

Teores naturais de níquel em solos de três regiões do Estado de Santa Catarina

Natural nickel rates in soils in three regions of Santa Catarina, Brazil

Marta Moura Madeira¹, David José Miquellut², Andrei Souza da Silva³, Mari Lucia Campos⁴, Leticia Cristina de Souza⁵

RESUMO: Elementos-traço, tal como o níquel, são de ocorrência natural no ambiente, e seus teores são muito variáveis e correlacionam-se com o material de origem. Na crosta terrestre, a abundância média de Ni é estimada em 20 mg kg⁻¹ e, nas plantas, teores entre 0,06 a 2 mg kg⁻¹ são considerados adequados. Contudo, a intensa ação do homem sobre o ambiente através de processos industriais e práticas agrícolas tem alterado estes teores nos solos e os elevados a níveis considerados tóxicos para as plantas e animais. Assim, o presente trabalho objetivou avaliar os teores naturais de níquel em solos de três regiões do Estado de Santa Catarina, e assim nortear valores de prevenção para tal elemento. Foram avaliados os teores de níquel em solos de três regiões do Estado, sendo estes coletados em áreas sem ação antrópica e na camada de 0-20 cm. As amostras foram digeridas e os teores de níquel quantificados por absorção atômica. Os solos da serra catarinense foram os que apresentaram os maiores teores de Ni, com um valor médio de 17,94 mg kg⁻¹. Dentro das regiões estudadas não foram observadas diferenças entre os perfis de cada uma das regiões. Os teores de Ni tiveram correlação positiva com os teores de carbono orgânico, soma de bases e capacidade de troca de cátions e não tiveram correlação com os teores de argila. Existem diferenças para teores de níquel entre cada uma das regiões, sendo importante estudos de quantificação de forma regionalizada para que estas diferenças sejam abrangidas.

Palavras-chave: Elementos-traço. Material de origem. Perfis modais. Valores de referência.

ABSTRACT: Tracer elements, such as nickel, occur naturally in nature and their rates are highly variable, co-related with the materials of origin. Ni average abundance on the earth crust is estimated at 20 mg kg⁻¹ and in plants, rates are adequate between 0.06 and 2 mg kg⁻¹. However, anthropic impact on the environment through industrial processes and agricultural practices has changed rates in soils and high toxic levels for plants and animals. Current analysis evaluates the natural Ni rates in soil of three regions in the state of Santa Catarina, Brazil, and monitor its prevention rates. Ni rates in three regions of the state without any anthropic activity and at 0 – 20 cm levels were collected. Samples were digested and Ni rates were quantified by atomic absorption. The soils of the state of Santa Catarina has the highest Ni rates, with a mean rate of 17.94 mg kg⁻¹. There was no difference between the profiles of each region under analysis. Ni rates had a positive co-relationship with organic carbon rates, base sums and capacity of cation exchange, but without any co-relationship with clay rates. There are differences in Ni rates between each region and studies on quantification on a region basis for in-depth studies.

Keywords: Modal profiles. Original material. Reference rates. Trace elements.

Autor correspondente:

Andrei de Souza da Silva: andrei880@botmail.com

Recebido em: 10/12/2019

Aceito em: 10/03/2020

INTRODUÇÃO

Elementos-traço formam um grupo de elementos com particularidades específicas e de ocorrência natural no ambiente, compondo minerais acessórios de rochas. Esses elementos, apesar de associados à toxicidade, exigem tratamentos diferenciados quanto à sua função nos sistemas biológicos, uma vez que; diversos deles possuem essencialidade comprovada para as plantas (Ni, Cu, Fe, Mn, Zn) e animais (Ni, Cu, Fe, Mn, Zn, Cr III) e outros não apresentam funções biológicas (Pb, Cd e Cr IV). Os elementos-traço comumente estão associados a episódios de contaminação

¹ Mestre em manejo do solo pelo Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo (PPGCS) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Lages (SC), Brasil.

² Doutor em Agronomia/Estatística e Experimentação Agronômica, Professor da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Lages (SC), Brasil.

³ Doutorando em Ciência do Solo, docente do Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo (PPGCS) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Lages (SC), Brasil.

⁴ Doutora em Ciência do Solo e Nutrição de Plantas, Professora da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Lages (SC), Brasil.

⁵ Doutora em Ciência do Solo pelo Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo (PPGCS) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Lages (SC), Brasil.

que afetam organismos vivos e o ecossistema como um todo, e em muitos casos estes efeitos estão associados a contaminações antropogênicas (BIONDI *et al.*, 2011; TUME *et al.*, 2018).

A concentração de elementos-traço tem aumentado no solo e nas águas nos últimos anos em função do considerável crescimento da agricultura, da vida urbana e atividades industriais (TRUJILLO-GONZALEZ *et al.*, 2016), colocando em risco os ecossistemas e a saúde humana (OLIVEIRA *et al.*, 2014). Os estudos sobre a contaminação do solo requerem um parâmetro de comparação confiável, que é dado com base nos teores naturais de elementos-traço em locais sem ação antrópica (BIRANI *et al.*, 2015), denominados valores de referência de qualidade. Esses valores de referência são importantes pois permitem identificar níveis de contaminação, o risco destes níveis e compreender a influência das práticas de uso da terra no processo de contaminação do solo (SANJEEVANI *et al.*, 2015; TUME *et al.*, 2018).

Uma crescente preocupação com os níveis de elementos-traço no solo tem cada vez mais ganhado força em diversos países, com foco nos possíveis riscos destes ao ecossistema e à saúde humana. Essa preocupação deu origem a leis que buscam definir valores de referência de qualidade, com base nos teores naturais dos elementos-traço nos solos, e, assim, ser uma ferramenta para monitorar a qualidade dos solos. Diversos países da Europa e alguns da Ásia já possuem legislação vigente que buscam avaliar a contaminação dos solos, e assim estabelecer níveis de intervenção (CHEN *et al.*, 1991; TACK *et al.*, 1997; BECH *et al.*, 2005; BINI *et al.*, 2011). Na América Latina, o Brasil possui a resolução nº 420 (CONAMA, 2009), que estabelece valores de prevenção e investigação para diversos elementos-traço e moléculas, e entre eles o níquel. Esta legislação estabelece o valor de 30 mg kg⁻¹ como valor de prevenção e os valores de 70, 100 e 130 mg kg⁻¹ de Ni como valores de investigação para áreas agrícolas, residências e urbanas, respectivamente.

494 A presença e a concentração de elementos-traço no solo são influenciadas, em grande parte, pelo material de origem (BADAWY *et al.*, 2017), porém outros fatores também podem gerenciar estes processos, tais como teor de matéria orgânica, pH, saturação de bases, os óxidos e hidróxidos de Al, Fe e Mn (KABATA-PENDIAS, 2011) e CTC (CUNHA *et al.*, 2014). O níquel apresenta afinidade pela matéria orgânica devido a presença de agentes ligantes, substâncias húmicas ou grupos que formam complexos ou quelatos específicos com o Ni²⁺ (KABATA-PENDIAS, 2011). A sua mobilidade durante os processos de intemperismo e a solubilidade é inversamente relacionada com o pH do solo (SOARES *et al.*, 2011) que, por sua vez, também afeta fortemente a sorção do Ni no solo.

O Estado de Santa Catarina (SC), que representa cerca de 1,11% do território nacional, possui uma ampla gama de rochas que originam diferentes tipos de solo. No Estado é possível observar a presença de sedimentos recentes, faixas de rochas magmáticas e metamórficas antigas, rochas sedimentares gondwânicas e derrames de lavas básicas, intermediárias e ácidas da Formação Serra Geral (EMBRAPA, 2006). De maneira geral predominam rochas básicas e intermediárias que originam solos ricos em elementos-traço.

Considerando o exposto, e a necessidade de estabelecer os valores naturais de Ni nos solos, o objetivo desse trabalho foi determinar os teores naturais de Ni em solos, sem ação antrópica, de três regiões do Estado de Santa Catarina, e relacioná-los a parâmetros químicos e físicos dos solos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliados os horizontes A de 16 perfis modais de solos do Estado de SC, nas regiões nomeadas como Solos da Coxilha Rica (SCR), Solos da Serra Leste (SSL) e Solos da Serra Catarinense (SSC). A classificação das regiões utilizadas nesse estudo é a indicada pela Embrapa (1998) que realizou o levantamento de reconhecimento de solos do Estado catarinense. O número de perfis coletados em cada região foi: sete na SCR, sete na SSL e dois na SSC. As amostras foram coletadas em três pontos independentes, em cada perfil, considerando-se um delineamento experimental

hierárquico em dois níveis, regiões e perfis dentro de cada região. Esses solos compõem o banco de solos do Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) e foram coletados, descritos e classificados por Paes Sobrinho (2009); Costa *et al.* (2013); Ferreira (2013); Lunardi Neto e Almeida (2013); e Teske *et al.* (2013). A classificação, material de origem e a localização dos perfis é apresentada na Quadro 1.

Quadro 1. Grupos por região, classes pedológicas, material de origem e localização no Estado de Santa Catarina dos perfis amostrados

Região	Classe	Material de origem	Localização
SCR	Cambissolo Háptico Alítico típico - Cxa1 ⁽¹⁾	riodacito	Lages
	Cambissolo Háptico Alumínico úmbrico - Cxa4	riodacito	Lages
	Cambissolo Húmico Distrófico típico - CHd3	riodacito	Lages
	Nitossolo Vermelho Distroférrico típico - NVdf	basalto	Lages
	Nitossolo Vermelho Alítico típico - Nval	basalto	Lages
	Cambissolo Háptico Alítico típico - Cxa11	riodacito	Lages
	Cambissolo Háptico Alítico típico - Cxa12	riodacito	Lages
SSL	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico - PVAd2	migmatito	Águas Mornas
	Argissolo Amarelo Distrófico latossólico - Pad	migmatito	São Bonifácio
	Neossolo Regolítico Eutrófico típico - Rre	granito	Sangão
	Cambissolo Háptico Distrófico típico - CXbd	granito	Treze de Maio
	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico - PVAd3	granito	Sangão
	Argissolo Vermelho Distrófico - PVd1	siltito e arenito	Içara
	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico - PVAd4	arenito e siltito	Lauro Müller
SSC	Neossolo Litólico Álico húmico - RL	riodacito	São Joaquim
	Cambissolo Hístico - C1	siltito	Otacílio Costa

Nota: ⁽¹⁾ Simbologia das Classes de 1º, 2º e 3º níveis de acordo com a Embrapa (2013); SCR - Solos Coxilha Rica, SSL - Solos Serra Leste, SSC - Solos Serra Catarinense.

Os perfis foram descritos e amostrados em cortes de barranco de estrada, em locais sob vegetação natural de campo ou de mata observando critérios de mínima ou nenhuma ação antrópica. Além de realizarem o levantamento, descreverem e classificarem estes solos, os autores mencionados anteriormente também determinaram os atributos físicos e químicos dos solos (Tabela 1). Os teores de óxidos de ferro e de alumínio foram obtidos por Souza *et al.* (2016) (Tabela 1).

As amostras coletadas e armazenadas foram conduzidas ao Laboratório de Análise Ambiental do Departamento de Solos e Recursos Naturais do Centro de Ciências Agroveterinárias - UDESC/CAV e, após secas ao ar, foram moídas e passadas em peneira com abertura de 2 mm de malha para fracionamento em terra fina seca ao ar (TFSA).

Tabela 1. Atributos físicos e químicos⁽¹⁾ e óxidos de Al e Fe⁽²⁾ dos solos representativos de três regiões do Estado de Santa Catarina

Região	Perfil	Areia	Silte	Argila	CO	pH em água	CTC	SB	Óxidos de Al	Óxidos de Fe
SCR	Cxa1	110	250	640	20,90	4,0	21,66	1,50	46,1	132,4
	Cxa4	70	320	610	30,85	3,9	24,95	2,50	41,2	99,4
	CHd3	163	227	610	26,80	3,9	19,35	1,10	44,1	108,4
	NVdf	162	232	606	27,20	4,6	21,25	8,10	116,0	46,9
	Nval	163	117	720	13,80	4,8	19,60	7,20	130,9	49,8
	Cxa11	82	302	616	29,00	4,4	34,00	2,70	44,3	93,8
	Cxa12	104	302	594	26,27	4,5	15,47	2,20	39,1	126,9
SSL	PVAd2	355	175	470	15,10	4,5	5,01	0,51	20,4	34,9
	Pad	320	285	395	24,10	4,7	7,27	1,67	23,8	92,8
	Rre	625	215	160	3,50	4,1	2,47	1,44	12,0	2,7
	CXbd	477	120	403	11,30	4,7	5,53	0,62	10,7	97,2
	PVAd3	587	83	330	7,70	4,4	2,35	0,35	18,0	92,0
	PVd1	680	140	180	11,70	5,2	4,64	2,20	13,0	31,4
	PVAd4	635	90	275	13,00	4,9	4,60	1,83	12,3	5,6
SSC	RL	195	330	475	57,90	4,2	31,30	1,90	37,9	192,6
	C1	312	207	481	33,00	4,1	22,12	0,30	38,0	93,4

Fontes: ⁽¹⁾ Paes Sobrinho *et al.* (2009); Costa *et al.* (2013); Ferreira (2013); Lunardi Neto e Almeida (2013); Teske *et al.* (2013); conforme metodologia da Embrapa (1999); ⁽²⁾ Souza *et al.* (2016); CO: Carbono Orgânico; pH: potencial Hidrogeniônico; CTC: Capacidade de Troca de Cátions; SB: Soma de Bases; Al: Alumínio; Fe: Ferro.

A fração TFSA foi triturada e homogeneizada em almofariz de ágata até pó fino e tamisada em peneira de 0,106 mm de abertura de malha. A abertura das amostras se deu por meio de digestão em forno micro-ondas *Multiwave* 3000 seguindo o método USEPA 3051a (USEPA, 2014). Para tal adicionaram-se 0,25 g de amostra de solo e 6 mL de solução de HNO₃ 14,5 mol L⁻¹ em tubos de teflon, os quais foram levados ao forno e submetidos a aquecimento. Após digeridas e resfriadas, o volume final foi completado para 10 mL com água ultrapura e as amostras foram então filtradas. As análises de laboratório foram realizadas em duplicata. A determinação dos teores de Ni nas alíquotas se deu por meio de espectrômetro de absorção atômica de alta resolução com fonte de emissão contínua (HR-CS AAS), com atomização em chama ar-acetileno modelo ContrAA 700® (AnalytikJena), seguindo os parâmetros recomendados pelo fabricante e sem adição de modificador químico.

Ressalta-se que nas baterias de digestão foram inseridas amostra referência, NIST 2709a (SRM 2709, San Joaquin soil) certificada pelo *National Institute of Standards and Technology* (NIST) e provas em branco para cálculo do Limite de Detecção Qualitativo (LDQ) (Tabela 2). O LDQ foi calculado com base na equação $LDQ = (M + t \times s)$ (APHA *et al.*, 1998), em que Fd é o fator de diluição das amostras, M é a média das provas em branco, t é o valor t-Student para um intervalo de confiança de 99%, em função do número de graus de liberdade de medições repetidas; e s, o desvio padrão das provas em branco. As amostras referência e as provas em branco passaram pelos mesmos processos de digestão aos quais as amostras foram submetidas, seguindo o mesmo protocolo. Os valores certificados e encontrados, a taxa de recuperação da amostra referência *San Joaquin Soil* e o limite de detecção qualitativa do método (LDQ) são apresentados na Tabela 2.

As análises estatísticas foram conduzidas utilizando-se um modelo linear hierárquico de efeitos fixos, de análise da variância, em dois níveis. Consideraram-se os perfis dos solos coletados no primeiro nível e a região amostrada

no segundo nível. As comparações entre regiões e entre os perfis de solos dentro de cada região foram testadas através dos testes F e Scott-Knott. A normalidade dos dados foi analisada utilizando-se o teste de Shapiro-Wilk, enquanto a homogeneidade de variâncias foi testada por meio do teste de Levene. Para atenderem-se as pressuposições teóricas dos testes, aplicou-se a transformação logarítmica dos valores dos teores de níquel, admitindo-se uma distribuição lognormal, no entanto, os resultados foram apresentados na escala de medida original. As análises foram realizadas com o uso do programa SAS® (*Statistical Analysis System*, 2003) e também o programa R (R Core Team, 2016). Para todos os testes efetuados foi considerado o nível mínimo de significância de 5%.

Tabela 2. Teores de Níquel determinados e recuperados na amostra-controle SRM 2709, teores recuperados e limite de detecção qualitativo (LDQ)

Teor		Recuperação		LDQ
----- mg kg ⁻¹ -----		----- % -----		
Determinado	Certificado ⁽¹⁾	Determinado	Lixiviado ⁽²⁾	
110,27 ± 16,83	88 ± 5	125	89	0,147

¹O certificado NIST SRM 2709 apresenta dados de teores totais pelo método USEPA 3052; ²Valores de porcentagem de recuperação para lixiviação ácida pelo método USEPA 3050 B em bloco digestor.

3 RESULTADO E DISCUSSÃO

Os teores observados nos solos da serra catarinense foram os maiores entre as três regiões estudadas (Tabela 3). Os valores médios de Níquel entre as regiões variaram de 6,83 mg kg⁻¹ nos solos da Coxilha Rica (SCR) a 17,94 mg kg⁻¹ naqueles da Serra Catarinense (SSC). Os maiores valores observados para os SSC podem ser explicados pelos altos teores de matéria orgânica presentes nos dois solos que representaram esta região. Ressalta-se também; o alto teor de óxido de Fe presente no Neossolo Litólico Álico húmico (RL) (Tabela 1). Beygi e Jalali (2018) observaram que materiais ricos em Fe deram origem a solos com teores mais elevados de elementos siderófilos, tais como o Ni e Cr. De acordo com Roveda *et al.* (2014) há afinidade do Ni por compostos orgânicos, e, ainda, influência dos teores de óxidos de Fe sobre o processo de sorção do Ni no solo.

Tabela 3. Teores médios de Níquel para os Solos da Serra Catarinense, Solos da Serra Leste e Solos da Coxilha Rica

Região	Ni (mg kg ⁻¹)
SCR ¹	9,92 b
SSL ²	6,83 b
SSC ³	17,94 a

¹SSC - Solos Serra Catarinense, ²SCR - Solos Coxilha Rica, ³SSL - Solos da Serra Leste. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott (P > 0,05).

De maneira geral os valores observados para cada uma das regiões encontram-se abaixo dos valores médios observados em diversos outros países, como foi observado para o Irã, com 40,77 mg kg⁻¹ de Ni (BEYGI; JALALI, 2018), Espanha com 49,9 mg kg⁻¹ (TUME *et al.*, 2006a; 2006b) e Cuba com 294,2 mg kg⁻¹ (ALFARO *et al.*, 2015). Nos Estados Unidos da América, no trabalho de Chen *et al.* (1999), foi observada uma ampla faixa de valores para Ni, sendo que a menor concentração encontrada foi de 0,04 mg kg⁻¹ e a maior 375,0 mg kg⁻¹, com um valor médio de 13,0 mg kg⁻¹. Já no Brasil, Silva *et al.* (2015) encontraram valores entre 0,12 a 44,9 mg kg⁻¹, com valor médio de 7,63 mg kg⁻¹ no Estado de Pernambuco. Outros trabalhos também indicaram valores dentro da faixa observada para as regiões do presente estudo, como os valores encontrados por Biondi *et al.* (2011) que observaram o valor médio de 7,0 mg kg⁻¹ no Estado

de Pernambuco; Santos e Alleoni (2012) com o valor de 1,3 mg kg⁻¹ para os Estados de Rondônia e Mato Grosso; Costa *et al.* (2014) com o valor de 14,78 mg kg⁻¹ para o Estado do Rio Grande do Norte; e Paye *et al.* (2010) com o valor de 6,6 mg kg⁻¹ de Ni para o Estado do Espírito Santo.

Para os teores de Ni dentro das classes de solos em cada uma das regiões não são observadas diferenças significativas (Tabela 4). Embora não se observe diferença significativa entre as classes de solos, verifica-se que, nos Solos da Coxilha Rica, o Nitossolo Vermelho Distroférrico típico (NVdf) possui uma concentração de Ni 83,95% superior à média dos solos Cambissolo Háplico Alítico típico (Cxa1), Cambissolo Húmico Distrófico típico (CHd3), Nitossolo Vermelho Alítico típico (Nval) e Cambissolo Háplico Alítico típico (Cxa12); esta, por sua vez, é 109,19% superior à concentração média dos solos Cambissolo Háplico Alumínico úmbrico (Cxa4) e Cambissolo Háplico Alítico típico (Cxa11). Diferenças no material de origem, no teor de carbono orgânico, na soma de bases e nos teores de óxidos de alumínio e de ferro podem ser apontadas como as possíveis explicações para esse comportamento.

Tabela 4. Teores médios de Níquel para os Solos da Serra Catarinense, Solos da Serra Leste e Solos da Coxilha Rica

Região	Perfis	Ni (mg kg ⁻¹)
SCR	Cxa1	8,42 a
	Cxa4	4,87 a
	CHd3	10,76 a
	NVdf	20,51 a
	Nval	11,19 a
	Cxa11	5,79 a
	Cxa12	14,22 a
SSL	PVAd4	9,61 a
	Pad	6,60 a
	Rre	5,74 a
	CXbd	7,45 a
	PVAd3	7,00 a
	PVd1	6,73 a
	PVAd2	5,29 a
SSC	RL	17,90 a
	C1	17,98 a

Nota: Médias seguidas da mesma letra, dentro de cada região, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P > 0,05$).

O principal fator que influencia a concentração natural de metais pesados no solo é o material de origem. A atividade química, bem como a lixiviação de elementos-traço no perfil, dependem de várias propriedades, como textura, densidade, mineralogia, pH, potencial redox, CTC, competição por sítios de adsorção, ligação aniônica, força iônica e composição da solução do solo (KABATA-PENDIAS, 2011). Solos mais jovens, cujo basalto é o material de origem predominante, tendem a serem mais ricos em elementos-traço, e, somado a isto, teores elevados de matéria orgânica favorecem a manutenção destes elementos no perfil do solo.

Mesmo em condições rigorosas de intemperismo durante a pedogênese, o que ocorre com solos tropicais, a rocha de origem ainda exerce influência no conteúdo de elementos-traço no solo. Essa influência é representativa quando o solo tem rochas básicas como material formador, em particular as rochas máficas que, devido à origem do magma, são naturalmente ricas em metais. Rochas sedimentares e ígneas ácidas cristalinas apresentam concentrações bem menores de elementos-traço (HUGEN *et al.*, 2013). Solos altamente intemperizados ou formados de material de

origem que passou por vários ciclos pedogenéticos poderão apresentar, em geral, menores teores de elementos-traço.

Geralmente, o teor médio de Ni nas três regiões estudadas ficou situado dentro da média nacional e abaixo dos valores reportados na literatura internacional para alguns países. Campos *et al.* (2003), trabalhando com 19 Latosolos brasileiros, encontraram, em média, teores de Ni de 18 mg kg⁻¹; CETESB (2014) indicou para solos de São Paulo valores de prevenção de Ni de 30 mg kg⁻¹; Chen *et al.* (1991), em solos da China, determinaram teores de Ni de 23,4 mg kg⁻¹ e Crommentuijn *et al.* (2000), na Holanda, com teores de Ni de 35 mg kg⁻¹ e Abbaslou *et al.* (2014), em solos do Irã, quantificaram 71,0 mg kg⁻¹ de níquel.

Os teores de elementos-traço também variaram entre solos pertencentes a uma mesma classe, ou entre solos de classes diferentes, em função das variações na variabilidade espacial dos solos (PAYE *et al.*, 2012), o que pode explicar as variações de teores médios de Ni entre perfis de classes de solos iguais e mesmo material de origem (Tabela 4). Apesar de não ter apresentado diferença estatística nos teores de Ni entre os solos de cada região, verifica-se na SCR o teor no NVdf foi 321% superior ao Cxa4. Essa discrepância entre os resultados pode estar relacionada ao pequeno número de amostras estudado e à variabilidade dos dados.

Os teores de Ni apresentaram correlação linear positiva com o teor de carbono orgânico, com a soma de bases trocáveis e com os óxidos de alumínio (Tabela 5). Esses resultados indicam que a adsorção e a retenção de Ni nesses solos é influenciada pelo teor de carbono orgânico e pelos minerais de argila. Beygi e Jalali (2018) e Biondi *et al.* (2011) também observaram correlação linear positiva entre o Ni e a matéria orgânica, sendo este um efeito comumente observado. O Ni é um elemento fortemente eletronegativo, tal como o cobre, e esta característica lhe confere alta afinidade pela matéria orgânica devido a presença de agentes ligantes, substâncias húmicas ou grupos que formam complexos e quelatos específicos com o Ni²⁺, sendo que Roveda *et al.* (2014) observaram que a presença de compostos orgânicos causa forte influência na complexação do Ni²⁺. Essa forte correlação entre CO e o Ni²⁺ corrobora os dados apresentados na Tabela 2, em que os solos da região SSC são aqueles que apresentaram maiores teores de Ni e também maiores teores de CO (Tabela 1).

Tabela 5. Correlação entre os atributos físicos e químicos e os teores de Níquel

	Argila	Silte	CO	pH em água	SB	CTC	Óxidos de Alumínio	Óxidos de Ferro
Níquel	ns	ns	0,50*	ns	0,55*	ns	0,64*	ns

Notas: *significativo ao nível de 5% de probabilidade e ns não significativo; CO: Carbono Orgânico; pH: potencial Hidrogeniônico; CTC: Capacidade de Troca de Cátions; SB: Soma de Bases.

Por outro lado, era esperada correlação positiva entre os teores de Ni e óxidos de ferro, como observado por Alfaro *et al.* (2015), e entre níquel e argila, como observado por Biondi *et al.* (2011) e Beygi e Jalali (2018). Essa falta de correlação pode se dar pelo tipo de óxido presente nestes solos, ou pela grande variabilidade para as concentrações de óxidos de ferro encontradas dentro de cada uma das regiões e entre regiões (Tabela 4).

As grandes variabilidades das concentrações de níquel encontradas neste trabalho indicam a necessidade de estudos regionalizados, dentro de classes de solos e grupos de materiais de origem. Esses estudos permitirão abordagens mais concretas e seguras em relação aos teores naturais de níquel nos solos, gerando assim valores de referência de qualidade adequados e validados, sendo estes parâmetros confiáveis para fins de avaliação de qualidade dos solos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os solos da região da Serra Catarinense apresentam teores de Ni superiores aos das regiões da Coxilha Rica e da Serra Leste. No entanto, não há diferença entre as classes de solos dentro das regiões estudadas. Os teores de Ni correlacionam-se positivamente com os teores de carbono orgânico, de óxidos de alumínio e com a soma de bases trocáveis.

REFERÊNCIAS

ABBASLOU, H.; MARTIN, F.; ABTAHI, A.; MOORE, F. Trace element concentrations and background values in the arid soils of Hormozgan Province of southern Iran. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 60, p. 1125-1143, 2014. DOI: 10.1080/03650340.2013.864387.

ALFARO, M. R.; MONTERO, A.; UGARTE, O. M.; NASCIMENTO, C. W. A. do; ACCIOLY, A. M. de A.; BIONDI, C. M. *et al.* Background concentrations and reference values for heavy metals in soils of Cuba. **Environmental Monitoring Assessment**, v. 187, p. 1-10, 2015. DOI: 10.1007/s10661-014-4198-3.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION - AWWA; WATER ENVIRONMENT FEDERATION - WEF.

Standard Methods for the examination of water and wastewater. 20th ed. Washington, DC, 1998. Disponível em: https://www.mwa.co.th/download/file_upload/SMWW_1000-3000.pdf. Acesso em: 04 jun. 2019.

BADAWY, W. M.; GHANIM, E. H.; DULIU, O. G.; EL SAMMAN, H.; FRONTASYEVA, M. V. Major and trace element distribution in soil and sediments from the Egyptian central Nile Valley. **Journal of African Earth Sciences**, v. 131, p. 53-61, 2017. doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.03.029.

BECH, J.; TUME, P.; LONGAN, L.; REVERTER, F. Base line concentrations of trace elements in surface soils of the Torrelles and Sant Climent Municipal Districts (Catalonia, Spain). **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 108, p. 309-322, 2005. DOI: 10.1007/s10661-005-4331-4.

BEYGI, M.; JALALI, M. Background levels of some trace elements in calcareous soils of the Hamedan Province, Iran. **Catena**, v. 162, p. 303-316, 2018. DOI: 10.1016/j.catena.2017.11.001.

BINI, C.; SARTORI, G.; WAHSHA, M.; FONTANA, S. Background levels of trace elements and soil geochemistry at regional level in NE Italy. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 109, p. 125-133, 2011. DOI: 10.1016/j.gexplo.2010.07.008.

BIONDI, C. M.; NASCIMENTO, C. W. A.; NETA, A. B. F.; RIBEIRO, M. R. Teores de Fe, Mn, Zn, Cu, Ni e Co em solos de referência de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 35, p. 1057-1066, 2011. DOI: 10.1590/S0100-06832011000300039.

BIRANI, S. M.; FERNANDES, A. R.; SOUZA BRAZ, A. M.; PEDROSO, A. J. S.; ALLEONI, L. R. F. Available contents of potentially toxic elements in soils from the Eastern Amazon. **Geochemistry**, v. 75, n. 1, p. 143-151, 2015. DOI: 10.1016/j.chemer.2015.01.001.

CAMPOS, M. L.; PIERANGELI, M. A. P.; GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J. G. S. M.; CURI, N. Baseline concentration of heavy metals in Brazilian Latosols. **Comm. Soil Sci. Plant. Anal.**, v. 34, p. 547-557, 2003. DOI: 10.1081/CSS-120017838.

CETESB - Companhia de tecnologia de saneamento ambiental. **Valores orientadores para solos e águas subterrâneas do estado de São Paulo**. 2014. Disponível em: <http://solo.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/34/2014/12/valores-orientadores-nov-2014.pdf>. Acesso em: 04 jun. 2019.

CHEN, J.; WEI, F.; ZHENG, C.; WU, Y.; ADRIAN, D. C. Background concentrations of elements in soils of China. **Water Air Soil Pollution**, v. 57-58, p. 699-712, 1991. DOI: 10.1007/BF00282934.

CHEN, M.; MA, L. Q.; HARRIS, W. G. Baseline concentrations of 15 elements in Florida surface soils. **J. Environ. Qual.**, v. 28, p. 1173-1181, 1999.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução n° 420, de 28 de dezembro de 2009. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, n° 249, de 30/12/2009. p. 81-84. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano1>. Acesso em: 17 out. 2019.

COSTA, A. da; ALBUQUERQUE, J. A.; ALMEIDA, J. A.; COSTA, A. da; LUCIANO, R. V. Pedotransfer functions to estimate retention and availability of water in soils of the state of Santa Catarina, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 889-910, 2013. DOI: 10.1590/s0100-06832013000400007.

COSTA, W. P.; NASCIMENTO, C. W. A.; BIONDI, C. M.; SOUZA JUNIOR, V. S. Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 3, p. 1028-1037, 2014. DOI: 10.1590/S0100-06832014000300035.

CROMMENTUIJN, T.; SIJM, D.; BRUIJN, J.; VAN DEN HOOP, M.; VANLEEUWEN, K.; VAN DE PLASSCHE, E. Maximum permissible and negligible concentrations for metals and metalloids in the Netherlands, taking into account background concentrations. **Journal Environmental Management**, v. 60, p. 121-143, 2000. <https://doi.org/10.1006/jema.2000.0354>.

CUNHA, C. S. M.; HERNADEZ, F. F. F.; SILVA, F. N. da; ESCOBAR, M. E. O.; MAGALHÃES, D. R.; ANJOS, D. C. Relação entre solos afetados por sais e concentração de metais pesados em quatro perímetros irrigados no Ceará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 80-85, 2014. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v18nsu-pps80-s85.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro, 1998. (Boletim de Pesquisa, 6).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ª ed. Brasília, 2013. 353p.

FERREIRA, E. R. N. C. Química e Mineralogia de solos desenvolvidos de rochas alcalinas e ultrabásicas do Domo de Lages. 2013. 159p. Tese (Doutorado) Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages. Disponível em: <http://www.uniedu.sed.sc.gov.br/wp-content/uploads/2014/12/Tese-%C3%89len-Ramos-Nichele-Campos-Ferreira.pdf>. Acesso em: 04 jun. 2017.

HUGEN, C.; MIQUELLUTI, D. J.; CAMPOS, M. L.; ALMEIDA, J. A.; FERREIRA, E. R. N. C.; POZZAN, M. Teores de Cu e Zn em perfis de solos de diferentes litologias em Santa Catarina. **Revista de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 6, p. 622-628, 2013. DOI: 10.1590/S1415-43662013000600008.

KABATA-PENDIAS, A. Trace elements in soils and plants. 4ª ed. Boca Raton: Florida. Taylor e Francis, 2011. ISBN 978-1-4200-9368-1.

LUNARDI NETO, A.; ALMEIDA, J. A. Mineralogia das frações silte e argila em Argissolos com horizontes subsuperficiais escurecidos em Santa Catarina. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 12, p. 282-293, 2013. DOI: 10.1590/s0100-06832012000400001.

OLIVEIRA, V. H.; ABREU, C. A.; COELHO, R. M.; MELO, L. C. A. Cadmium background concentrations to establish reference quality values for soils of São Paulo State, Brazil. **Environ. Monit. Assess**, v. 186, p. 1399-1408, 2014. DOI: 10.1007/s10661-013-3462-2.

PAES SOBRINHO, J. B.; ALMEIDA, J. A.; ERHART, J. Mineralogia da fração argila e Argissolos das Serras do Leste de Santa Catarina. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 8, p. 09-24, 2009.

PAYE, H. de S.; MELLO, J. W. V.; MELLO, S. B. Métodos de análise multivariada no estabelecimento de valores de referência de qualidade para elementos traço em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1031-1041, 2012. DOI: 10.1590/S0100-06832012000300033.

PAYE, H. S.; MELLO, J. W. V.; ABRAHÃO, W. A. P.; FILHO, E. I. F.; DIAS, L. C. P.; CASTRO, M. L. O.; MELO, S. B.; FRAN-

ÇA, M. M. Reference quality values for heavy metals in soils from Espírito Santo State, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 2041-2051, 2010.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2016. Disponível em: <https://www.R-project.org>. Acesso em: 04 abr. 2019.

ROVEDA, L. F.; CUQUEL, F. L.; MOTTA, A. C. V.; MELO, V. F. Compostos orgânicos com altos teores de níquel e sua biodisponibilidade no sistema solo planta. **Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 18, n. 8, p. 819-825, 2014. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v18n08p819-825.

SANJEEVANI, U. K. P. S.; INDRARATNE, S. P.; WEERASOORIYA, R.; VITHARANA, U. W. A.; ROSEMARY, F. Baseline concentrations of some trace elements in Alfisols of Sri Lanka. **Geoderma Reg.**, v. 4, p. 73-78, 2015. DOI: 10.1016/j.geodrs.2014.12.006.

SANTOS, S. N.; ALLEONI, L. R. F. Reference values for heavy metals in soils of the Brazilian agricultural frontier in Southwestern Amazônia. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 185, p. 5737-5748, 2012. DOI: 10.1007/s10661-012-2980-7.

SAS INSTITUTE INC® Statistical Analysis System. Versão 9.1.3. Cary, 2003. 1 CD ROM.

SILVA, Y. J. A. B.; NASCIMENTO, C. W. A.; CANTALICE, J. R. B.; SILVA, Y. J. A. B.; CRUZ, C. M. C. A. Watershed-scale assessment of background concentrations and guidance values for heavy metals in soils from a semiarid and coastal zone of Brazil. **Environ. Monit. Assess.**, v. 187, n. 9, p. 558, 2015. DOI: 10.1007/s10661-015-4782-1.

SOARES, M. R.; CASAGRANDE, J. C.; MOUTA, E. R. Nickel Adsorption by Variable Charge Soils: Effect of pH and Ionic Strength. **Brazilian archives of biology technology**, v. 54, n. 1, p. 207-220, 2011. DOI: 10.1590/S1516-89132011000100025.

SOUZA, L. C.; CAMPOS, M. L.; REICHERT, G.; MOURA, C. N. Teores de Arsênio em solos de três regiões do estado de Santa Catarina. **Revista Ambiente e Água**, v. 11, n. 1, p. 135-144, 2016. DOI: 10.4136/ambi-agua.1746.

TACK, F. M. G.; VERLOO, M. G.; VANMECHELENB, L.; RANST, V. Baseline concentration levels of trace elements as a function of clay and organic carbon contents in soils in Flanders (Belgium). **The Science of the Total Environment**, v. 201, p. 113-123, 1997. DOI: 10.1016/S0048-9697(97)00096-X.

TESKE, R.; LUNARDI NETO, A.; HOFER, A.; ALMEIDA, J. A. Caracterização química, física e morfológica de solos derivados de rochas efusivas no planalto sul de Santa Catarina, Brasil. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 12, p. 175-186, 2013.

TUME, P.; BECH, J.; LONGAN, L.; TUME, L.; REVERTER, F.; SEPULVEDAE, B. Trace elements in natural surface soils in Sant Climent (Catalonia, Spain). **Ecol. Eng.**, v. 27, p. 145-152, 2006a. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2006.01.004.

TUME, P.; BECH, J.; LONGAN, L.; TUME, L.; REVERTER, F.; BECH, J.; SEPULVEDAE, B. Baseline concentration of potentially toxic elements in natural surface soils in Torrelles (Spain). **Environ. Forensic**, v. 7, p. 369-375, 2006b. DOI: 10.1080/15275920600996388.

TUME, P.; GONZÁLEZ, E.; KING, R. W.; CUITINO, L.; ROCA, N.; BECH, J. Distinguishing between natural and anthropogenic sources for potentially toxic elements in urban soils of Talcahuano, Chile. **J. Soils Sediments**, v. 18, p. 2335-2349, 2018. DOI: 10.1007/s11368-017-1750-0.

TRUJILLO-GONZALEZ, J. M.; TORRES-MORA, M. A.; KEESSTRA, S.; BREVIK, E. C.; JIMENEZ-BALLESTA, R. Heavy metal accumulation related to population density in road dusts samples taken from urban sites under different land uses. **Sci Total Environ**, v. 553, p. 636-642, 2016.

UNITED STATES. Environmental Protection Agency USEPA. **Test Methods for Evaluation Solid Waste Physical**

and Chemical Methods: microwave assisted acid digest of sediments, sludges, soils and oils, SW 846; U. S. Washington: Government Printing Office, 2014. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3051a.pdf>. Acesso em: 04 jun. 2019.