo Freire).

Em 2016, recém-formada, passei no concurso para ser professora de Ciências no município de Lages, um daqueles acontecimentos não planejados. Entre a rotina de trabalho, comecei a cursar disciplinas como aluna especial no mestrado em Ciências Ambientais e já tinha concluído minha pós-graduação em Gestão e Educação Ambiental, área que me encantou sempre. A pesquisa científica me cativou desde o início, principalmente ao perceber que podia interligar questões que me incomodavam ao observar o meio ambiente com a ciência. Em fevereiro de 2020, defendi meu mestrado com a dissertação intitulada: *Caracterização ambiental da qualidade dos solos, águas e sedimentos em áreas de produção agrícola no município de Bom Retiro – SC*. Essa experiência me ensinou muito, me fez conhecer pessoas incríveis e ampliou minha visão de mundo de uma maneira única.

A chegada da pandemia de Covid-19 nos forçou a permanecer em casa. Foi um período desafiador e o sentimento de estar acomodada novamente me trouxe inquietação. Foi então que decidi me candidatar ao doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, especialmente pela área de pesquisa ambiental. Mais uma vez o destino trazendo surpresas incríveis. Fui aprovada e me envolvi em um projeto desafiador, trabalhando com a legislação ambiental, um tema que já havia despertado meu interesse no mestrado. Hoje estou aqui, defendendo a pesquisa intitulada de “*Valores de referência para elementos-traço em solos de Santa Catarina como suporte à legislação e educação ambiental*”, incluindo os desafiadores elementos mercúrio e selênio. Os desafios me movem, e, entre erros e acertos, sigo em frente. O doutorado foi leve e desafiador, pois sou rodeada de pessoas incríveis. Eu vivi intensamente essa jornada, como todas as fases da vida. Hoje, estou aqui, orgulhosa do caminho percorrido, defendendo muito mais do que um título. Com o maior presente da minha vida, meu filho Miguel Augusto e já sentindo a saudade dessa rotina desafiadora e apaixonante da pesquisa científica.

A verdadeira coragem está em persistir, em florescer apesar do vento contrário, em levantar-se todas as vezes que a vida nos corta. Viver é aceitar esse movimento, é compreender que cada dia traz uma nova oportunidade de recomeçar. Não são as circunstâncias que nos moldam, mas a forma como reagimos a elas. Quando a vontade de prosseguir é maior do que os obstáculos, não há caminho que não possa ser trilhado. É preciso determinação para seguir adiante, para encontrar sentido mesmo nas estações mais duras. Assim, como as flores, que apesar do inverno, mantêm suas raízes fincadas na terra, aguardando o momento certo para renascer. Somos responsáveis pelo nosso próprio destino e a vontade interior é o que nos impulsiona. A liberdade que buscamos fora deve, antes de tudo, ser encontrada dentro de nós, na nossa capacidade de nos reinventar, de nos levantar, de olhar para o futuro com esperança.

“Ame o que você faz e concentre-se no propósito; é assim que grandes realizações nascem” (Paulo Coelho).

RESUMO

No ano de 2009 o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) homologou a resolução nº 420, que dispõe sobre os valores orientadores de qualidade do solo referente à presença de substâncias químicas, que podem colocar em risco a saúde humana e ambiental. Nesta resolução, ficou estabelecido que cada Estado deveria definir os valores de referência de qualidade (VRQ) do solo até no ano de 2014, por causa das diferenças pedológicas e geoquímicas em cada região do Brasil. Diante deste contexto, o objetivo desse estudo foi determinar os teores naturais de Hg e Se, bem como os VRQs para elementos-traço em solos do estado de Santa Catarina (SC), com o intuito de apoiar a legislação ambiental e fomentar a educação ambiental. Para isso, os solos foram coletados em regiões com pouca interferência antrópica. Análises químicas e físicas foram realizadas para caracterização dos solos. A concentração de Hg foi determinada por meio da técnica de espectrometria de absorção atômica acoplada a forno de grafite. Já o Se foi quantificado em Espectrometria de Emissão Óptica com Fonte de Plasma Acoplado Indutivamente (ICP OES) com geração de hidretos. Os elementos bário (Ba), cádmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb) e zinco (Zn) foram quantificados por ICP OES. Os VRQs dos elementos As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, V e Zn foram calculados através dos teores naturais com o percentil 75 em grupos, de acordo com o teor de argila dos solos. Além disso, foram elaborados materiais didáticos para tornar o conhecimento científico acessível por meio da educação ambiental, relacionando a Resolução CONAMA nº 420/2009 às metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Os teores naturais de Hg nos solos catarinenses variaram 0,03 e 0,847 mg kg⁻¹. Já para o Se, os valores de background ficaram entre 0,34 mg kg⁻¹ e 11,25 mg kg⁻¹. Os VRQs, em mg kg⁻¹, sugeridos para SC foram de 0,12 para o Cd; Cr de 43,20; Hg 0,14; Mo 2,39; Ni 24,87; Sb 0,53; Se 1,61 e Zn 60,88. Para os demais elementos, foram recomendados dois VRQs, um para os solos com teor de argila menor ou igual a 15% e outro para os solos com mais de 15% de argila. Para o As, o VRQ ficou de 5,38 e 10,97; Ba 35,42 e 105,19; Co 22,41 e 48,26; Cu 93,44 e 175,27; Pb 8,51 e 15,52; e V 214,14 e 405,18. Apenas os VRQs para Co e Cu excederam os valores de prevenção (VP) segundo a resolução CONAMA. A determinação dos VRQs é fundamental para o manejo de áreas contaminadas, considerando as peculiaridades de cada tipo de solo, contribuindo para a proteção ambiental e a saúde dos ecossistemas. Entretanto, a legislação ambiental no Brasil ainda precisa avançar consideravelmente, especialmente no que se refere a determinação dos VRQs pelos estados. A integração de jogos didáticos, focada na Resolução CONAMA e nos ODS, oferece uma abordagem inovadora para trabalhar temas complexos como a contaminação do solo e a preservação ambiental.

Palavras-chave: Valores de Referência de Qualidade; Selênio; Mercúrio; Valores Orientadores; Qualidade Ambiental.

ABSTRACT

In 2009, the National Environmental Council (CONAMA) approved Resolution No. 420, which establishes guiding values for soil quality regarding the presence of chemical substances that may pose risks to human and environmental health. This resolution mandated that each state define soil Quality Reference Values (QRVs) by 2014, considering the pedological and geochemical differences across Brazil's regions. Within this context, the objective of this study was to determine the natural levels of Hg and Se, as well as the QRVs for trace elements in the soils of Santa Catarina (SC), to support environmental legislation and promote environmental education. Soils were sampled from regions with minimal anthropogenic interference. Chemical and physical analyses were conducted for soil characterization. Hg concentration was determined using graphite furnace atomic absorption spectrometry, while Se was quantified through Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) with hydride generation. The elements barium (Ba), cadmium (Cd), cobalt (Co), chromium (Cr), copper (Cu), nickel (Ni), lead (Pb), and zinc (Zn) were also quantified by ICP-OES. QRVs for elements such as As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, V, and Zn were calculated based on natural levels using the 75th percentile, grouped according to soil clay content. Additionally, educational materials were developed to make scientific knowledge accessible through environmental education, linking CONAMA Resolution No. 420/2009 to the Sustainable Development Goals (SDGs). Natural Hg levels in Santa Catarina's soils ranged from 0.03 to 0.847 mg kg^{-1} . For Se, background levels ranged from 0.34 mg kg^{-1} to 11.25 mg kg^{-1} . Suggested QRVs in mg kg^{-1} for SC were as follows: Cd 0.12; Cr 43.20; Hg 0.14; Mo 2.39; Ni 24.87; Sb 0.53; Se 1.61; and Zn 60.88. For other elements, two QRVs were recommended: one for soils with clay content $\leq 15\%$ and another for soils with $> 15\%$ clay content. For As, the QRV was 5.38 and 10.97; Ba 35.42 and 105.19; Co 22.41 and 48.26; Cu 93.44 and 175.27; Pb 8.51 and 15.52; and V 214.14 and 405.18. Only the QRVs for Co and Cu exceeded the prevention values (PV) defined by CONAMA. The determination of QRVs is essential for managing contaminated areas, considering the specific characteristics of each soil type and contributing to environmental protection and ecosystem health. However, environmental legislation in Brazil still needs significant progress, particularly concerning states' definition of QRVs. The integration of educational games focusing on CONAMA Resolution and the SDGs provides an innovative approach to addressing complex topics such as soil contamination and environmental preservation.

Keywords: Quality Reference Values; Selenium; Mercury; Guiding Values; Environmental Quality.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de prevenção (VP) e investigação (VI) para elementos inorgânicos no solo definidos na Resolução CONAMA nº 420	Error! Bookmark not defined.
Tabela 2 – Valores de referência de qualidade estabelecidos legalmente para os estados de Santa Catarina (SC), Rio Grande do Sul (RS), São Paulo (SP), Minas Gerais (MG), Pernambuco (PE) e Sergipe (SE).....	Error! Bookmark not defined.
Tabela 3 – VRQ definidos em pesquisas científicas nos estados do sul, sudeste e centro-oeste do Brasil que ainda não possuem legislação estabelecida.	Error! Bookmark not defined.
Tabela 4 – VRQs definidos em estudos nos estados do norte e nordeste do Brasil que ainda não possuem legislação definida.....	Error! Bookmark not defined.
Tabela 5 – Classificação dos solos, material de origem e localização dos pontos de coleta	Error! Bookmark not defined.
Tabela 6 – Estatísticas descritivas das características químicas e físicas das amostras de solos coletadas em SC.....	Error! Bookmark not defined.
Tabela 7 – Comparação das médias dos teores de Hg nos solos nas regiões de Santa Catarina	Error! Bookmark not defined.
Tabela 8 – Comparação da média de Hg nos solos com diferentes saturações por bases	Error! Bookmark not defined.
Tabela 9 – Concentrações médias de Hg em solos derivados de diferentes materiais de origem	Error! Bookmark not defined.
Tabela 10 – Análises estatísticas dos dados.....	Error! Bookmark not defined.
Tabela 11 – Comparação da média de Se nos diferentes materiais de origem	Error! Bookmark not defined.
Tabela 12 – Limite de Detecção Quantitativa do Método de acordo com a recuperação do NIST	Error! Bookmark not defined.
Tabela 13 – Matriz de correlação de Pearson entre as propriedades de solo e os metais estudados	Error! Bookmark not defined.
Tabela 14 – Análise de componentes principais para o conjunto de variáveis de solos e metais	Error! Bookmark not defined.
Tabela 15 – Classificação das amostras nos quatro grupos definidos pela análise de agrupamento.	Error! Bookmark not defined.
Tabela 16 – Estatística descritiva das características químicas e físicas dos solos analisados...	Error! Bookmark not defined.

Tabela 17 – Estatística descritiva dos elementos dos solos analisados.[Error!](#) [Bookmark](#) [not defined.](#)

Tabela 18 – Teores naturais médios de elementos-traço nos diferentes grupos de rochas de acordo com o material de origem dos solos.....[Error!](#) [Bookmark](#) [not defined.](#)

Tabela 19 - Teores naturais de elementos-traço nas diferentes classes de solos em mg kg^{-1} [Error!](#) [Bookmark](#) [not defined.](#)

Tabela 20 – Teor de argila, TOC, pH, CTC pH 7 e P dos solos analisados nos grupos de acordo com as faixas de percentual do teor de argila.[Error!](#) [Bookmark](#) [not defined.](#)

Tabela 21 – Valor de Prevenção (VP) segundo a resolução CONAMA nº 420 (2009) e VRQs para as substâncias inorgânicas em solos de Santa Catarina no percentil 75 e 90.[Error!](#) [Bookmark](#) [not defined.](#)

Tabela 22 – VRQs em outros estados brasileiros e países do mundo em mg kg^{-1} [Error!](#) [Bookmark](#) [not defined.](#)

Tabela 23 – Comparaçāo dos VRQs para solos segundo a Instruçāo Normativa 45 do IMA-SC (2021) e os novos valores sugeridos.....[Error!](#) [Bookmark](#) [not defined.](#)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa das regiões do Brasil e a situação atual dos estados na implementação dos VRQs.**Error! Bookmark not defined.**

Figura 2 – Algumas imagens do horizontes A dos solos no momento da coleta. A) Nitossolo Vermelho Eutroférrico chernossólico; B) Cambissolo Háplico Alumínico úmbrico; C) Cambissolo Húmico Distrófico típico; D) Organossolo Fólico Sáprico cambissólico; E) Chernossolo Argilúvico Férrico típico; F) Cambissolo Háplico Alítico típico; G) Cambissolo Háplico Alítico típico; H) Organossolo Fólico Sáprico típico.**Error! Bookmark not defined.**

Figura 3 – Coleta de solo em Organossolo Fólico Sáprico típico no Morro das Antenas, em Urupema.**Error! Bookmark not defined.**

Figura 4 – Pontos de coleta de amostras de solo nas mesorregiões do estado de Santa Catarina**Error! Bookmark not defined.**

Figura 5 – Preparo das amostras de solo. A) Moagem; B) Separação da TFSA.**Error! Bookmark not defined.**

Figura 6 – Pontos dos solos coletados em Santa Catarina, geologia e concentrações de Hg**Error! Bookmark not defined.**

Figura 7 – Concentrações médias de Hg nas diferentes classes de solos.**Error! Bookmark not defined.**

Figura 8 – Distribuição dos pontos de coletas e sua relação com as características químicas e físicas do solo na análise de componentes principais.**Error! Bookmark not defined.**

Figura 9 – Análises de Se. A) Digestão no micro-ondas; B) Sedimentação; C) Espectroscopia de Emissão Óptica com Plasma Induzido (ICP OES).**Error! Bookmark not defined.**

Figura 10 – Média dos teores de selênio nas diferentes classes de solos.**Error! Bookmark not defined.**

Figura 11 – Média dos valores de background de selênio nos diferentes solos de Santa Catarina de acordo com a classificação do material de origem**Error! Bookmark not defined.**

Figura 12 – Distribuição dos pontos de coletas e sua relação com as características químicas e físicas do solo na análise de componentes principais.**Error! Bookmark not defined.**

Figura 13 – Mapa dos solos de Santa Catarina coletados para a análise dos teores naturais e definição dos VRQs.**Error! Bookmark not defined.**

Figura 14 – Dendrograma de classificação das amostras de solo em grupos, de acordo com o TOC, pH, valor T, argila e óxidos de ferro e manganês**Error! Bookmark not defined.**

Figura 15 – Grupos de solos (pontos amostrais) de acordo com o teor de argila (<15%; 15 a 35%; 35 a 55% e >55%).**Error! Bookmark not defined.**

Figura 16 – Teores naturais de elementos-traço nos grupos de acordo com o teor de argila**Error! Bookmark not defined.**

Figura 17 – Jogo da memória da Resolução CONAMA nº 420.**Error! Bookmark not defined.**

Figura 18 – Tabuleiro do jogo desafio sustentável: o solo e os ODS **Error! Bookmark not defined.**

Figura 19 – Instruções do jogo desafio sustentável: o solo e os ODS**Error! Bookmark not defined.**

Figura 20 – Cartas amarelas de sorte ou revés do jogo desafio sustentável: o solo e os ODS ...**Error! Bookmark not defined.**

Figura 21 – Cartas azuis com perguntas sobre a resolução CONAMA nº 420 do jogo desafio sustentável: o solo e os ODS.....**Error! Bookmark not defined.**

Figura 22 – Cartas verdes com diversos ODS do jogo desafio sustentável: o solo e os ODS....**Error! Bookmark not defined.**

Figura 23 – Instruções do jogo de cartas dos VRQs para Santa Catarina**Error! Bookmark not defined.**

Figura 24 – Cartas de cenários com os teores de argila para classificação dos VRQs para Santa Catarina do jogo de cartas.....**Error! Bookmark not defined.**

Figura 25 – Cartas dos elementos-traço com os VRQs para Santa Catarina do jogo de cartas ..**Error! Bookmark not defined.**

Figura 26 – Cartas dos elementos-traço com os VRQs para Santa Catarina do jogo de cartas ..**Error! Bookmark not defined.**

Figura 27 – Cartas de desafios com perguntas e respostas do jogo de cartas dos VRQs para Santa Catarina**Error! Bookmark not defined.**

Figura 28 – Cartas de desafios com perguntas e respostas do jogo de cartas dos VRQs para Santa Catarina**Error! Bookmark not defined.**

Figura 29 – Mapa conceitual do trabalho “Valores de referência para elementos-traço em solos de Santa Catarina como suporte à legislação e educação ambiental”.....37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAS GF	Absorção Atômica Acoplada a Forno De Grafite
AC	Acre
AL	Alagoas
AM	Amazonas
AP	Amapá
BA	Bahia
BCR	Gabinete de Referência Comunitária
CE	Ceará
CEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
CETEM-RJ	Centro de Tecnologia Mineral – Rio de Janeiro
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
CV	Coeficiente de Variação
DP	Desvio Padrão
EDX	Espectrômetro de Raio X
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
ES	Espírito Santo
ETE	Elementos Terras Raras
FAPESC	Fundação de Apoio à Pesquisa Científica e Tecnológica do Estado de Santa Catarina
GAC	Gerenciamento de Áreas Contaminadas
GO	Goiás
ICP-OES	Espectroscopia de Emissão Óptica com Plasma Induzido
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMA-SC	Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina
LD	Limite de Detecção
LDQM	Limite de Detecção Quantitativa do Método
LEMA	Laboratório de Especificação de Mercúrio Ambiental
LQ	Limite de Quantificação
MA	Maranhão
MG	Minas Gerais
MS	Mato Grosso do Sul

MT	Mato Grosso
NIST	Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia dos Estados Unidos
OMS	Organização Mundial de Saúde
PCA	Análise dos Componentes Principais
PA	Pará
PB	Paraíba
PE	Pernambuco
PI	Piauí
PPGCS	Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo
PR	Paraná
RJ	Rio de Janeiro
RO	Rondônia
RR	Roraima
RS	Rio Grande do Sul
SC	Santa Catarina
SE	Sergipe
SP	São Paulo
TFSA	Terra Fina Seca ao Ar
TO	Tocantins
TOC	Carbono Orgânico Total
VI	Valor de Investigação
VP	Valor de Prevenção
VRQ	Valor de Referência de Qualidade
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina
UNIEDU-SC	Programa de Bolsas do Estado de Santa Catarina

LISTA DE SÍMBOLOS

Ag	Prata
Al ₂ O ₃	Óxido de Alumínio
Al	Alumínio
As	Arsênio
Ba	Bário
B	Boro
C	Carbono
°C	Graus celsius
Ca	Cálcio
Cd	Cádmio
Ce	Cério
Co	Cobalto
Cr	Cromo
Cu	Cobre
Dy	Disprósio
Er	Érbio
Eu	Európio
Fe	Ferro
Fe ₂ O ₃	Óxido de Ferro
g	Gramma
g L ⁻¹	Gramma por litro
g kg ⁻¹	Gramma por quilo
Gd	Gadolínio
Hg	Mercúrio
HNO ₃	Ácido nítrico
Km ²	Quilômetros quadrados
La	Lantânia
Lu	Lutécio
mg	Miligramma
mg kg ⁻¹	Miligramma por quilo
mg L ⁻¹	Miligramma por litro
Min	Minuto
Mn	Manganês

MnO	Óxido de manganês
Mo	Molibdênio
N	Nitrogênio
NaBH ₄	Borohidreto de sódio
NaOH	Hidróxido de sódio
Nº	Número
Nd	Neodímio
Ni	Níquel
nm	Nanômetro
Pb	Chumbo
pH	Potencial hidrogeniônico
Pr	Praseodímio
P	Fósforo
Sb	Antimônio
Se	Selênio
Seg	Segundos
Sm	Samário
Tb	Térbio
$\mu\text{g L}^{-1}$	Micrograma por litro
V	Vanádio
W	Watts
Yb	Itérbio
Zn	Zinco

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	22
OBJETIVOS	24
a) Objetivo Geral.....	24
b) Objetivos Específicos.....	25
CAPÍTULO 1 – DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DOS VALORES DE REFERÊNCIA DE QUALIDADE (VRQs) PARA SOLOS BRASILEIROS	26
RESUMO	26
4.1 INTRODUÇÃO	Error! Bookmark not defined.
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	Error! Bookmark not defined.
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	Error! Bookmark not defined.
1.3.1 Estados Brasileiros com os VRQs estabelecidos em legislação	Error! Bookmark not defined.
1.3.2 Pesquisas em desenvolvimento nas Regiões Sul, Sudeste e Centro-oeste	Error! Bookmark not defined.
1.3.3 Estudos nas regiões Norte e Nordeste do Brasil	Error! Bookmark not defined.
1.3.4 Desafios na definição dos VRQs para solos brasileiros.....	Error! Bookmark not defined.
1.4 CONCLUSÃO	Error! Bookmark not defined.
1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	Error! Bookmark not defined.
CAPÍTULO 2 – TEORES NATURAIS DE MERCÚRIO EM DIFERENTES SOLOS DE SANTA CATARINA NO BRASIL	28
RESUMO	28
2.1 INTRODUÇÃO	Error! Bookmark not defined.
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	Error! Bookmark not defined.
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	Error! Bookmark not defined.
2.4 CONCLUSÃO	Error! Bookmark not defined.
2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	Error! Bookmark not defined.
CAPÍTULO 3 – TEORES NATURAIS DE SELÊNIO EM SOLOS DE SANTA CATARINA NO BRASIL	30
RESUMO	30
3.1 INTRODUÇÃO	Error! Bookmark not defined.
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	Error! Bookmark not defined.
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	Error! Bookmark not defined.
3.4 CONCLUSÃO	Error! Bookmark not defined.
3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	Error! Bookmark not defined.

CAPÍTULO 4 – VALORES DE REFERÊNCIA DE QUALIDADE (VRQS) PARA As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, V E Zn EM SOLOS DE SANTA CATARINA: REGIONALIZAÇÃO E REGULAMENTAÇÃO AMBIENTAL.....	31
RESUMO	32
4.1 INTRODUÇÃO	Error! Bookmark not defined.
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	Error! Bookmark not defined.
4.2.1 Área de estudo.....	Error! Bookmark not defined.
4.2.1 Análises físicas e químicas	Error! Bookmark not defined.
4.2.2 Análises estatísticas.....	Error! Bookmark not defined.
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	Error! Bookmark not defined.
4.3.1 Separação dos grupos.....	Error! Bookmark not defined.
4.3.2 Teores naturais das substâncias inorgânicas	Error! Bookmark not defined.
4.3.3 Definição dos VRQs para os solos catarinenses	Error! Bookmark not defined.
4.4 CONCLUSÃO	Error! Bookmark not defined.
4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	Error! Bookmark not defined.
CAPÍTULO 5 – JOGOS DIDÁTICOS E EDUCAÇÃO AMBIENTAL: UMA ABORDAGEM PARA O ENSINO DA RESOLUÇÃO CONAMA Nº 420/2009 E OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS).....	34
RESUMO	34
5.1 INTRODUÇÃO	Error! Bookmark not defined.
5.2 MATERIAL E MÉTODOS	Error! Bookmark not defined.
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	Error! Bookmark not defined.
5.3.1 PROPOSTA 1: JOGO DA MEMÓRIA DA RESOLUÇÃO CONAMA Nº 420: TERMOS E DEFINIÇÕES	Error! Bookmark not defined.
5.3.2 PROPOSTA 2: JOGO DE TABULEIRO: DESAFIO SUSTENTÁVEL: O SOLO E OS ODS Error! Bookmark not defined.	
5.3.3 PROPOSTA 3: JOGO DE CARTAS: VALORES DE REFERÊNCIA DE QUALIDADE (VRQs) PARA OS SOLOS DE SANTA CATARINA	Error! Bookmark not defined.
5.3.4 PROPOSTA 4: DEBATE SOBRE CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL Error! Bookmark not defined.	
5.4 CONCLUSÃO	Error! Bookmark not defined.
5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	Error! Bookmark not defined.
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38
APÊNDICE A – LISTA DE CONCEITOS	40
APÊNDICE B – MÉDIA DAS ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS REALIZADAS NOS SOLOS ESTUDADOS	Error! Bookmark not defined.
APÊNDICE C – MÉDIA DOS TEORES NATURAIS DOS ELEMENTOS-TRAÇO NOS SOLOS ESTUDADOS	Error! Bookmark not defined.

INTRODUÇÃO GERAL

Os elementos-traço são substâncias inorgânicas presentes em baixas concentrações nos solos. Alguns dos elementos-traço são nutrientes essenciais e indispensáveis para o desenvolvimento de organismos vivos, por serem constituintes de moléculas orgânicas ou desempenharem funções específicas no metabolismo, como o Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Zn, Ni e Se (Campos et al., 2020). Outros destes elementos, tais como o Cd, Pb e Hg, podem encontrar-se presentes nos organismos sem qualquer função específica ou conhecida (Rehman et al., 2018; Rai et al., 2019). A contaminação do meio ambiente por elementos-traço de origem antrópica tornou-se um problema grave do ponto de vista ecológico e de saúde humana (Wang et al., 2020). A contaminação do solo pode impactar gravemente os ecossistemas, contaminar os corpos hídricos, plantas e entrar na cadeia alimentar. Ao se acumularem em organismos, os elementos-traço podem causar bioacumulação e biomagnificação, afetando os processos metabólicos de diversas formas de vida (Ali et al., 2019).

Algumas estimativas do tempo de permanência de elementos-traço nos solos mostram que a contaminação destes pode se constituir em um problema de longa duração. Estima-se que o cádmio permanece entre 75 a 380 anos no solo, o mercúrio entre 500 a 1000 anos e para arsênio, cobre, níquel, chumbo, selênio e zinco o tempo está entre 1000 e 3000 anos (Alloway, 2012).

Com o intuito de regulamentar essa questão, no ano de 2009, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) homologou a Resolução nº 420, que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas (elementos-traço) e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas (Brasil, 2009). Essa resolução, em seu artigo 8º estabelece que os valores de referência de qualidade (VRQ) do solo, para 20 substâncias inorgânicas, sejam estabelecidos pelos órgãos ambientais competentes dos Estados e do Distrito Federal até o ano de 2014. O apêndice A apresenta uma listagem dos principais conceitos do trabalho.

A Instrução Normativa IMA-SC (Instituto de Meio Ambiente de Santa Catarina) nº 74 (IMA, 2018) aplicada à recuperação e ao gerenciamento de áreas contaminadas, traz critérios para apresentação dos planos, programas e projetos ambientais a serem executados nas diferentes etapas do processo de licenciamento ambiental, que está previsto na Política Nacional do Meio Ambiente e na Resolução CONAMA nº 001 (CONAMA, 1986).

Desde 2009, o Departamento de Solos e Recursos Naturais da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) vem se consolidando como um centro de referência nos estudos sobre os

Valores de Referência de Qualidade (VRQs) no estado de Santa Catarina. Essa trajetória foi impulsionada por um esforço contínuo do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (PPGCS), que, por meio de dissertações, teses e publicações científicas, contribuiu significativamente para a compreensão dos teores naturais de elementos potencialmente tóxicos nos solos do estado. Os estudos seguiram rigorosamente as diretrizes estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 420 de 2009. Entre os avanços mais notáveis estão as pesquisas pioneiras de Hugen et al. (2010, 2013), que determinaram os teores naturais de elementos como cobre (Cu), zinco (Zn), cromo (Cr) e chumbo (Pb). Posteriormente, Souza (2015) ampliou esse escopo, analisando os teores naturais de bário (Ba), cádmio (Cd) e níquel (Ni). Por fim, Suppi et al. (2018) dedicaram-se ao estudo do cobalto (Co), completando uma importante etapa na construção do banco de dados de VRQs para o estado.

Os VRQs determinados com base no percentil 75 (quartil superior) foram para Ba de 75,76 mg kg⁻¹, para Cd de 0,11 mg kg⁻¹, para Ni de 18,3 mg kg⁻¹, para Cu de 93,84 mg kg⁻¹, para Zn de 55,6 mg kg⁻¹, para Cr de 47,68 mg kg⁻¹, para Pb de 16,08 mg kg⁻¹ e para Co de 22,58 mg kg⁻¹. Esses valores serviram como base para o Instituto de Meio Ambiente de Santa Catarina – IMA, que decidiu por criar a primeira resolução do estado, a portaria IMA nº 45/2021 (IMA, 2021).

Além desses elementos, outros listados na Resolução CONAMA nº 420/2009 também foram objeto de investigação. Arsênio (As), antimônio (Sb), molibdênio (Mo) e vanádio (V) foram quantificados em estudos mais recentes conduzidos por Machado et al. (2021) e Suppi et al. (2021). Restavam, contudo, os elementos selênio (Se) e mercúrio (Hg), cuja determinação foi concluída nesta pesquisa. Esses estudos foram fundamentais para estabelecer parâmetros seguros para o manejo sustentável do solo e contribuir para a proteção ambiental em Santa Catarina.

Se presentes em concentrações inadequadas, os elementos-traço podem lixiviari, contaminar os recursos hídricos e bioacumular na cadeia alimentar. O selênio (Se) é um metaloide essencial para a saúde humana e animal em quantidades traço, mas que se torna tóxico em concentrações elevadas. Quando os níveis de Se no solo são altos, ele é frequentemente acumulado em plantas e pode causar toxidez a animais e seres humanos que ingerirem esses vegetais (El-Ramady Et Al., 2016; Ruszczyńska Et Al., 2017; Hasanuzzaman; Bhuyan, 2020). O mercúrio (Hg) pode se tornar um sério problema de poluição ambiental devido a sua alta toxicidade, persistência no ambiente e contaminação generalizada. Ele é um metal altamente tóxico e não possui funções biológicas nos seres vivos. A exposição de seres humanos para o mercúrio pode estar associada com efeitos tóxicos aos sistemas imunológico, digestório e nervoso, também aos rins, olhos, pulmões e pele (Buchachenko, 2018).

O estado de Santa Catarina está localizado na região sul do Brasil e está inserido no bioma Mata Atlântica, com formação de florestas e campos. As principais atividades econômicas são a indústria, o extrativismo e a pecuária (IBGE, 2010). Considerando a grande diversidade geológica e

pedológica do Estado de Santa Catarina e o avançado desenvolvimento agrícola e industrial, pode-se afirmar que a importância de se estabelecer os VRQs para solos catarinenses não reside apenas na necessidade de atender à legislação federal, mas principalmente no uso desses valores em análise de risco para estabelecimento de condutas minimizadoras do impacto ambiental em projetos antes da emissão de licenças ambientais; identificação e proteção de populações que moram nas circunvizinhanças de empreendimentos industriais, minerários, entre outros; criação de um inventário de áreas contaminadas e construção de planos de recuperação e monitoramento para estas. Diante desse contexto, os VRQs para Santa Catarina foram avaliados e recalculados para subsidiar o Instituto do Meio Ambiente (IMA-SC).

Além disso, é importante destacar a relevância de integrar conceitos científicos, legislação ambiental e conscientização sobre a preservação do solo ao cotidiano escolar, incentivando o pensamento crítico, a cidadania ativa e o engajamento dos estudantes com questões essenciais para a sustentabilidade. Relacionar a pesquisa científica com a educação básica é essencial para transformar conhecimento técnico em soluções práticas que beneficiem a sociedade. Essa conexão permite que os avanços científicos sejam aplicados de forma direta, promovendo melhorias em áreas como saúde, educação, meio ambiente e qualidade de vida. A pesquisa se torna mais acessível e relevante, fortalecendo a conscientização, o engajamento social e a construção de políticas públicas mais eficazes.

O conceito de Saúde Única está diretamente relacionado ao estudo dos elementos-traço nos solos de Santa Catarina, pois evidencia a interdependência entre saúde humana, animal e ambiental, configurando um problema que transcende fronteiras disciplinares. Nesse contexto, a determinação dos VRQs para solos no estado de Santa Catarina ganha relevância sob a perspectiva da Saúde Única. A pesquisa contribui para a regulamentação ambiental, promovendo o uso sustentável do solo, a mitigação de riscos à saúde de populações humanas e animais e a preservação ambiental (Xie et al., 2017). Além disso, a integração do conhecimento científico com a educação básica fortalece a conscientização e o engajamento social, permitindo que os avanços científicos sejam aplicados para melhorar a qualidade de vida, alinhando-se aos princípios da Saúde Única e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

OBJETIVOS

a) Objetivo Geral

Estabelecer os teores naturais de Hg e Se, bem como os VRQs para elementos-traço em solos do estado de Santa Catarina, visando subsidiar a legislação ambiental e promover a educação ambiental.

b) Objetivos Específicos

- Avaliar a situação atual sobre a implementação e definição dos Valores de Referência de Qualidade (VRQs) dos solos nos estados brasileiros;
- Determinar os teores naturais de mercúrio e selênio para os solos de Santa Catarina;
- Estabelecer os VRQs para Hg e Se para parâmetros com vistas ao Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC) em Santa Catarina;
- Subsidiar o Instituto do Meio Ambiente (IMA) para criação de legislação ambiental para a determinação dos valores orientadores de Hg e Se;
- Reavaliar os teores naturais dos elementos As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mo, Ni, Pb e Sb nos solos catarinenses para definir os VRQs para Santa Catarina;
- Promover o aprendizado sobre a Resolução CONAMA nº 420/2009, o conceito de VRQs para solos e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) na educação básica de forma interativa e prática.

CAPÍTULO 1 – DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DOS VALORES DE REFERÊNCIA DE QUALIDADE (VRQs) PARA SOLOS BRASILEIROS

RESUMO

Os Valores de Referência de Qualidade (VRQs) para solos são concentrações naturais de substâncias químicas que servem como parâmetro para avaliar a contaminação ambiental. A Resolução CONAMA nº 420/2009 determina que os estados devem definir seus VRQs de acordo com as particularidades de cada região, visando proteger os ecossistemas e a saúde humana ao evitar que os solos alcancem níveis críticos de degradação. O objetivo do estudo é analisar a situação atual da implementação dos VRQs no Brasil, avaliando as metodologias adotadas e sua importância para a proteção ambiental. São Paulo é o único estado brasileiro que definiu valores de prevenção para alguns elementos. Somente seis estados já publicaram legislação específica para definição dos VRQs: São Paulo, Minas Gerais, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Sergipe e Pernambuco. Não foram encontrados legislação e nem estudos publicados sobre os VRQs nos estados de Goiás, Paraíba, Acre, Roraima e Amapá, a maioria localizados na região amazônica. A definição dos VRQs para solos no Brasil enfrenta desafios significativos, especialmente em estados com infraestrutura limitada e escassez de recursos para gestão ambiental. A complexidade técnica e a diversidade geológica exigem análises detalhadas e uma equipe técnica qualificada. Embora a resolução exija que os estados definam seus VRQs, muitos ainda não o fizeram, ressaltando a necessidade urgente de estudos locais para garantir a proteção ambiental e a saúde pública, na perspectiva da saúde única. A expectativa é que, com o avanço das implementações, o processo se torne mais acessível em todo o país.

Palavras-chave: Valores de Referência de Qualidade (VRQ); Contaminação do Solo; Legislação Ambiental.

ABSTRACT

Quality Reference Values (QRVs) for soils are natural concentrations of chemical substances that serve as parameters for assessing environmental contamination. CONAMA Resolution No. 420/2009 mandates that states define their QRVs according to the specific characteristics of each region, aiming to protect ecosystems and human health by preventing soils from reaching critical levels of degradation. This study aims to analyze the current status of QRV implementation in Brazil, evaluating the methodologies adopted and their importance for environmental protection. São Paulo is the only Brazilian state that has established prevention values for certain elements. Only six states have published specific legislation for defining QRVs: São Paulo, Minas Gerais, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Sergipe, and Pernambuco. No legislation or published studies on QRVs were found

in the states of Goiás, Paraíba, Acre, Roraima, and Amapá, most of which are located in the Amazon region. The definition of QRVs for soils in Brazil faces significant challenges, particularly in states with limited infrastructure and scarce resources for environmental management. The technical complexity and geological diversity require detailed analyses and a qualified technical team. Although the resolution requires states to define their QRVs, many have yet to do so, highlighting the urgent need for local studies to ensure environmental protection and public health, from the perspective of One Health. The expectation is that, as implementation progresses, the process will become more accessible across the country.

Keywords: Reference Values of Quality (VRQ); Soil Contamination; Environmental Legislation.

CAPÍTULO 2 – TEORES NATURAIS DE MERCÚRIO EM DIFERENTES SOLOS DE SANTA CATARINA NO BRASIL

RESUMO

O mercúrio no solo pode representar uma ameaça significativa à saúde ambiental, devido à sua capacidade de contaminar ecossistemas, acumular-se na cadeia alimentar e persistir por longos períodos no meio ambiente. O estudo buscou investigar os teores naturais de mercúrio (Hg) em solos subtropicais de Santa Catarina, no Brasil, visando estabelecer valores de background para monitoramento ambiental. Foram coletadas 50 amostras de solos de diferentes classes e materiais de origem, analisando-se variáveis como pH, saturação por bases, argila, carbono orgânico total e fósforo. As concentrações de Hg variaram entre 0,03 e 0,85 mg kg⁻¹, com média de 0,11 mg kg⁻¹, sendo os teores mais altos associados a solos derivados de granitos e rochas metamórficas. Apenas uma amostra de solo ultrapassou o valor de prevenção (0,5 mg kg⁻¹) determinado pela resolução CONAMA nº 420/2009. Solos jovens apresentaram maiores concentrações de Hg. A análise regional mostrou maiores teores na Grande Florianópolis e norte do estado, influenciados por fatores como material de origem e condições ambientais locais. A correlação entre teores naturais de Hg e as características dos solos auxilia na compreensão da distribuição do Hg no ambiente e no desenvolvimento de políticas de controle ambiental.

Palavras-chave: Hg, Solos Subtropicais; Valores de Background; Monitoramento Ambiental.

ABSTRACT

Mercury in soil can pose a significant threat to environmental health due to its ability to contaminate ecosystems, accumulate in the food chain, and persist in the environment for long periods. This study aimed to investigate the natural levels of mercury (Hg) in subtropical soils of Santa Catarina, Brazil, to establish background values for environmental monitoring. Fifty soil samples were collected from different soil classes and parent materials, analyzing variables such as pH, base saturation, clay content, total organic carbon, and phosphorus. Hg concentrations ranged from 0.03 to 0.85 mg kg⁻¹, with an average of 0.11 mg kg⁻¹, and the highest levels were associated with soils derived from granites and metamorphic rocks. Only one soil sample exceeded the prevention value (0.5 mg kg⁻¹) set by CONAMA Resolution No. 420/2009. Younger soils showed higher Hg concentrations. Regional analysis revealed higher levels in the Greater Florianópolis area and the northern part of the state, influenced by factors such as parent material and local environmental conditions. The correlation between natural Hg levels and soil characteristics helps in understanding Hg distribution in the environment and in developing environmental control policies.

Keywords: Hg; Subtropical Soils; Background Values; Environmental Monitoring.

CAPÍTULO 3 – TEORES NATURAIS DE SELÊNIO EM SOLOS DE SANTA CATARINA NO BRASIL

RESUMO

O Selênio (Se) é um elemento essencial para os seres humanos, mas, se presente em altas quantidades, pode se tornar tóxico. O objetivo deste estudo foi avaliar os teores naturais de Se em solos do estado de Santa Catarina, localizado na região sul do Brasil. Os 50 locais de amostragem foram escolhidos por apresentarem pouca interferência antrópica e alta diversidade pedológica e geológica. As amostras de solo foram coletadas no horizonte A dos solos com até 20 cm de profundidade. Análises de Ca, Mg, K, P, TOC, acidez e textura seguiram métodos padronizados, enquanto o selênio foi analisado após digestão ácida e medição por ICP-OES. Os teores naturais de Se variaram entre 0,34 e 11,25 mg kg⁻¹. O teor médio de Se foi de 1,60 mg kg⁻¹, maior que a média mundial (0,33 mg kg⁻¹) e menor que o valor de prevenção (5 mg kg⁻¹) estabelecido pela resolução CONAMA n° 420/2009. O comportamento do Se no solo é influenciado pelo pH, P, óxidos de Fe, Al e Mn, argila e matéria orgânica. Solos derivados de rochas metamórficas apresentaram mais Se devido à recristalização de minerais e mobilização de elementos-traço durante o metamorfismo. Conhecer os valores de background de Se são fundamentais, pois representam as concentrações naturais dos solos, servindo como referência para diferenciar condições naturais de possíveis contaminações antrópicas. Esses dados são essenciais para embasar decisões relacionadas ao uso e manejo sustentável do solo, bem como para a definição de estratégias de monitoramento e remediação ambiental.

Palavras-chave: Selênio; Valores de Background; Solos Subtropicais.

ABSTRACT

Selenium (Se) is an essential element for humans, but in high quantities, it can become toxic. The objective of this study was to assess the natural levels of Se in soils from the state of Santa Catarina, located in the southern region of Brazil. The 50 sampling sites were chosen for their low anthropogenic interference and high pedological and geological diversity. Soil samples were collected from the A horizon of soils up to 20 cm in depth. Analyses of Ca, Mg, K, P, TOC, acidity, and texture followed standardized methods, while selenium was analyzed after acid digestion and measurement by ICP-OES. The natural Se levels ranged from 0.34 to 11.25 mg kg⁻¹. The average Se content was 1.60 mg kg⁻¹, higher than the global average (0.33 mg kg⁻¹) and lower than the prevention value (5 mg kg⁻¹) established by CONAMA Resolution No. 420/2009. The behavior of Se in soil is influenced by pH, P, Fe, Al, and Mn oxides, clay content, and organic matter. Soils derived from

metamorphic rocks had higher Se levels due to the recrystallization of minerals and mobilization of trace elements during metamorphism. Knowing the background values of Se is crucial, as they represent the natural concentrations in soils, serving as a reference to differentiate natural conditions from potential anthropogenic contamination. These data are essential to support decisions related to sustainable land use and management, as well as to define strategies for monitoring and environmental remediation.

Keywords: Selenium; Background Values; Brazilian Soils.

CAPÍTULO 4 – VALORES DE REFERÊNCIA DE QUALIDADE (VRQS) PARA As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, V E Zn EM SOLOS DE SANTA CATARINA: REGIONALIZAÇÃO E REGULAMENTAÇÃO AMBIENTAL

RESUMO

Este estudo teve como objetivo determinar os teores naturais e estabelecer os Valores de Referência de Qualidade (VRQs) para os elementos-traço em solos de Santa Catarina, visando subsidiar a legislação ambiental do estado e contribuir para a preservação do solo. Foram coletadas 50 amostras de solo do horizonte A, abrangendo diferentes tipos de solos presentes no estado. As análises físicas e químicas envolveram a determinação de pH, capacidade de troca catiônica, carbono orgânico total, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, P, teor de argila, silte e areia, além dos elementos As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, V e Zn, por meio de técnicas como ICP OES e espectrometria de absorção atômica. A análise estatística permitiu o agrupamento dos solos em quatro grupos distintos, com base no teor de argila e os VRQs foram definidos para os grupos de acordo com o percentil 75. Os resultados indicaram solos predominantemente ácidos, com grande variação textural. Constatou-se que os teores de elementos inorgânicos nos solos variam conforme o teor de argila e a mineralogia do material de origem, destacando-se a maior concentração nos solos derivados de rochas ígneas extrusivas. Os VRQs foram semelhantes a outras regiões do Brasil. Os VRQs excederam os valores de prevenção (VP) da resolução CONAMA nº 420 para os elementos Co e Cu. A regionalização dos VRQs é fundamental para a regulamentação ambiental, oferecendo parâmetros adequados para identificar contaminações e proteger os ecossistemas locais, considerando a diversidade geológica e pedológica de Santa Catarina.

Palavras-chave: Qualidade do solo, Elementos-traço, Solos de Santa Catarina, Valores orientadores.

ABSTRACT

This study aimed to determine the natural levels and establish the Reference Values for Quality (VRQs) for trace elements in soils from Santa Catarina, with the goal of supporting the state's environmental legislation and contributing to soil preservation. Fifty soil samples were collected from the A horizon, covering different soil types present in the state. The physical and chemical analyses involved determining pH, cation exchange capacity, total organic carbon, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, P, clay, silt, and sand content, as well as the elements As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, V, and Zn, using techniques such as ICP OES and atomic absorption spectrometry. Statistical analysis allowed for the grouping of soils into four distinct groups based on clay content, and the VRQs were defined for these groups according to the 75th percentile. The results indicated predominantly acidic

soils with significant textural variation. It was found that the levels of inorganic elements in the soils vary according to clay content and the mineralogy of the parent material, with the highest concentrations in soils derived from extrusive igneous rocks. The VRQs were similar to those in other regions of Brazil. The VRQs exceeded the prevention values (VP) established by CONAMA Resolution No. 420 for Co and Cu. The regionalization of VRQs is crucial for environmental regulation, providing adequate parameters to identify contamination and protect local ecosystems, considering the geological and pedological diversity of Santa Catarina.

Keywords: Soil quality, Trace elements, Santa Catarina soils, Reference Quality Values (VRQ).

CAPÍTULO 5 – JOGOS DIDÁTICOS E EDUCAÇÃO AMBIENTAL: UMA ABORDAGEM PARA O ENSINO DA RESOLUÇÃO CONAMA Nº 420/2009 E OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS)

RESUMO

A preservação da qualidade do solo é essencial para o equilíbrio ambiental e a saúde pública. A Resolução CONAMA nº 420/2009, que dispõe sobre a qualidade dos solos, é um instrumento fundamental nesse contexto. No entanto, o conhecimento sobre essa norma ainda é pouco difundido na educação básica. A incorporação de jogos didáticos pode preencher essa lacuna, promovendo o aprendizado interdisciplinar e estimulando a conscientização ambiental entre os estudantes. Este artigo tem como objetivo propor jogos didáticos que conectem a Resolução CONAMA às metas dos ODS, facilitando a aprendizagem de sustentabilidade e educação ambiental. Alinhados à Base Nacional Comum Curricular (BNCC), esses jogos integram conceitos científicos, legislação ambiental e os ODS, incentivando a cidadania ativa. Nesta pesquisa, foram desenvolvidos jogos como o jogo da memória da Resolução CONAMA nº 420/2009, que conecta termos e definições, o jogo de tabuleiro do desafio ambiental, onde os participantes enfrentam dilemas ligados à contaminação do solo, o jogo de cartas sobre a definição dos VRQs para Santa Catarina e uma proposta de debate com uma situação-problema de contaminação ambiental. Com uma abordagem lúdica e interativa, os jogos estimulam o pensamento crítico e fortalecem o entendimento sobre a importância do solo para a sustentabilidade. Assim, oferecem uma ferramenta eficaz para inserir a educação ambiental nas escolas, promovendo o engajamento de jovens com temas cruciais para o futuro do planeta.

Palavras-chave: Educação ambiental, Qualidade do solo, Jogos didáticos, Objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS).

ABSTRACT

The preservation of soil quality is essential for environmental balance and public health. CONAMA Resolution No. 420/2009, which addresses soil quality, is a key instrument in this context. However, knowledge about this regulation is still not widely spread in basic education. The incorporation of educational games can fill this gap by promoting interdisciplinary learning and encouraging environmental awareness among students. This article aims to propose educational games that connect CONAMA Resolution to the SDG goals, facilitating the learning of sustainability and environmental education. Aligned with the National Common Curricular Base (BNCC), these games integrate scientific concepts, environmental legislation, and the SDGs, fostering active citizenship. In this research, games were developed such as the memory game of CONAMA Resolution No.

420/2009, which connects terms and definitions, the environmental challenge board game, where participants face dilemmas related to soil contamination, the card game about defining VRQs for Santa Catarina, and a debate proposal with a problem-situation on environmental contamination. With a playful and interactive approach, the games stimulate critical thinking and strengthen understanding of the importance of soil for sustainability. Thus, they offer an effective tool to introduce environmental education in schools, promoting young people's engagement with crucial topics for the future of the planet.

Keywords: Environmental Education, Soil Quality, Educational Games, Sustainable Development Goals (SDGs).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho reforça a importância da determinação de VRQs específicos para a preservação ambiental e o uso sustentável dos solos, colaborando para o avanço do manejo ambiental no Brasil. O processo de determinação dos VRQs para o estado de Santa Catarina é essencial para avaliar os níveis de contaminação e oferecer subsídios para a criação de regulamentações que visem a preservação ambiental e a proteção à saúde pública. A escolha do percentil 75 para o cálculo dos VRQs demonstrou uma abordagem cautelosa, proporcionando maior segurança ambiental ao minimizar permissividades excessivas e estabelecendo padrões rigorosos para o gerenciamento de áreas potencialmente contaminadas.

Os resultados indicaram que os teores naturais de Hg variaram entre 0,03 e 0,847 mg kg⁻¹, enquanto os de Se oscilaram entre 0,34 e 11,25 mg kg⁻¹, dependendo da classe de solo. Esses valores destacam a importância de considerar a diversidade pedológica para uma gestão ambiental eficaz e alinhada às características locais. Além disso, os VRQs calculados para os elementos As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, V e Zn reforçam a necessidade de monitoramento contínuo para preservar os ecossistemas e mitigar os riscos de bioacumulação e biomagnificação ao longo da cadeia alimentar. Apenas os valores de referência para Co e Cu excederam os valores de prevenção estabelecidos pela Resolução CONAMA, o que ressalta a importância de uma abordagem regionalizada e uma revisão dos critérios nacionais estabelecidos, com VRQs adaptados às condições locais. Esses dados contribuirão para a formulação de estratégias específicas para o gerenciamento de áreas contaminadas, permitindo o desenvolvimento de políticas públicas mais eficazes para a preservação da qualidade ambiental no estado.

Recomenda-se ampliar o número de amostras para uma visão ainda mais detalhada dos VRQs, principalmente na região norte do estado. Além disso, é preciso estar atento às metodologias analíticas para aumentar a precisão das medições e a confiabilidade dos dados, especialmente para elementos em concentrações muito baixas. Sugere-se desenvolver estudos que avaliem a influência de atividades industriais e agrícolas na concentração de elementos-traço nos solos catarinenses, contribuindo para um inventário atualizado de áreas contaminadas e promovendo a criação de programas específicos de recuperação.

A preservação da qualidade do solo desempenha um papel estratégico no equilíbrio ambiental, na proteção da saúde pública e na promoção de uma sociedade sustentável, alinhando-se ao conceito de Saúde Única. Por fim, ao propor a integração de jogos didáticos na educação básica, se estabelece uma ponte entre a Resolução CONAMA nº 420/2009, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e as diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), reforçando a importância da educação ambiental como ferramenta transformadora, que leva o conhecimento científico de forma

dinâmica para a sociedade, promovendo engajamento crítico, cidadania ativa e o desenvolvimento de soluções criativas para os desafios socioambientais.

Com base no conceito de Saúde Única, que integra a saúde humana, animal e ambiental, esta pesquisa destaca o papel do solo na produção de alimentos, manutenção dos ecossistemas e proteção à saúde coletiva. Ao abordar os riscos associados à bioacumulação de elementos-traço e suas implicações para diferentes formas de vida, a iniciativa contribui para a formação de uma geração comprometida com o equilíbrio sustentável entre o meio ambiente e a saúde global.

Figura 1 – Mapa conceitual do trabalho “Valores de referência para elementos-traço em solos de Santa Catarina como suporte à legislação e educação ambiental”.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, H.; KHAN, E.; ILAHI, I. Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. **Journal of chemistry**, 2019.

BARNES, S. J. et al. Nickel in olivine as an exploration indicator for magmatic Ni-Cu sulfide deposits: A data review and re-evaluation. **American Mineralogist**, v. 108, n. 1, p. 1–17, 3 jan. 2023.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986. . 1986.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 420 de 28 de dezembro de 2009 que 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 subst.** Brasília, DF, 2009.

BUCHACHENKO, A. L. Mercury Isotopes in Earth and Environmental Chemistry. **Russian Journal of Physical Chemistry B**, v. 12, n. 4, p. 635–644, 1 jul. 2018.

CAMPOS, P. et al. Biochar amendment increases bacterial diversity and vegetation cover in trace element-polluted soils: A long-term field experiment. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 150, p. 108014, 1 nov. 2020.

CORALINA, C. Pedacinhos coloridos. In **Poemas dos becos de Goiás e estórias mais**. São Paulo: Global Editora, 2004.

DUARTE, J. F. et al. Textural and Geochemical Evidence for Magnetite Production upon Antigorite Breakdown during Subduction. **Journal of Petrology**, v. 62, n. 10, 1 out. 2021.

HASANUZZAMAN, M.; BHUYAN, M. Selenium in Plants: Boon or Bane? **Environmental and Experimental Botany**, p. 104–170, 2020.

HUGEN, C. **Valores de Referência para Teores de Cr, Cu, Ni, Pb, e Zn em Solos do Estado de Santa Catarina**. 2011.

HUGEN, C. et al. Teores de Cu e Zn em perfis de solos de diferentes litologias em Santa Catarina Cu and Zn contents in soil profiles of different lithologies in Santa Catarina. n. 49, p. 622–628, 2013.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Lages (SC) - Cidades e Estados**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sc/lages.html>>. Acesso em: 24 maio. 2021.

IMA - INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE DE SANTA CATARINA. Instrução Normativa 74. . 2018.

MACHADO, Matheus Rodrigo; MIQUELLUTI, David José; CAMPOS, Mari Lucia. Arsenic in Santa Catarina soils. **Revista Ambiente & Água**, v. 16, n. 5, 2021. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2720>

MOHAMMAD, A. et al. Titaniferous-Vanadiferous, Magnetite-Ilmenite Mineralization in a Mafic Suite within the Chhotanagpur Gneissic Complex, Bihar, India. **Minerals**, v. 12, n. 7, 1 jul. 2022.

PEREIRA, T. T. C. et al. Gênese de latossolos e cambissolos desenvolvidos de rochas pelíticas do grupo Bambuí - Minas Gerais. **Revista Brasileira De Ciencia Do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1283–1295, 2010.

PINTO, V. M.; HARTMANN, L. A.; WILDNER, W. Epigenetic hydrothermal origin of native copper and supergene enrichment in the Vista Alegre district, Paraná basaltic province,

southernmost Brazil. **International Geology Review**, v. 53, n. 10, p. 1163–1179, 20 ago. 2011.

RAI, P. et al. Heavy metals in food crops: Health risks, fate, mechanisms, and management. **Environment International**, v. 125, p. 365–385, 2019.

REHMAN, K. et al. Prevalence of exposure of heavy metals and their impact on health consequences. **Journal of Cellular Biochemistry**, v. 119, n. 1, p. 157–184, 1 jan. 2018.

SOUZA, L. C. DE. **Teores naturais de Arsênio, Bário, Cádmio e Níquel para solos do estado de Santa Catarina**. [s.l.] Universidade do Estado de Santa Catarina, 30 abr. 2015.

SUPPI, I. M. et al. Teores de cobalto e manganês em solos de Santa Catarina. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 4, p. 579–588, nov. 2018.

SUPPI, Ilana Marin; CAMPOS, Mari Lucia; MIQUELLUTI, David Jose; MACHADO, Matheus Rodrigo. Teores de vanádio, molibdênio e antimônio em solos de diferentes litologias em Santa Catarina. **Química Nova**, v. 44, n. 8, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170768>

WANG, X. et al. Contamination, ecological and health risks of trace elements in soil of landfill and geothermal sites in Tibet. **Science of the Total Environment**, v. 715, p. 136639, 1 maio 2020.

XIE, T. et al. A system dynamics approach to understanding the One Health concept. **PLoS ONE**, v. 12, n. 9, 1 set. 2017.

APÊNDICE A – LISTA DE CONCEITOS

- Elementos-traço: estão presentes no ambiente em concentrações inferiores a $100 \mu\text{g g}^{-1}$ (Alloway, 1990).
- Valores de background ou teores naturais: refere-se à concentração ou nível de uma substância ou elemento químico que ocorre naturalmente em um ambiente sem a interferência ou impacto significativo de atividades humanas.
- Valores Orientadores: “são concentrações de substâncias químicas que fornecem orientação sobre a qualidade e as alterações do solo e da água subterrânea” (Brasil, 2009);
- Valor de investigação (VI): “é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado” (Brasil, 2009);
- Valor de prevenção (VP): “é a concentração de valor limite de determinada substância no solo, tal que ele seja capaz de sustentar as suas funções principais” (Brasil, 2009);
- Valores de referência de qualidade (VRQs): “é a concentração de determinada substância que define a qualidade natural do solo, sendo determinado com base em interpretação estatística de análises físico-químicas de amostras de diversos tipos de solos” (Brasil, 2009).

