

UFRRJ
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO

DISSERTAÇÃO

CrITÉrios Taxonômicos para Horizonte B
Espódico do Sistema Brasileiro de
Classificação de Solos: Revisão e Ampliação
da Nomenclatura e das Definições

Andressa Rosas de Menezes

2017



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO

CRITÉRIOS TAXONÔMICOS PARA HORIZONTE B ESPÓDICO
DO SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS:
REVISÃO E AMPLIAÇÃO DA NOMENCLATURA E DAS DEFINIÇÕES

ANDRESSA ROSAS DE MENEZES

Sob a Orientação da Professora
Lúcia Helena Cunha dos Anjos

e Coorientação do Pesquisador
Ademir Fontana

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestra**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo

Seropédica, RJ
Agosto de 2017

M541c

Menezes, Andressa Rosas de, 1992-

Critérios Taxonômicos para Horizonte B Espódico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos: Revisão e Ampliação da Nomenclatura e das Definições / Andressa Rosas de Menezes. - 2017. 44 f.: il.

Orientadora: Lúcia Helena Cunha dos Anjos.

Coorientador: Ademir Fontana.

Dissertação (Mestrado). - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo, 2017.

1. Espodossolos. 2. Atributos diagnósticos. 3. SiBCS. 4. Solos arenosos. I. Anjos, Lúcia Helena Cunha dos, 1957-, orient. II. Fontana, Ademir, 1979-, coorient. III Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo. IV. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Dissertação, desde que seja citada a fonte.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO**

ANDRESSA ROSAS DE MENEZES

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestra**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 18/08/2017.

Ademir Fontana. Dr. Embrapa Solos
(Co-orientador)

Marcos Gervasio Pereira. Dr. UFRRJ

Aline Pacobahyba de Oliveira. Dra. Embrapa Solos

Às pessoas mais importantes dessa vida,

Andréa e Rogério,

com amor dedico a vocês.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Rogério e Andréa por todo zelo, carinho e dedicação comigo. Sempre presentes na minha vida, sem o apoio e incentivo deles, toda essa caminhada não seria possível.

Ao meu noivo e melhor amigo Leonardo, que além de vibrar comigo em todas as minhas conquistas, muito pacientemente me aguentou em dias de angústia, teve compreensão em todas as minhas ausências por conta de estudos e sempre foi meu porto seguro.

Aos meus filhos Bené, Bebel e Belinha que estavam ao meu lado todas as horas de estudo, noites mal dormidas e nos dias de ansiedade. Meus pequenos amigos caninos involuntariamente me fizeram companhia e me deram apoio moral durante toda a redação desta dissertação.

Ao meu orientador Ademir Fontana, que sem sombra de dúvidas, foi o maior incentivador para eu ter escolhido a ciência do solo, em especial a área de pedologia. Tenho uma enorme gratidão por ter acreditado que eu seria capaz, investindo sua dedicação e oferecendo seu conhecimento para minha formação.

A minha orientadora Lúcia Helena Anjos por ser um exemplo de pessoa e excelente profissional. Agradeço a ela também por ter aceitado ser minha orientadora antes mesmo de me conhecer, ter tido disposição para ler as dezenas de e-mails de resultados, revisar trabalhos em cima da hora e por ser participativa mesmo no domingo ao final da tarde.

Ao professor Marcos Gervasio Pereira, que se fez presente em discussões e sempre estava disposto a me ajudar, ouvir e ensinar. Pessoa brilhante e de coração enorme, agradeço por toda contribuição que tens dado a minha formação.

Aos meus familiares e amigos que participaram, torceram e vibraram com toda a minha caminhada.

Aos professores, amigos e colegas do meu curso CPGA – CS por terem me acolhido e apoiado. Ter convivido com vocês foi uma experiência indescritível e com toda certeza guardarei cada ensinamento comigo.

Ao CNPq pela minha bolsa de pesquisa e por atuar incentivando estudantes que seguem essa longa jornada acadêmica.

A Embrapa Solos pelo apoio estrutural.

A todos estudantes, pesquisadores e professores da área de ciência do solo que disponibilizaram seus resultados em trabalhos de pesquisa e/ou atividades de levantamento de solos e desta forma me permitiram realizar essa pesquisa.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para este trabalho.

RESUMO

MENEZES, Andressa Rosas de. **Critérios taxonômicos para horizonte B espódico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos: revisão e ampliação da nomenclatura e das definições.** 2017. 44f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2017.

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) os horizontes B espódico são definidos pelo acúmulo iluvial de matéria orgânica humificada combinada com alumínio, podendo ou não conter ferro. No entanto, a falta de valores limites dos atributos diagnósticos dificulta a identificação do horizonte B espódico, sendo imprescindível a revisão e ampliação dos seus critérios taxonômicos. Diante disso, apresenta-se como objetivo rever os critérios taxonômicos para o horizonte B espódico no SiBCS. A partir de pesquisa bibliográfica, foram selecionados perfis de Espodossolos reclassificados conforme a atual versão do SiBCS, registrando-se em uma planilha eletrônica os atributos morfológicos, físicos e químicos. Os horizontes B espódicos são predominantemente arenosos, ácidos, de baixa soma e saturação por bases. A falta de valores limites dos atributos no SiBCS permite a identificação de horizontes que apresentam pH alcalino, elevada saturação por bases e muito baixo teor de C org, como nos perfis identificados no Pantanal. Neste sentido, é sugerido o teor mínimo de carbono orgânico ($C_{org} \geq 5 \text{ g kg}^{-1}$) e $\text{pH} \leq 5,9$ para definição dos horizontes B espódico. Os horizontes Bs(m) apresentam menores teores de C org, corroborando com as definições do SiBCS, contudo a falta de critérios quanto ao acúmulo de óxidos de Fe nos horizontes Bs(m) e Bhs(m) impossibilita uma classificação coerente para esta definição. Além disso, a falta de dados de extração de óxidos pedogenéticos na maioria dos B espódicos impede a proposição de critérios quantitativos para estes atributos que possam vir a ser implementados em futuras versões do SiBCS. Os padrões de cor mostram-se funcionais para separar os horizontes Bs dos demais por apresentar cores de valor e croma ≥ 4 , bem como teores de C org menores que 20 g kg^{-1} . Os B espódicos de valor e croma < 4 e sem evidências de acúmulo iluvial de ferro amorfo na morfologia podem ser separados quanto ao teor de C org em: Bh – acúmulo de C org até 20 g kg^{-1} ; Bñ – acúmulo proeminente de matéria orgânica iluvial com $C_{org} \geq 20 \text{ g kg}^{-1}$. Em solos com horizonte superficial H hístico, os horizontes B espódico apresentam relativamente baixos teores de C org, ao passo que nos horizontes superficiais com altos teores de C org como o A húmico e A proeminente e em ambientes de melhor drenagem o teor de C org em subsuperfície é superior em relação demais solos com outros tipos de horizontes superficiais. Em perfis com condições de hidromorfismo o B espódico inicia-se ligeiramente mais próximo à superfície. Nos perfis no ambiente dos Tabuleiros Costeiros, pelo maior teor de argila dos sedimentos de origem, há maior acúmulo de matéria orgânica no B espódico. Por outro lado, os Espodossolos da Amazônia, o ambiente fluvial favorece a saída da matéria orgânica do meio e o clima equatorial propicia a intensa ciclagem e menor acúmulo de C org no horizonte B espódico. Já no ambiente de Campos de Altitude foi verificada a iluviação de óxidos de Fe e Al muito superior em relação aos demais ambientes, possivelmente em função das maiores quantidades de Al e Fe liberadas diretamente das rochas. A atual classificação taxonômica dos Espodossolos se baseia em critérios subjetivos e é pouco discriminante na separação dos indivíduos avaliados. Enquanto, a proposta de classificação – 2º nível categórico: Ferrilúvicos, Humilúvicos e Hiper-Humilúvicos; 3º nível categórico: Dúricos, Arênicos, Espessarênicos, Órticos – permitiu distribuição equitativa dos perfis dentro das classes propostas.

Palavras-chave: Espodossolos. Atributos diagnósticos. SiBCS. Solos arenosos.

ABSTRACT

MENEZES, Andressa Rosas de. **Taxonomic criteria for spodic horizon in the Brazilian Soil Classification System: revision and extension of nomenclature and definitions.** 2017. 44p. Dissertation (Master Science in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2017.

According to the Brazilian Soil Classification System (SiBCS), spodic horizons are defined by the illuvial accumulation of humified organic matter combined with aluminum, and it may or may not contain iron. However, the lack of limits of values for the diagnostic attributes makes it difficult to identify the spodic horizon, and it is essential to review and amplify the taxonomic criteria. In this sense, the objective is to review the taxonomic criteria for the spodic horizon in the SiBCS. Based on bibliographical research, profiles of Spodosols were reclassified according to the current version of SiBCS, and the information of the morphological, physical and chemical attributes was registered in a spreadsheet. The spodic horizons are predominantly sandy, acidic, and with a low sum of bases and base saturation. The lack of limit values of the attributes in the SiBCS allows for the identification of horizons that present alkaline pH, high bases saturation and very low content of C org, as in the profiles of Pantanal region. Thus, the minimum values of organic carbon content (C org) $\geq 5 \text{ g kg}^{-1}$ and $\text{pH} \leq 5,9$ are suggested for the definition of the spodic horizons. The Bs (m) horizons have lower C org values, corroborating with the SiBCS definitions. However, the lack of criteria for Fe oxides accumulation in the Bs (m) and Bhs (m) horizons makes it impossible to propose a consistent classification for this criteria. In addition, the lack of data on the extraction of pedogenetic oxides in most the spodic horizons of the profiles in the database prevents the determination of quantitative criteria of these attributes that might be implemented in future versions of SiBCS. The color patterns are shown to be functional to separate the Bs horizons from the others because they present color values and chroma ≥ 4 , and C org contents lower than 20 g kg^{-1} . The spodic horizons with value and chroma < 4 and without morphological evidence of illuvial accumulation of amorphous iron can be separated according to C org content in: Bh - accumulation of C org $< 20 \text{ g kg}^{-1}$; B \bar{h} - prominent accumulation of iluvial organic matter with C org $\geq 20 \text{ g kg}^{-1}$. In the soils with a hystic (H) surface horizon, the spodic horizons have relatively low C org, whereas in the surface horizons with high levels of C org such as A humic and A prominent, and in the environments with better drainage the content of C org in subsurface is superior in relation to profiles with other surface horizons types. In the profiles under hydromorphic conditions, the spodic horizon starts slightly closer to the surface. In the Coastal Tablelands profiles, because the highest clay content of the sediments that originated the soils, there is greatest accumulation of organic matter in the spodic horizon. On the other hand, in the Amazon region profiles, the fluvial environment favors the losses of organic matter from the system and the equatorial climate leads to intense cycling and the least accumulation of C org in the spodic horizon. In the High Mountain Ranges condition, the influence of the Fe and Al oxides was much higher when compared to the other environments, possibly due to the higher amounts of Al and Fe released directly from the rocks. The SiBCS taxonomic classification of Spodosols is based on subjective criteria, and less discriminating in the separation of the individuals evaluated. Meanwhile, the proposal of classification - 2nd categorical level: *Ferrilúvicos*, *Humilúvicos* and *Hiper-Humilúvicos*; 3rd categorical level: *Dúricos*, *Arênicos*, *Espessarênicos*, *Órticos* - allowed the equitable distribution of profiles within the proposed classes.

Key words: Spodosols. Diagnostic attributes. SiBCS. Sandy soils.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1	Classe dos Espodossolos	3
2.2	Gênese dos Espodossolos.....	5
2.3	Pedoambiente e Ocorrência dos Espodossolos	7
3	MATERIAL E MÉTODOS	9
3.1	Elaboração da Planilha de Dados	9
3.2	Análise dos Dados	9
3.2.1	Distribuição dos perfis de Espodossolos no Brasil.....	9
3.2.2	Avaliação das características e atributos dos Espodossolos.....	10
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	10
4.1	Distribuição dos Espodossolos no Brasil e Pedoambientes	11
4.2	Atributos dos Horizontes B Espódicos	13
4.2.1	Características morfológicas	13
4.2.2	Atributos físicos	17
4.2.3	Atributos químicos	18
4.2.4	Influência dos pedoambientes na gênese do B espódico	29
4.3	Panorama da Atual Classificação dos Espodossolos Conforme o SiBCS	33
4.4	Proposta de Definição para os Horizontes B Espódicos	35
4.5	Revisão da Classe dos Espodossolos	36
5	CONCLUSÕES	37
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40

1. INTRODUÇÃO

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (Santos et al., 2013a) define o horizonte diagnóstico B espódico por apresentar natureza mineral e acúmulo iluvial de matéria orgânica humificada combinada com alumínio, podendo ou não conter ferro. Por sua vez, o horizonte B espódico é formado pela iluviação de matéria orgânica humificada em superfície e/ou óxidos de ferro e alumínio complexados. No Brasil, os Espodosolos ocorrem em ambientes muito específicos, estando associados restritamente a vegetações que adicionam material orgânico de natureza ácida e mais resistentes a decomposição, como a campinarana na Amazônia, muçununga nos Tabuleiros Costeiros, restinga na Planície Costeira e rupestre na região Altomontana. Há também descrições de perfis no Pantanal Matogrossense, os quais apresentam atributos que divergem do conceito central da gênese de Espodosolos, por exemplo, com valores de pH na classe alcalina e elevada saturação por bases.

O horizonte B espódico carece de valores limites de atributos químicos, físicos e morfológicos no SiBCS, e apenas apresenta de forma quantitativa o critério de espessura. Essa observação infringe a própria definição de horizonte diagnóstico, o qual necessariamente deveria apresentar valores limites de um ou mais atributos relacionados ao processo de formação, atendendo a uma determinada amplitude de variação do mesmo, como descrito nos demais horizontes diagnósticos do SiBCS.

Por consequência da grande amplitude e mesmo inconsistência quanto às definições dos atributos e critérios utilizados na atual versão do SiBCS, há na literatura descrições de B espódicos com valores de atributos antagônicos aos conceitos da pedogênese dos Espodosolos adotados em sistemas de classificação internacionais, como por exemplo, a possibilidade de horizontes com valor de pH na classe alcalina e elevada saturação por bases. Adicionalmente, a falta de valores limites dos atributos diagnósticos, os quais caracterizam o processo de podzolização, como os teores de carbono orgânico, ferro e alumínio, dificulta a identificação do horizonte B espódico, bem como seus diferentes tipos, e sua correlação com outros sistemas de classificação e bases de dados globais. Neste sentido, é imprescindível a revisão e ampliação dos critérios taxonômicos para o horizonte B espódico do SiBCS quanto a determinação de valores limites para as características morfológicas e os atributos químicos e físicos.

Adicionalmente, a chave taxonômica apresenta limitações para a classificação dos Espodosolos em nível de subordem, pois se detêm em critérios observáveis no campo e de alta subjetividade. Não obstante, a identificação do componente iluviado (húmus - Bh; óxidos - Bs) do horizonte B espódico requer análises laboratoriais, como a determinação do carbono orgânico e a extração seletiva dos elementos ferro e alumínio (Santos et al., 2013). Por outro lado, a extração de ferro e alumínio por oxalato ácido de amônio ou por ditionito-citrato-bicarbonato não faz parte da rotina de muitos laboratórios e, em alguns casos, os resultados têm baixa repetitividade. Sendo assim, diante das dificuldades associadas à utilização dessas análises e com vistas a propor alterações na classificação em nível de subordem, faz-se necessário a definição de critérios taxonômicos que possam ser identificados em campo para separação desses horizontes, com base em características morfogenéticas, e limites de atributos químicos relevantes na gênese dos Espodosolos, como preconiza o SiBCS.

As hipóteses deste trabalho são:

a) Os critérios taxonômicos dos horizontes B espódico do atual SiBCS propiciam incoerências e limitam a correta classificação dos Espodosolos nos níveis de ordem e

subordem;

b) Os tipos de horizontes superficiais influenciam de forma diferenciada no desenvolvimento, nas características e nos atributos do horizonte B espódico; e

c) Os ambientes de formação dos Espodossolos influenciam diferentemente nas características e nos atributos do horizonte B espódico.

Neste contexto, o objetivo geral é rever os critérios taxonômicos para o horizonte B espódico no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Já os objetivos específicos são:

a) Desenvolver uma planilha eletrônica com a descrição geral, atributos morfológicos, químicos, físicos e mineralógicos dos perfis de Espodossolos;

b) Propor faixas de valores e/ou limites para as características morfológicas e os atributos químicos e físicos como critérios taxonômicos para horizonte B espódico;

c) Avaliar a influência dos tipos de horizonte superficial para o teor de carbono orgânico e/ou óxidos de Fe e Al do B espódico;

d) Analisar a distribuição dos Espodossolos nos seus ambientes de ocorrência quanto as suas características e atributos; e

e) Propor uma nova estrutura taxonômica para a ordem dos Espodossolos nos diferentes níveis categóricos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Classe dos Espodossolos

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (Santos et. al., 2013) os Espodossolos são *solos constituídos por material mineral, apresentando o horizonte B espódico imediatamente abaixo do E, A ou horizonte hístico dentro de 200 cm a partir da superfície ou de 400 cm, se a soma dos horizontes A e E ou dos horizontes hístico e E ultrapassar 200 cm de profundidade.*

De maneira geral, os Espodossolos apresentam a textura arenosa, fertilidade natural muito baixa e drenagem moderada a imperfeita. Essas condições conferem um ambiente diferenciado e específico, com possibilidade de encharcamento, lixiviação de nutrientes, associado ao risco de contaminação do lençol freático devido à aplicação de fertilizantes e defensivos, e suscetibilidade à erosão hídrica e eólica (Embrapa, 2014; Coelho et. al., 2014). Além disso, são moderadamente a fortemente ácidos, normalmente com baixa saturação por bases e podendo ocorrer altos teores de alumínio extraível (Santos et. al., 2013).

Referente ao horizonte B espódico, o mesmo é definido por ter natureza mineral apresentando acumulação iluvial de matéria orgânica humificada (frações alcalino solúveis) combinada com alumínio, podendo ou não conter ferro. Este não apresenta organização estrutural definida, muitas das vezes apresentando estrutura em grãos simples ou maciça, podendo eventualmente ocorrer fraco desenvolvimento estrutural. Além disso, para sua classificação, deve apresentar a espessura mínima de 2,5cm (Santos et al., 2013).

Na pedogênese dos Espodossolos há a atuação de processo de podzolização, com iluviação de complexos organometálicos no perfil de solo, levando ao desenvolvimento de horizonte diagnóstico B espódico. Em função dos compostos iluviais dominantes e do grau de cimentação, podem ser identificados os seguintes tipos de horizonte B espódico, os quais podem ser encontrados isolados ou associados em um perfil de solo. São identificados no SiBCS os seguintes tipos de horizontes (Santos et al., 2013):

- *Bs – apresenta cores vivas de croma alto e acumulação de material de baixa cristalinidade, principalmente alumínio e ferro combinados com baixos teores de matéria orgânica (carbono orgânico);*
- *Bhs – acúmulo expressivo de matéria orgânica (frações alcalino solúveis) combinada com alumínio e ferro, contendo teores significativos de ferro e alumínio extraídos por oxalato (Feo e Alo);*
- *Bh – acúmulo de complexos matéria orgânica-alumínio, com pouca ou nenhuma evidência de ferro e apresenta cores escuras (baixo valor e croma);*
- *Ortstein – representa o horizonte B espódico na forma consolidada (Bsm, Bhsm ou Bhm), apresentando-se contínuo ou praticamente contínuo, fortemente cimentado por complexos organometálicos, a consistência varia de muito firme a extremamente firme independente da umidade;*
- *Plácico – espessura fina, cor preta a vermelho-escura e aparentemente cimentado por ferro ou manganês e matéria orgânica.*

A definição dos tipos de horizontes B espódicos é determinante para classificação em nível de subordem. Os solos que têm presença de horizonte espódico, isoladamente ou sobrepostos a outros tipos de horizontes espódicos ou não espódicos: Bh (m) são incluídos na subordem dos Espodossolos Humilúvicos; Bs (m) para os Espodossolos Ferrilúvicos; e os solos que não se enquadram nas classes anteriores são identificados como Espodossolos Ferri-

Humilúvicos (Santos et al., 2013).

Diferindo do SiBCS, os sistemas de classificação internacionais *Soil Taxonomy* – ST (Soil Survey Staff, 2014) e *World Reference Base for Soil Resources* – WRB (IUSS/FAO, 2014) estabelecem valores limites para os atributos químicos que refletem o processo de formação desses solos, como também para atributos morfológicos. De acordo com o ST e o WRB, o “*spodic horizon*” deve ter em pelo menos 85% de sua extensão materiais espódicos e espessura maior ou igual a 2,5 cm, seguido dos seguintes valores para características e/ou atributos abaixo:

- pH em água menor ou igual a 5,9 (ST e WRB);
- densidade óptica de extrato de oxalato (ODOE) maior ou igual a 0,25 (ST e WRB);
- carbono orgânico (C org) maior ou igual a 0,5% (WRB) e 0,6% (ST);
- se ocorrer abaixo de materiais de erupção vulcânica e outros sedimentos deve satisfazer o requerimento de material alábico: C_{py} / C_{org} ($C_{py} = C_{org}$ da solução de pirofosfato de sódio) e C_f / C_{py} ($C_f = C_{org}$ da fração ácidos fúlvicos) maior ou igual a 0,5 nos 2,5 cm superiores (WRB);

- horizonte coberto por material alábico com extensão horizontal de 50% ou mais de cada *pedon* ou abaixo do horizonte alábico (ST); coberto por material de alábico, que não está separado do horizonte espódico por uma descontinuidade litológica e que se sobrepõe diretamente ao horizonte espódico ou acima de um horizonte de transição que tem uma espessura de um décimo ou menos (WRB) com as seguintes cores úmida e amassada:

- i. matiz 5YR ou mais vermelho (ST e WRB);
- ii. matiz 7,5YR com valor menor ou igual a 5 e croma menor ou igual a 4 (ST e WRB);
- iii. matiz 10YR e valor e croma menor ou igual a 2 (ST e WRB);
- iv. cor 10YR 3/1 (ST e WRB);
- v. cor neutra com valor menor ou igual a 2 (WRB).

- com ou sem um horizonte alábico e uma das cores (amostra úmida e amassada) listados acima ou matiz de 7,5YR, valor menor ou igual a 5 e croma 5 ou 6 e uma ou mais das características:

- i. Cimentação de matéria orgânica e de alumínio, com ou sem ferro, em 50% ou mais de cada *pedon* e apresentar uma classe de resistência à ruptura muito firme ou mais firme na parte cimentada, sendo este último um critério adotado tanto pelo ST quanto pelo WRB para distinguir os horizontes do tipo Ortstein dos demais tipos de B espódico. As classes de resistência à ruptura se assemelham as classes de cimentação conforme Santos et al. (2015) e não devem ser confundidas com a consistência úmida pela designação “firme” ou “muito firme”;
- ii. 10% ou mais dos grãos de areia revestidos com filmes de materiais organominerais iluviais (ST e WRB); ou
- iii. Percentual de $A_{lo} + 1/2 Fe_o$ ($o =$ oxalato de amônio) num total de 0,50 ou mais, e metade da quantidade ou menos de um horizonte *umbric* sobrejacente (ou sub-horizonte de um *umbric*) – A húmico ou A proeminente pelo SiBCS – e *epipedon*, *epipedon ochric* – A fraco ou A moderado pelo SiBCS – ou horizonte alábico (ST); ou
- iv. Densidade óptica do extrato de oxalato ácido de amônio (ODOE) maior ou igual a 0,25, e metade de um valor igual ou menor de horizonte ou sub-horizonte sobrejacente *umbric*, *epipedon ochric*, ou horizonte alábico (ST).
- v. Sub-horizonte com valor de $A_{lo} + 1/2 Fe_o$ maior ou igual a 0,5% e que seja maior ou igual a 2 vezes o menor valor de $A_{lo} + 1/2 Fe_o$ obtidos dos horizontes minerais acima do espódico (WRB), ou
- vi. Sub-horizonte com valor de ODOE maior ou igual a 0,25 e que seja

maior ou igual a 2 vezes o menor valor de ODOE obtidos dos horizontes minerais acima do espódico (WRB).

Apesar de no Brasil haver trabalhos que utilizem o ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) para extração seletiva de óxidos de alumínio para avaliar o acúmulo deste metal no horizonte B espódico, nenhum dos sistemas de classificação anteriormente mencionados – SiBCS, WRB e ST – considera o emprego desta análise. Tal extrator tem como uma das funções um agente redutor, no entanto, o alumínio não apresenta variação de *nox*. Em função disso, não necessariamente a extração de alumínio por DCB reflete o acúmulo de alumínio associado à matéria orgânica, mas inclui também o alumínio ligado nas bordas da estrutura cristalina das argilas silicatadas.

2.2. Gênese dos Espodosolos

O processo pedogenético específico de podzolização (complexação/ queluviação) envolve restritamente a gênese dos horizontes B espódico, sendo a teoria da complexação mais aceita (Kämpf & Curi, 2012). Inicialmente, o resíduo de vegetação de caráter ácido depositado na superfície do solo é transformado lentamente no processo de humificação. A matéria orgânica formada apresenta como característica uma grande reatividade, a destacar pelos ácidos fúlvicos, húmicos e polifenóis, os quais formam complexos organometálicos (quelatos). Ocorre preferencialmente a complexação dos íons de Fe e Al devido ao pequeno tamanho e alta valência, o que leva a formação de complexos mais estáveis (Lundström et al., 2000; Riise et al., 2000).

Os complexos formados são solúveis em água quando a concentração dos cátions metálicos é baixa, precipitando-se quando o nível crítico de saturação é alcançado. Os valores da relação carbono/sesquióxidos (C/R_2O_3) dependem do pH do solo ou da acidez potencial dos compostos orgânicos (Buurman, 1985), sendo a razão de 6:1 de Fe^{3+} /ácido fúlvico considerada como valor crítico para a precipitação do Fe (Schnitzer, 1986). Quando o valor dessa razão é menor os complexos podem ser capturados por adsorção em materiais de carga positiva, tais como óxidos de Fe e Al ou complexos já precipitados. Os complexos também podem ser depositados por dessecação, por agregação em zonas de alta força iônica e baixa atividade de H^+ ou ainda por cargas negativas expostas (Kampf & Curi, 2012).

Num meio de elevada permeabilidade, como nos materiais arenoquartzosos, e em ambiente de clima úmido é favorecida a translocação da matéria orgânica humificada, combinada com alumínio e podendo conter ferro, juntamente com a água que percola no perfil de solo. Ao passo que os sítios de ligação polar são preenchidos, os complexos precipitam em subsuperfície e, por consequência, é formado o horizonte B espódico. Muitas das vezes, devida à intensa translocação de colóides é originado também um horizonte eluvial.

Nos horizontes onde ocorre a remoção do Fe e Al as cores ficam dependentes da cor dos grãos dos minerais residuais, na sua maioria dos grãos de quartzo (opaca ou cristalina) e as cores dos horizontes de acumulação de complexos ficará dependente da presença de matéria orgânica (cor preta) e/ou da combinação matéria orgânica e da cor dos oxi-hidróxidos de ferro (ferrihidrita e goethita) de baixa cristalinidade (cor bruno-avermelhada ou bruno-amarelada) (Campbell & Schwertmann, 1984).

A possibilidade de migração de Al e Fe na forma de complexos inorgânicos foi sugerida por Anderson et al. (1982), os quais positivamente transportados com a matéria orgânica coloidal (ácidos orgânicos ou as frações húmicas) precipitam-se após contato com os complexos inorgânicos. Schnitzer (1986) relata que os ácidos húmicos podem formar complexos insolúveis em valores de pH menores que 6,5, quando associados com colóides minerais.

Em solos desenvolvidos sob restinga no litoral de São Paulo, Coelho et al. (2010)

observaram que os complexos de Al/Fe-húmus ocorrem nos horizontes superficiais e em B espódicos. Os autores relatam ainda que a queluviação dos complexos Al-húmus e sua imobilização em profundidade ocorre à medida que há saturação do elemento nos complexos organometálicos que migram no perfil, sendo estes atuantes e responsáveis pela gênese dos horizontes espódicos.

Outra hipótese para o acúmulo em subsuperfície dos complexos está relacionada à presença de lençol freático, onde a drenagem limitada impede a saída do material orgânico solúvel verticalmente (Andriess, 1969). No Brasil, os Espodossolos nos Tabuleiros Costeiros comumente têm a presença de horizontes cimentados como o Ortstein e o Duripã como fator que impede a perda da matéria orgânica do perfil, havendo muitas das vezes a formação de lençol freático suspenso sobre esses horizontes. Para regiões úmidas e quentes, os complexos organometálicos são concentrados pelo lençol freático flutuante, onde precipitam formando o horizonte B espódico. Todavia, estes horizontes formados apresentam pouco Fe, pois o elemento está na forma reduzida (Fe^{2+}) que pode ser removida do perfil por lixiviação (Kämpf & Curi, 2012). Uma evidência desse padrão é a ocorrência de horizontes E menos espessos nas zonas mais baixas da paisagem, nas quais a saturação por água é permanente, enquanto este horizonte é mais espesso nos locais da paisagem mais elevados e de melhor drenagem (Gomes et al., 2007).

Em solos de três áreas de restinga no litoral norte fluminense, sob diferentes coberturas vegetais, Gomes et al. (1998b) atribuíram o processo de podzolização aos compostos orgânicos migrantes decorrentes das flutuações do lençol freático e a baixa atividade dos ácidos húmicos. Segundo os autores o Fe era removido do sistema e os complexos alumínio-orgânicos eram depositados em subsuperfície formando o horizonte Bh, mesmo com altas relações C org/Al.

Ainda no Brasil, alguns estudos têm identificado Espodossolos em ambientes com vegetação conhecida como Complexos Rupestres de Altitude e sobre rochas com elevada participação de quartzo em sua composição, tais como o quartzito e o arenito. Como explicação para a formação de Espodossolos, é apontado o acúmulo de matéria orgânica, seguido de decomposição lenta (clima mais frio e úmido), a qual favorece a liberação dos compostos orgânicos ácidos solúveis (ácidos fúlvicos e húmicos). Adiciona-se aos ácidos orgânicos a contribuição para o intemperismo dos minerais, seguido de complexação com Fe e Al, que são iluviados (Campos et al., 1997; Benites, 1998 e 2002; Rossi & Queiroz Neto, 2002; Schaefer et al., 2002; Dias et al., 2003).

Em solos de campos de altitude em Minas Gerais, Benites et al. (2001) constataram que os ácidos fúlvicos tiveram ação mais intensa nos processos de queluviação e transporte de cátions metálicos nos perfis. Já Rossi & Queiroz Neto (2002) verificaram que a associação de ácidos orgânicos e ambiente com alta umidade foram os principais responsáveis pela remobilização e remoção do Fe, contribuindo para a evolução de Espodossolo Ferri-Humilúvico a partir de Gleissolo Háptico no planalto da Serra do Mar no estado de São Paulo.

Outro processo que comumente está associado aos Espodossolos é a ferrólise (Mafra et al., 2002; Oliveira et al., 2010; Moreau et al., 2006, Mafra et al., 2002), que ocorre em ambientes de sazonalidade de nível freático e pela alternância das condições de oxidação e redução. Com o alagamento o ferro presente no meio fica na forma reduzida, deslocando os cátions trocáveis presentes nos sítios de troca. Reduzindo o nível freático, o Fe^{2+} precipita e forma óxidos de Fe, liberando H^+ para o meio, que promoverá o ataque ácido das argilas silicatadas (Kämpf & Curi, 2012). Com a desestabilização da estrutura cristalina do argilomineral, há a liberação de Al^{3+} para o meio. O processo de ferrólise está associado aos ambientes de planície com clima de variabilidade de chuvas ao longo do ano – Amazônia, região do litoral e o Pantanal, bem como áreas de Tabuleiros Costeiros, onde há restrição a drenagem pela presença dos horizontes Duripã ou Ortstein.

No Pantanal, embora os perfis de solo descritos na literatura tenham acúmulo de carbono orgânico no horizonte B em relação ao subjacente, não há estudos que elucidem se essa matéria orgânica teria sido de fato iluviada ou se o horizonte B teria acúmulo relativo em relação ao E somente pela perda lateral ou a mineralização da matéria orgânica no E. No entanto, Schiavo et al. (2012) sugerem que nos campos inundados os B espódicos seriam formados apenas por Fe iluviado não-complexado por matéria orgânica, contrariando a própria definição de B espódico, conforme Santos et al. (2013), que considera que deve haver matéria orgânica complexando Fe e Al.

2.3. Pedoambiente e Ocorrência dos Espodossolos

Um *pedon* equivale a um corpo tridimensional que representa um solo de modo que a partir de mínimas extensões é possível identificar sua classe taxonômica (Kämpf & Curi, 2012; Santos et al., 2015). Desse modo, o pedoambiente abrange todos os fatores ambientais – bióticos (organismos) e abióticos (material de origem, clima, relevo) – que venham a influenciar de forma integrada na gênese desse *pedon* durante um período de tempo.

A maior ocorrência dos *Podzois* (*Spodosols*) se dá em regiões frias e úmidas do globo terrestre, em particular sob clima boreal/temperado (Soil Survey Staff, 2014; Buurman, 2001; IUSS/FAO, 2014), com vegetação de coníferas e ericáceas que adicionam material orgânico de natureza ácida ao solo. Em menor frequência, ocorrem em regiões de clima subtropical/tropical, seco e em locais alagados (Chesworth & Macías, 1985; Fanning & Fanning, 1989; Courchesne & Hendershot, 1997; Lundström et al., 2000a), associados a materiais de origem arenosos e em áreas que apresentam flutuação do lençol freático (Soil Survey Staff, 2014). Os materiais de origem geralmente são de mineralogia quartzosa (nos arenosos) e oriundos de depósitos glaciais, aluviais, marinhos ou eólicos; já, em clima boreal, esses solos se desenvolvem a partir de qualquer rocha.

A distribuição em termos de área mostra que em torno de 98% dos *Podzois* (*Spodosols*) são observados nas regiões de clima boreal/temperado do Hemisfério Norte, principalmente, na Escandinávia, norte da Rússia e Canadá. Nos Estados Unidos, eles são observados em áreas de depósito do Pleistoceno tardio ou Holoceno, sendo mais comuns nas regiões montanhosas do Alasca, na região dos grandes lagos e na costa do Atlântico até o Canadá. Eles também são observados na Europa, Ásia, Nova Zelândia e Austrália, principalmente em áreas cobertas por coníferas do Canadá e Rússia e em menor quantidade sob vegetação de floresta ou pradarias. Em ambientes tropicais ocorrem principalmente em regiões muito úmidas e formados a partir de sedimentos aluviais e marinhos (arenosos) e, em regiões altomontanas com influência de materiais como cinzas vulcânicas ou rochas com altos teores de quartzo (Andriess, 1969; Oliveira et al., 1992; Van Ranst et al., 1997; Lundström et al., 2000b).

Especificamente no Brasil, os Espodossolos se desenvolvem em materiais quartzosos sob condições de umidade elevada, em clima tropical; em relevo plano e suave ondulado, áreas de surgente, abaciadas e depressões; tanto no interior como no litoral e nos Tabuleiros Costeiros. Quanto à vegetação associada, nas regiões costeiras, genericamente é denominada de restinga, enquanto na Amazônia e nos Tabuleiros Costeiros frequentemente estão associados à vegetação conhecidas como campinarana e muçununga, respectivamente. Em ambientes de clima frio e úmido, entretanto, ocorrem em relevo mais movimentado e associados à vegetação altomontana, na sua maioria sob rochas quartzíticas (Santos et al., 2013).

Na Amazônia ocorrem em ambientes sedimentares e são observadas transições das classes de Latossolo para Espodossolo (Lucas et al., 1987; Bravard & Righi, 1988; 1989; Dubroeuq & Volkoff, 1998; Mafra et al., 2002, 2007). Nas regiões costeiras e ambiente de restinga muitas vezes estão associados com Neossolos Quartzarênicos e Organossolos

(Gomes et al., 1998a; Rossi & Queiroz Neto, 2002; Benites et al., 2003; Gomes et al., 2007; Coelho et al., 2010). Nos Tabuleiros Costeiros ocorrem em áreas muito específicas e abaciadas ou anfiteatros e raramente em condições fluviais (Melo e Santos, 1996; Moreau et al., 2006; Corrêa et al., 2008; Oliveira et al., 2010; Silva et al., 2013 e Carvalho et al., 2013); enquanto no Pantanal estão em áreas deprimidas (Schiavo et al., 2012). Em ambiente altomontano, os horizontes B espódico estão normalmente abaixo de um horizonte E de cor clara (albico) e são bem definidos; enquanto, sobre rochas ígneas os horizontes B espódico são menos expressivos quanto a morfologia e, muitas vezes, o processo de podzolização é apenas identificado a partir de análises micromorfológicas e das frações húmicas (Campos et al., 1997; Benites, 1998 e 2002; Rossi & Queiroz Neto, 2002; Schaefer et al., 2002; Dias et al., 2003; Simas et al., 2005).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Elaboração da Planilha de Dados

A partir de pesquisa bibliográfica em artigos, levantamentos pedológicos, boletins, teses e dissertações de diferentes regiões do Brasil foram identificados inicialmente 209 perfis de Espodossolos com indicação do horizonte B espódico e dados de caracterização. Não foram consideradas as avaliações e amostragens oriundas de tradagem. Além disso, foram descartados perfis de Espodossolos que não atenderam aos seguintes critérios do SiBCS (Santos et al., 2013):

(i) presença do horizonte B espódico em 2 m de profundidade ou ainda dentro de 4 m se a soma da espessura dos horizontes A e E fossem maior que 150 cm;

(ii) espessura maior que 2,5 cm do horizonte B espódico ou ainda entre 0,5 cm e 2,5 cm quando o B espódico for descrito como Plácico, ou seja, os horizontes B espódico que tinham apenas a informação da profundidade inicial não foram considerados; e

(iii) conteúdo de carbono orgânico no horizonte B espódico maior ao horizonte imediatamente sobrejacente.

Foi realizada análise de consistência dos dados de morfologia para verificar se o horizonte subsuperficial de acúmulo de matéria orgânica, como designado pelos autores, seria de fato um B espódico, tendo em vista a possibilidade de falhas na identificação de horizontes A, O ou H enterrados. Também, foi avaliado em cada perfil se o acúmulo de carbono orgânico não estava associado ao caráter flúvico, ou seja, com distribuição errática de carbono orgânico ao longo do perfil de solo por deposições diferenciadas de sedimentos aluviais. Após as devidas revisões, o número final de perfis classificados como Espodossolos foi de 154.

De posse dos dados gerais e analíticos, foi elaborada uma planilha eletrônica no Excel com os seguintes itens: (i) descrição geral do ambiente de ocorrência do perfil de solo – localização, latitude e longitude, situação, declive, cobertura vegetal, elevação, litologia, formação geológica, cronologia, material originário, relevo local, relevo regional, erosão, drenagem, vegetação primária, uso atual e clima; (ii) dados morfológicos do perfil – sequência de horizontes, profundidades iniciais e finais dos horizontes, cor, classe textural, estrutura, consistências seca, úmida e molhada; (iii) dados físicos dos horizontes – granulometria (areia grossa, areia fina, silte e argila), argila dispersa em água, grau de floculação, relação silte/argila, densidade do solo, densidade das partículas e porosidade; (iv) dados químicos dos horizontes – pH (água e KCl), complexo sortivo (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Al^{3+} , H^+), P disponível, carbono orgânico, N; (v) dados químicos da extração com ataque sulfúrico (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , P_2O_5 e MnO), relações Ki e Kr; e (vi) teores de Fe e Al extraídos por oxalato ácido de amônio e ditionito-citrato-bicarbonato.

As descrições morfológicas dos horizontes (A1, A2, A3, B1, B2 etc) foram ajustadas conforme as recomendações de Santos et al. (2015), pois grande número de trabalhos foram publicados antes da primeira edição do SiBCS, sendo também necessária a reclassificação dos perfis no SiBCS (Santos et al., 2013). Todos os dados analíticos foram avaliados quanto ao método adotado, sendo desconsiderados aqueles obtidos por análises que não seguissem aos princípios descritos no Manual de Métodos de Análise de Solo (Donagemma et al., 2011). Também foram padronizadas as unidades de medidas adotadas, principalmente de % para g kg^{-1} e de meq por 100 ml para $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$.

3.2. Análise dos Dados

3.2.1. Distribuição dos perfis de Espodossolos no Brasil

Nessa etapa, foi gerado um arquivo *shapefile* com a distribuição dos perfis de Espodossolos no território brasileiro, elaborado a partir das informações de latitude e

longitude e por meio do sistema de informações geográficas ArcGIS. Alguns desses perfis não possuíam as coordenadas geográficas e elevação na descrição de campo. Para esses foi necessário identificar coordenadas aproximadas, conforme a localização descrita, por meio do *Google Earth*, o mesmo para a informação de elevação. Dessa forma, foi elaborado um mapa com a localização dos perfis de Espodosolos incluídos no acervo de dados, utilizando o sistema de referência SIRGAS2000.

3.2.2. Avaliação das características e atributos dos Espodosolos

A partir da planilha eletrônica os horizontes foram separados segundo sua denominação (O, H, A, E e B); tipo de horizonte superficial e subsuperficial, de acordo com a classificação taxonômica; bem como por pedoambientes – Amazônia, Tabuleiros Costeiros, Planície Litorânea, Pantanal e Campos de Altitude. No Excel, para cada grupo de solos e para cada atributo foi aplicada a análise da estatística descritiva (máximo, mínimo, média, desvio padrão) com o intuito de ver a consistência dos dados, considerando os valores possíveis de ocorrência de cada atributo, assim como a quantidade de dados existentes.

Na sequência, visando estabelecer valores limites para atributos ou características, foi avaliada a participação, além da capacidade de formação de grupos distintos e da relação com a pedogênese em cada horizonte diagnóstico. Os valores limites foram estabelecidos a partir dispersão dos dados (tendência e amplitude) e nas medidas de tendência central (média, moda ou mediana) e/ou na distribuição de frequências também obtidas por meio do Excel.

Como modelos para o desenvolvimento das propostas foram tomados os sistemas de classificação internacionais *Soil Taxonomy* (*Soil Survey Staff*, 2014) e *World Reference Base for Soil Resources* (IUSS/FAO, 2014). Esses sistemas adotam limites para alguns atributos que identificam o horizonte espódico, quais sejam: espessura $\geq 2,5$ cm; pH em água $\geq 5,9$; e carbono orgânico absoluto $\geq 0,5\%$ e $0,6\%$ ($5,0$ e $6,0$ g kg⁻¹).

A distribuição dos perfis, com base na classificação atual dos Espodosolos foi comparada com proposta de classes gerada a partir da distribuição dos atributos ou características dos perfis no acervo de dados. Para o nível de ordem foi mantida a definição atual do SiBCS, considerando a adoção dos novos critérios sugeridos para o horizonte diagnóstico B espódico, como também o predomínio da sua profundidade inicial nas descrições presentes na literatura para estabelecimento da seção de controle. A sub-ordem foi redefinida conforme os novos tipos de horizontes B espódico, dados em função de seus atributos diagnósticos – morfologia e carbono orgânico, sendo que o tipo de B espódico subsequente aos horizontes A, E ou Hístico, isoladamente ou sobreposto a demais horizontes diagnósticos. Após a avaliação da profundidade inicial predominante do B espódico, bem como a influência do hidromorfismo nos seus atributos químicos, foi realizada a redefinição dos seus grandes grupos. Já os sub-grupos foram estabelecidos de acordo com a presença de caracteres, atributos ou horizontes diagnósticos coincidentes ao B espódico ou que ocorriam concomitantemente a gênese dos Espodosolos, havendo ajuste ou exclusão de classes existentes que não haviam descrição de perfis na literatura.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Distribuição dos Espodossolos no Brasil e Pedoambientes

A maioria dos perfis descritos encontra-se nos estados de São Paulo (42), Rio de Janeiro (17) e Amazonas (16). Essa distribuição nesses estados, além de sua ocorrência, reflete o maior número de estudos realizados nessas regiões (Figura 1). Embora não se tenha descrições de Espodossolos no litoral das regiões Norte e Nordeste, não necessariamente significa a inexistência desta classe de solo nessas áreas, mas a falta de levantamentos em escalas detalhadas que possam contemplar o seu registro nas unidades de mapeamento.

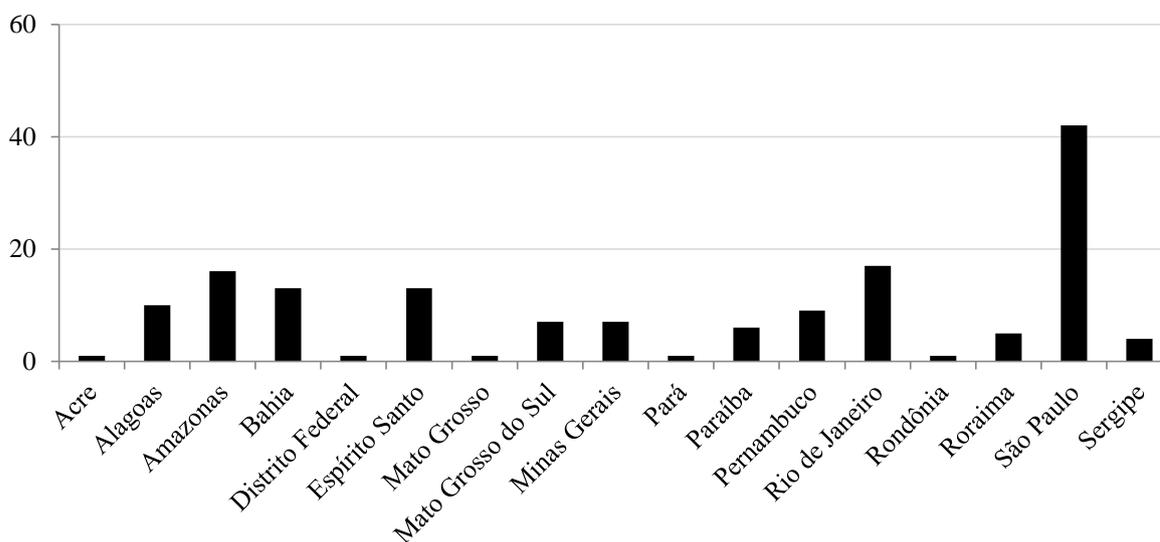


Figura 1. Distribuição da ocorrência de perfis de Espodossolos por estado brasileiro.

Dados os ambientes de ocorrência, a distribuição dos perfis reforça alguns aspectos importantes em relação aos fatores de formação dos Espodossolos. No que concerne ao relevo, a distribuição dos perfis no Brasil (Figura 2) indica sua maior ocorrência em áreas de planície – Amazônica (25), litorâneas (111) e no Pantanal (7), zonas em que ocorre maior deposição de sedimentos; e menor e pontual em locais de grande elevação (11). As médias e medianas da elevação dos perfis de Espodossolos foram respectivamente de: Amazônia – 92 e 73 m; Pantanal – 106 e 105 m; Tabuleiros Costeiros – 83 e 82 m; áreas de restinga na planície litorânea - 12 e 8 m; e Campos de Altitude – 1208 e 1200 m (Tabela 1).

Tabela 1. Estatística descritiva dos valores de elevação (m) dos perfis em função do pedoambiente.

	Tabuleiros Costeiros	Amazônia	Restinga	Campos de Altitude	Pantanal
Média	83	92	12	1208	106
Mediana	82	73	8	1200	105
Moda	95	94	1	-	106
Desvio padrão	52	64	11	424	17
Mínimo	3	6	1	500	89
Máximo	187	223	58	1900	141
Contagem	36	25	75	11	7

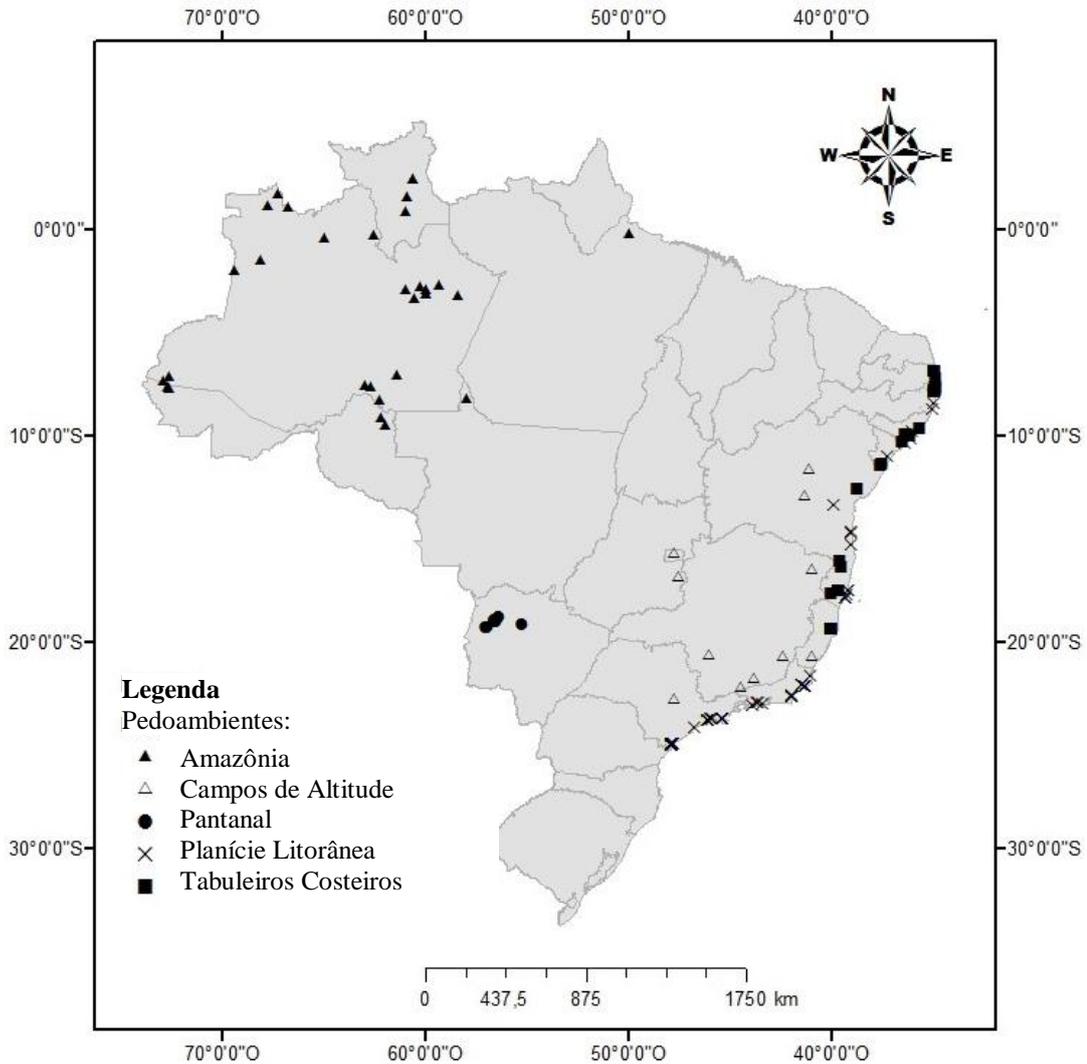


Figura 2. Distribuição dos perfis de Espodossolos no Brasil em função dos pedoambientes.

Quanto à geologia, destaca-se que não há relatos de Espodossolos na região da Bacia do Paraná, bem como nas áreas cristalinas dos escudos Brasileiro e das Guianas. O material de origem máfico da Bacia do Paraná ou os materiais muito intemperizados das áreas de escudo são mais favoráveis a formação de solos argilosos como os Latossolos, Nitossolos e Argissolos (Santos et al., 2011). A formação de complexos organominerais de maior estabilidade e tamanho, a vegetação de menor acidez, como também a proteção física da matéria orgânica no interior de agregados são fatores que dificultam a translocação da matéria orgânica no perfil de solo e consequentemente a formação do B espódico. Por outro lado, conforme Kämpf & Curi (2012) a translocação de complexos organometálicos – e consequentemente a formação do B espódico – é favorecida por materiais grosseiros de pequena área de superfície específica, como aqueles com grande participação de quartzo, os quais promovem rápida infiltração de água e a lenta liberação de cátions.

As descrições de campo indicam que os Espodossolos são formados principalmente sobre materiais silicosos ou félsicos. Nas planícies – Amazônia, no Pantanal e na região litorânea – esses solos estão associados a sedimentos arenosos (materiais quartzosos), como também nas fases mais arenosas dos sedimentos do Grupo Barreiras nos Tabuleiros Costeiros. Quando autóctones, os Espodossolos são formados sobre rochas com alta participação de quartzo em sua composição, que devido à elevada resistência deste mineral originam solos

cascalhentos e de granulometria grossa. Assim, os Espodossolos em ambiente de Campos de Altitude estão descritos sobre as litologias de arenito (1 perfil) ou colúvio de arenito (1 perfil), quartzito (5 perfis), metaquartzito sericítico (1 perfil), migmatitos e granitos/gnaiss (3 perfis). Há somente um registro de perfil de Espodossolo formado sobre arenito na planície Amazônica.

O relevo local dos perfis é predominantemente plano a suave ondulado, na maioria dos ambientes. Nos Tabuleiros Costeiros e no Pantanal as declividades são inferiores a 3%, sendo que nos Tabuleiros Costeiros os Espodossolos são descritos em topo plano tabular ou áreas ligeiramente abaciadas; enquanto no Pantanal os perfis estão localizados em campos de inundação. Na Amazônia e em áreas de restinga na planície litorânea, a declividade variou de 0 a 6%, com exceção de um perfil na Amazônia que foi descrito no terço médio de encosta e com declividade de 20 a 25%. Diferindo dos demais ambientes, os Espodossolos nos Campos de Altitude apresentaram grande amplitude do relevo, variando de plano a forte ondulado, com declives desde 0 até 42%.

A vegetação primária foi específica de cada pedoambiente, de modo que na Amazônia foi a campinarana (25 perfis), na planície litorânea a restinga (75 perfis) e sobre os Tabuleiros Costeiros a muçununga (36 perfis). No Pantanal os perfis foram descritos sob vegetação de Campo Tropical e Cerradão sub-tropical (7 perfis); já nos Campos de Altitude é identificada a vegetação rupestre (11 perfis). Para esses dois ambientes, destaca-se a vegetação como a via para formação de substâncias húmicas, sendo característica comum a sua lenta degradação e a serapilheira com baixo conteúdo de nutrientes (Schaetzl, 2002). Por sua vez, a alta reatividade das substâncias húmicas propicia a formação de complexos organometálicos solúveis, que se translocam ao longo do perfil para a formação do B espódico (Lunström, 1993; Lundström et al., 2000b).

Quanto ao clima, no Brasil, a ocorrência desses solos está associada em sua maioria ao clima tropical, ou seja, com precipitações anuais elevadas, tais como nos tipos climáticos classificados como Af, Am, Aw e As, segundo Köppen-Geiger (Köppen & Geiger, 1928). Assim, nas áreas da Bacia Sanfranciscana e na Bacia do Maranhão e Piauí, as condições de clima árido e semi-árido impossibilitam a formação dos horizontes B espódicos, tendo em vista que se faz necessária a ação da água percolante no perfil de solo para translocar os complexos organometálicos formados em superfície. Distinto dos demais pedoambientes, nos Campos de Altitude, os Espodossolos ocorrem em condições clima temperado – Cwb.

4.2. Atributos dos Horizontes B Espódicos

Ao todo foram identificados 154 perfis de Espodossolos, contendo 385 sub-horizontes de B espódicos distribuídos conforme a classificação apresentada no SiBCS (Santos et al., 2013) em: 93 Bs (m), 127 Bh (m) e 165 Bhs (m). Deste total, 22% dos horizontes são identificados como ortstein, 6% como fragipãs e cerca de 5% apresentam tiomorfismo. A seguir serão discutidos os atributos morfológicos, químicos e físicos dos horizontes B espódicos.

4.2.1. Características morfológicas

a) Profundidade inicial dos horizontes

A profundidade inicial dos B espódicos é adotada como critério para definir a classe dos Espodossolos, de modo que esse horizonte diagnóstico deve estar "*dentro de 200 cm da superfície do solo após qualquer horizonte superficial ou E ou ainda 400 cm se a soma dos horizontes A/Hístico e E for igual a 150 cm de espessura*" (Santos et al., 2013). Em função dessa seção de controle, há grande variação dos registros das profundidades iniciais dos horizontes B espódicos na classe dos Espodossolos, sendo observados desde 11 a 400 cm da superfície do solo, com desvio padrão de 51 cm.

Apesar da amplitude mencionada, a média e mediana das profundidades iniciais dos horizontes B espódico foram de 85 e 79 cm, respectivamente, o que corrobora com o fato de que frequentemente esses horizontes ocorrem a menos de 100 cm da superfície do solo. Vale ainda destacar que 93,5% dos perfis avaliados possuem o início do B espódico até 150 cm da superfície do solo (Figura 3).

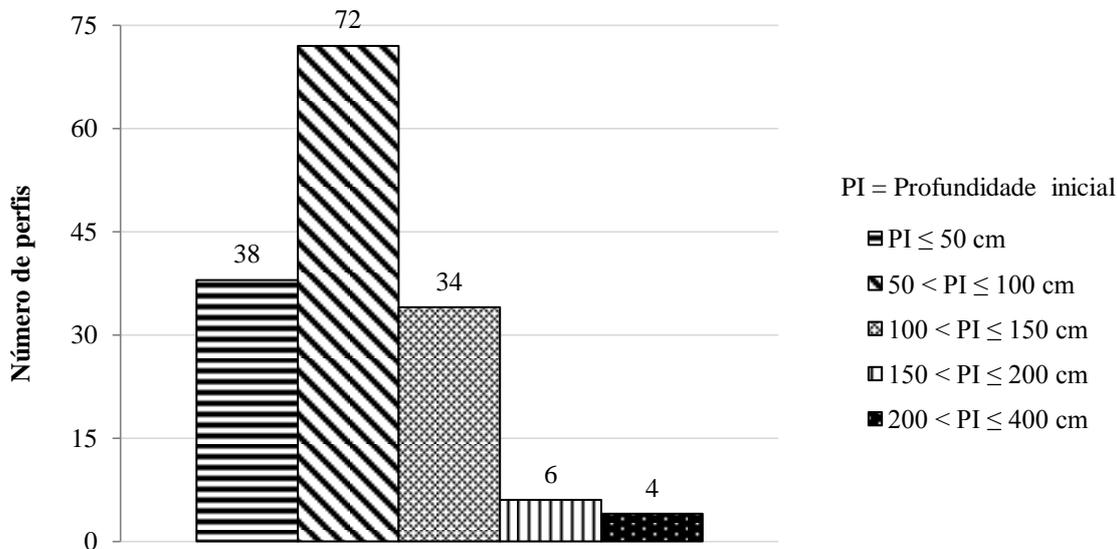


Figura 3. Distribuição das profundidades iniciais dos horizontes B espódico.

Sendo assim, a classificação dos Espodossolos em nível de grande grupo como Hiperespessos e Hidro-hiperespessos, em função da maior profundidade de ocorrência do B espódico, contempla uma minoria de solos descritos na literatura. Como evidência no acervo de dados há apenas quatro (04) perfis com o B espódico abaixo de 200 cm da superfície, de um total de 154 perfis avaliados. Ressalta-se que para abrir uma trincheira de 400 cm de profundidade é exigido um grande esforço agravado pelo fato da composição essencialmente arenosa desses solos favorecer que o material se solte, provocando o desbarrancamento da trincheira. Em função disso, é possível que muitas das vezes a descrição do perfil de solo seja limitada pela dificuldade de abertura da trincheira em maiores profundidades. Assim, na maioria dos levantamentos realizados no Brasil (de reconhecimento ou em escalas menores) esses solos podem não ser identificados.

Outro ponto a ser considerado é que a seção de controle é um critério absolutamente arbitrário, isto é, se o somatório das espessuras A e E tiver 149 cm, não é feita a descrição até 400 m e o B espódico pode sim estar entre 200 e 400 cm. Neste sentido, destaca-se também que a classificação taxonômica é apenas uma maneira de organizar, através de agrupamentos, indivíduos semelhantes entre si. Reduzir a seção de controle para 200 cm não faz com que o SiBCS deixe de ser morfogenético, nem significa que os solos com B espódico abaixo dessa profundidade não teriam evidências de processo de podzolização, o qual poderia ser indicado em nível categórico inferior, mais usado em levantamentos de maior detalhe ou em estudos de pedogênese.

Assim, se reduzida a seção de controle de início do B espódico para 200 cm da superfície do solo, os 4 perfis identificados com B espódico abaixo desse limite de profundidade seriam enquadrados na classe dos Neossolos Quartzarênicos, em função da ausência do B na seção de controle de até 200 cm e da matriz essencialmente arenosa dos horizontes A e C. Já no quarto nível categórico seriam identificados como espodossólicos por apresentar em profundidade evidências de processos de podzolização.

b) Cor

Comumente a cor dos horizontes B espódicos tem maior participação do amarelo em comparação com o vermelho, de modo que 60% dos horizontes avaliados apresentaram o matiz 7,5YR ou mais amarelo. No entanto, podem ser observados B espódicos com participação do vermelho maior ou igual ao amarelo no matiz (18%), cores variegadas (13%) e neutras (1%). E, aproximadamente 9% dos 385 horizontes B espódicos do acervo de dados não apresentam informação sobre a cor.

É possível observar um padrão de cor entre os diferentes tipos de horizonte B espódico (Figura 4): Bs(m) – valor e croma ≥ 4 , excepcionalmente valor igual a 3 quando é do tipo ortstein; Bh(m) – valor e croma < 4 ; e Bhs(m) – cores intermediárias aos horizontes Bs(m) e Bh(m), de maneira que o valor variou de 2 a 5 e croma de 1 a 6. Os horizontes de cor variegada apresentam valor e croma conforme o padrão observado para os demais horizontes.

Apenas 8 sub-horizontes, do total de 349 sub-horizontes B espódicos com informação de cor, não se enquadram no padrão de cor relatado. Destes sub-horizontes, 7 foram classificados como Bs e têm valor entre 5 e 7 e croma variando de 1 a 3, sendo que 3 desses sub-horizontes possuem conteúdo de carbono orgânico inferior a 5 g kg^{-1} , indicativo de incipiente iluviação de matéria orgânica. O outro horizonte que não atende ao padrão dos Bh(m) tem $0,5 \text{ g kg}^{-1}$, reforçando o baixo acúmulo de matéria orgânica. Neste sentido, o padrão de cor para os tipos de horizontes B espódicos mostra-se funcional para sua identificação no campo, podendo ser um critério semi-quantitativo para a definição desses horizontes no SiBCS.

Aproximadamente 12% dos sub-horizontes B espódicos apresentam mosqueados, nos quais o matiz variou de 5YR a 2,5Y ou com cores neutras. E, independentemente da drenagem no perfil de solo, foram observados mosqueados associados a iluviação – valor e croma entre 3 a 4 – ou degradação da matéria orgânica – valor ≥ 5 e croma ≤ 3 , sendo mais claros que a matriz do solo (Figura 5). Em perfis com descrição de drenagem imperfeita ou mal drenados ocorrem mosqueados de valor < 3 e croma ≤ 2 , possivelmente em decorrência da precipitação de manganês, e também mosqueados de valor e croma ≥ 4 , pela precipitação de óxidos de ferro.

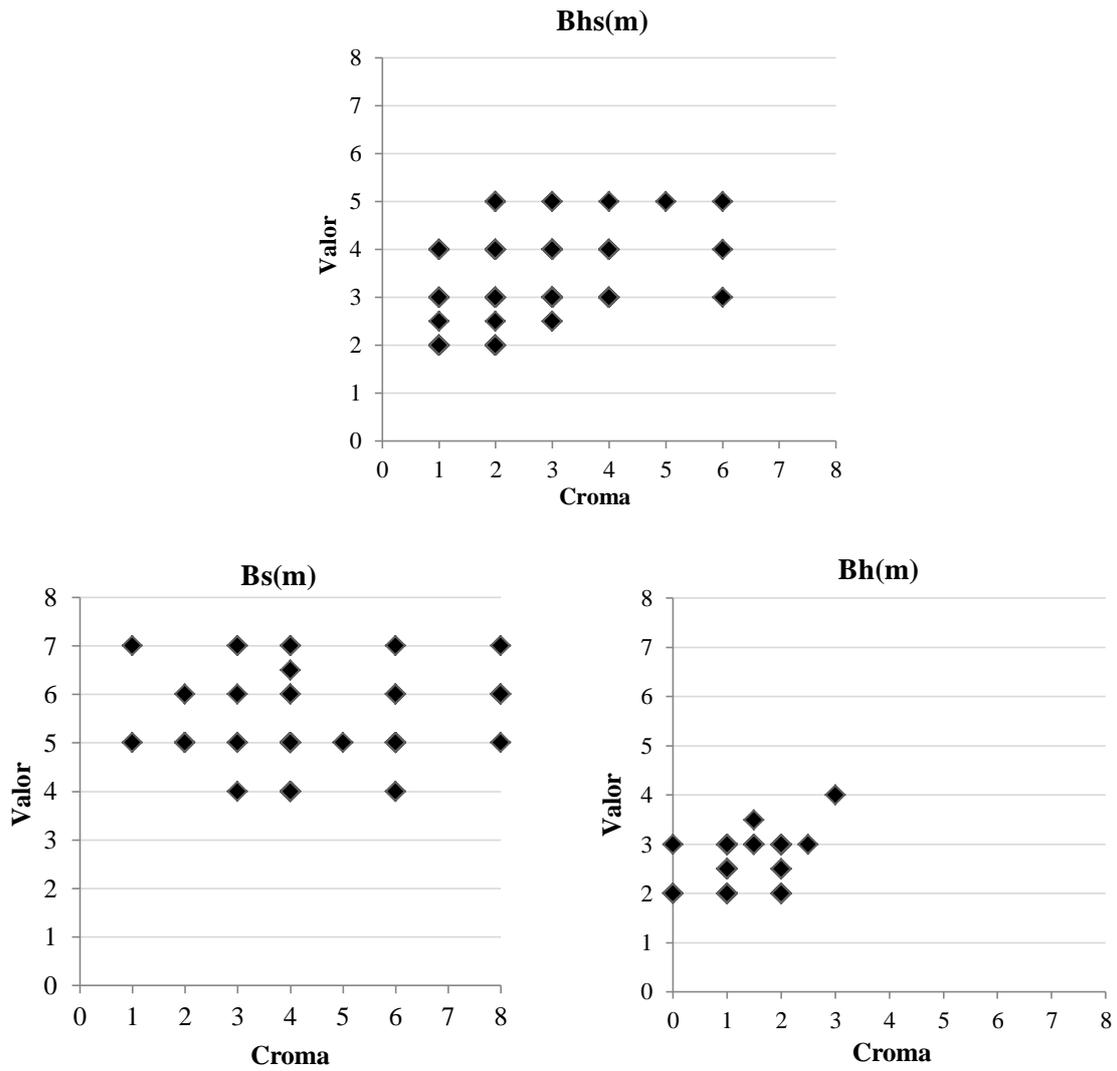


Figura 4. Cor (valor e cromas) dos diferentes tipos de horizontes B espódicos.

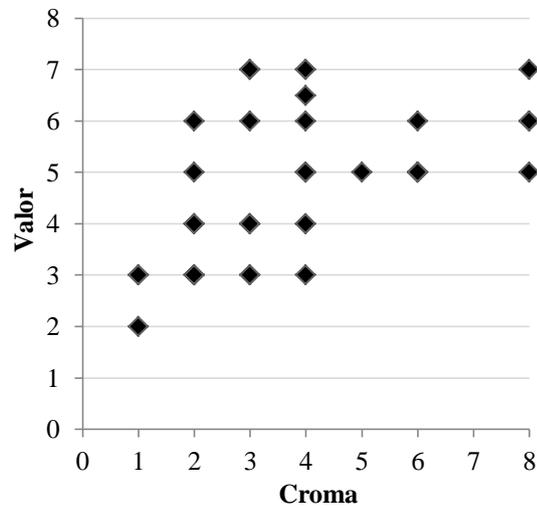


Figura 5. Gráfico de dispersão da cor (valor e cromas), em mosqueados de B espódicos.

c) Classe textural e estrutura

As classes texturais predominantes nos B espódicos são: areia (56%), areia franca (25%) e francoarenosa (16%), o que evidencia a natureza essencialmente arenosa do material de origem dos Espodosolos. E, apenas 2% dos B espódicos avaliados pertencem a outras classes texturais, sendo estas franco-argiloarenosa e argiloarenosa. Cerca de 1% dos horizontes avaliados não apresentam informação de classe de textura ou de granulometria.

Em decorrência da matriz arenosa, os B espódicos frequentemente apresentam ausência de agregados, com estrutura maciça (56%) ou em grãos simples (16%). No caso de B espódicos com agregados – blocos angulares (3%), blocos subangulares (6%), granular (1%) e laminar (1%) – o grau de desenvolvimento da estrutura foi de fraco a moderado em quase a sua totalidade; com somente dois (02) registros de sub-horizontes oststein com estrutura com forte grau de desenvolvimento (Gomes, 2006; Oliveira et al., 2010). Aproximadamente 17% dos sub-horizontes avaliados não tinham informações de estrutura.

4.2.2. Atributos físicos

a) Granulometria

De modo geral, a granulometria dos horizontes B espódico revela o predomínio da fração areia, sendo que as médias e medianas da areia total variaram de 841 a 908 g kg⁻¹ (Tabela 2), com o valor máximo observado de 988 g kg⁻¹ e o mínimo de 470 g kg⁻¹.

Tabela 2. Distribuição das frações granulométricas dos horizontes B espódico.

	Areia grossa	Areia fina	Areia total	Silte	Argila
	g kg ⁻¹				
	Bs(m)				
Média	318	543	862	70	67
Mediana	250	550	908	50	40
Moda	72	60	940	40	20
Desvio padrão	254	320	118	65	67
Mínimo	2	40	470	2	10
Máximo	930	972	988	250	320
Contagem	89	89	93	93	93
	Bh(m)				
Média	337	546	879	63	58
Mediana	191	685	878	59	40
Moda	8	140	860	20	10
Desvio padrão	319	327	75	42	52
Mínimo	0	20	480	0	10
Máximo	929	984	988	178	360
Contagem	120	120	125	125	125
	Bhs(m)				
Média	418	430	841	92	67
Mediana	491	309	851	68	50
Moda	660	170	920	0	20
Desvio padrão	262	282	105	88	53
Mínimo	2	10	507	0	9
Máximo	960	980	988	416	335
Contagem	114	114	161	161	161

Nos horizontes Bh(m) e Bs(m) a média e mediana da fração areia fina (543 a 685 g kg⁻¹) são ligeiramente superiores a areia grossa (191 a 337 g kg⁻¹); enquanto nos horizontes Bhs(m) a participação de areia grossa e fina foram relativamente próximas (309 a 491 g kg⁻¹).

Tal variação da participação das frações granulométricas é decorrente do material de origem a partir do qual os horizontes B espódico são formados, o que será discutido posteriormente no item 4.2.4. Influência dos pedoambientes na gênese do B espódico.

As médias e medianas dos teores da fração argila variaram de 40 a 67 g kg⁻¹, corroborando com a observação de que os Espodossolos se desenvolvem sobre materiais arenoquatzosos, que facilitam a percolação de água no perfil de solo. Embora a quantidade de argila alcance o valor de 360 g kg⁻¹, ressalta-se que há apenas 10 registros de sub-horizontes de B espódico com teor de argila entre 200 e 360 g kg⁻¹. Assim, são poucos os horizontes B espódicos que não pertencem às classes texturais areia, areia franca e franco-arenosa.

4.2.3. Atributos químicos

a) Carbono orgânico

Os horizontes B espódicos são caracterizados pelo acúmulo iluvial de matéria orgânica e óxidos de alumínio, podendo ou não apresentar também acúmulo óxidos de ferro (Santos et al., 2013). Dentre os B espódicos, os horizontes Bs(m) são definidos por apresentar principalmente acúmulo de óxidos de ferro e baixo conteúdo de matéria orgânica. E, como pode ser observado na Figura 6, os três tipos de horizontes B espódicos apresentam grande dispersão do conteúdo de carbono orgânico (C org), não havendo distinção de teores de C org entre eles. No entanto, os horizontes Bs(m) apresentam teores de C org abaixo de 20,0 g kg⁻¹, corroborando com a definição de baixos conteúdos de C org desse tipo de horizonte, enquanto os demais atingiram valores de 70,0 g kg⁻¹ – Bh(m) – a 99,2 g kg⁻¹ – Bhs(m).

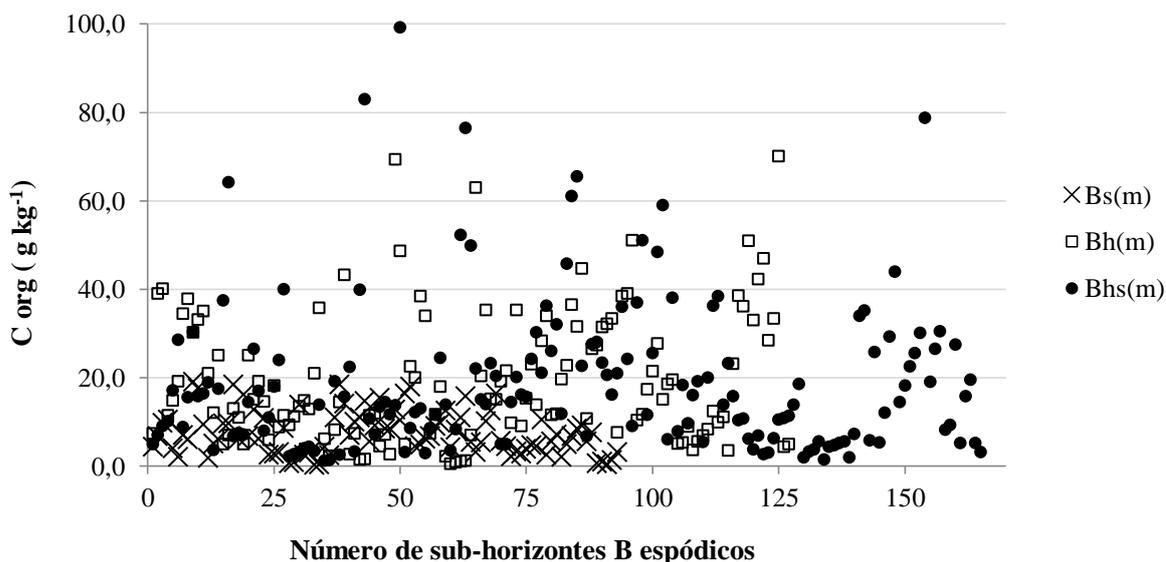


Figura 6. Dispersão dos teores de C org dos sub-horizontes para os tipos de B espódicos.

Há dois sub-horizontes de B espódico com teor de C org maior que 80,0 g kg⁻¹ (Instituto do Açúcar e do Alcool - IAA, 1983; Jacomine et al., 1977) (Figura 6), valor utilizado no SiBCS como critério quantitativo para definir material de solo de natureza orgânica. Contudo, destaca-se que ambos os horizontes não atendem o critério qualitativo que define horizontes orgânicos, isto é, não são resultantes de acumulação de resíduos vegetais em graus variáveis de decomposição e tampouco apresentam indícios de revolvimento ou morfologia de horizonte orgânico enterrado. Esses horizontes B espódicos de alto conteúdo de C org tratam-se de um Ortstein e um horizonte Bhs com profundidades iniciais de 76 cm e

100 cm a partir da superfície do solo, respectivamente. Sendo assim, embora atendam ao valor limite de carbono orgânico, esse valor não deve ser considerado isoladamente.

A média e mediana dos teores de C org também indicam os menores teores nos horizontes Bs (m) – 7,5 e 6,7 g kg⁻¹ – em relação aos demais tipos de B espódico – Bh(m): 19,8 e 15,1 g kg⁻¹; Bhs(m): 19,0 e 14,5 g kg⁻¹ (Tabela 3). Contudo, alguns horizontes descritos como Bh (m) e Bhs (m) não seguem as definições do SiBCS, de acúmulo expressivo de matéria orgânica iluvial, tendo em vista que o mínimo teor de C org nestes foi de 0,5 e 1,2 g kg⁻¹ respectivamente. Ainda mais, metade desses horizontes apresentam teores de C org similares aos horizontes Bs(m) e de até 20 g kg⁻¹. Sendo assim, a falta de valor limite de C org para os B espódicos impossibilita a distinção dentre seus tipos.

Embora se tenha uma grande amplitude dos valores de C org – 0,2 a 99,2 g kg⁻¹, 81% dos sub-horizontes avaliados apresentam teores de C org \geq 5,0 g kg⁻¹, teor de C org mínimo adotado pelo WRB para o *spodic horizon* (IUSS/FAO, 2014). Enquanto 74% dos B espódicos atenderiam o critério de 6,0 g kg⁻¹ do *Soil Taxonomy* (Soil Survey Staff, 2014). Desse modo, os baixos conteúdos nos B espódicos estão atrelados a um processo de podzolização ainda incipiente, pela saída de matéria orgânica do sistema ou em virtude da decomposição da matéria orgânica iluvial. Neste sentido, faz-se necessária a adoção de um critério quantitativo de conteúdo mínimo de material orgânico nos B espódicos a fim de distingui-los de horizontes pouco evoluídos ou em processo de degradação.

Tabela 3. Estatística descritiva dos teores de C org para os B espódico.

	Bs(m)	Bh(m)	Bhs(m)
	g kg ⁻¹		
Média	7,5	19,8	19,0
Mediana	6,7	15,1	14,5
Moda	6,1	5,0	5,0
Desvio padrão	4,9	15,0	17,1
Mínimo	0,2	0,5	1,2
Máximo	19,0	70,0	99,2
Contagem	93	127	165

As definições do SiBCS (Santos et al., 2013) atribuem aos horizontes com acúmulo de matéria orgânica iluvial – Bh(m) e Bhs(m) – cores escuras; no entanto, não é observada relação direta entre cor e teor de carbono orgânico (Figura 7). Como exemplo, um horizonte B espódico de cor com valor 2 e croma zero pode ter menos de 5 g kg⁻¹ como também mais que 30 g kg⁻¹. Neste sentido, a cor do B espódico parece refletir primordialmente a qualidade e o grau de decomposição de matéria orgânica. Conforme Zech et al. (1997) ácidos fúlvicos têm cores acastanhadas, enquanto ácidos húmicos apresentam cores escuras. Portanto, um horizonte de cor escura – valor e croma < 4, pode não ter alto conteúdo de C org, mas possuir domínio de ácidos húmicos em relação aos fúlvicos na composição da matéria orgânica. Além disso, quão mais decomposta a matéria orgânica mais clara será a matriz do solo. Assim, em ambientes de restrição a drenagem, em que a matéria orgânica é mais lentamente decomposta, as cores dos B espódico seriam predominantemente escuras.

Uma forma de avaliar o grau de decomposição da matéria orgânica de um horizonte B espódico é através da relação EA/HUM, em que EA expressa o conjunto das frações do extrato alcalino (somatório das frações dos ácidos húmicos e fúlvicos) e HUM o resíduo obtido no fracionamento químico da matéria orgânica, sendo a técnica da Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas mundialmente empregada para o fracionamento por meio da solubilidade diferencial (Swift, 1996). De acordo com Fontana et al. (2010), que

realizou o fracionamento por solubilidade diferencial a partir das adaptações propostas por Benites et al. (2003a), os B espódico se diferenciam dos demais horizontes diagnósticos por apresentar EA/HUM > 2,0, sendo este um critério que auxiliaria na identificação desses horizontes. Quanto a diferenciação dos B espódico pela cor, Pereira et al. (2015) propuseram a adoção do índice de pirofosfato (IP) ≥ 5 para identificação dos horizontes Bs (m) em relação aos demais tipos de B espódico. Neste sentido, quanto maior o IP, as cores castanhas e claras serão dominantes e menor seria o grau de humificação da matéria orgânica no B espódico.

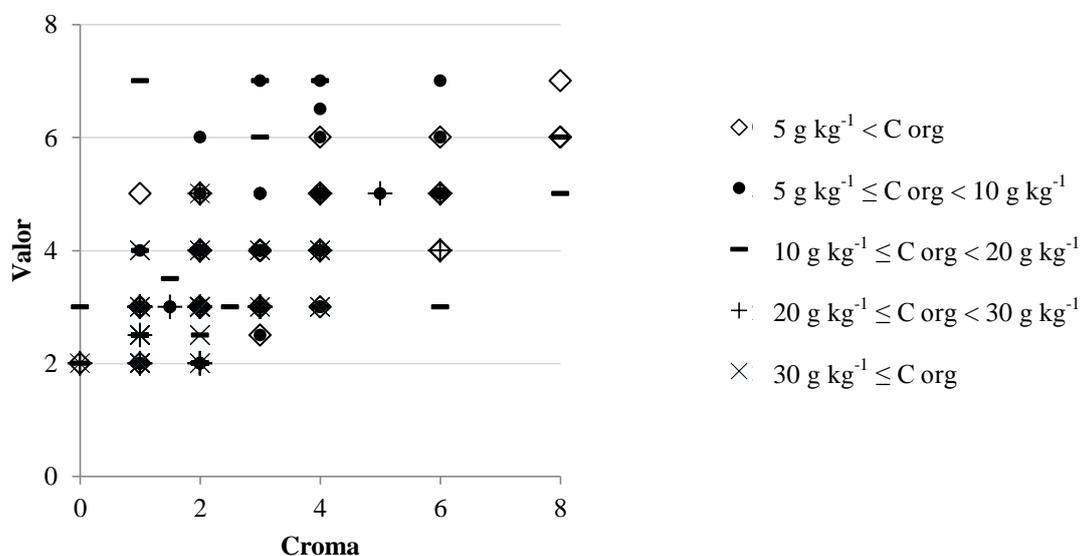


Figura 7. Distribuição das cores dos horizontes B espódicos em função do teor de C org.

b) pH em água

O pH em água dos horizontes B espódicos é notadamente ácido, de modo que a média e a mediana variaram entre 4,4 e 4,9 nos seus diferentes tipos (Tabela 4). Tal fato evidencia a natureza ácida de seu material de origem e a vegetação associada, propiciando condições do meio necessárias para a ocorrência do processo pedogenético de podzolização.

Tabela 4. Estatística descritiva do pH em água dos B espódicos.

	Bs(m)	Bh(m)	Bhs(m)
Média	4,9	4,6	4,7
Mediana	4,9	4,4	4,7
Moda	5,0	4,2	4,8
Desvio padrão	0,6	1,1	0,9
Mínimo	3,1	3,6	2,4
Máximo	6,9	9,7	7,5
Contagem	93	127	165

Embora a amplitude de pH em água dos B espódicos seja grande, de 2,4 a 9,7, apenas 23 sub-horizontes (6% do acervo de dados) têm pH acima de 6,0 (Figura 8). Além disso, somente 6 sub-horizontes do total que apresenta elevado valor de pH (23 sub-horizontes) têm teores de C org maior ou igual a 5,0 g kg⁻¹. Neste sentido, o pH pode ser inserido no SiBCS como um critério diagnóstico para os horizontes B espódicos, assim evitando a classificação de solos de natureza distinta daquelas apontadas como essenciais para a formação dos Espodossolos nos sistemas internacionais.

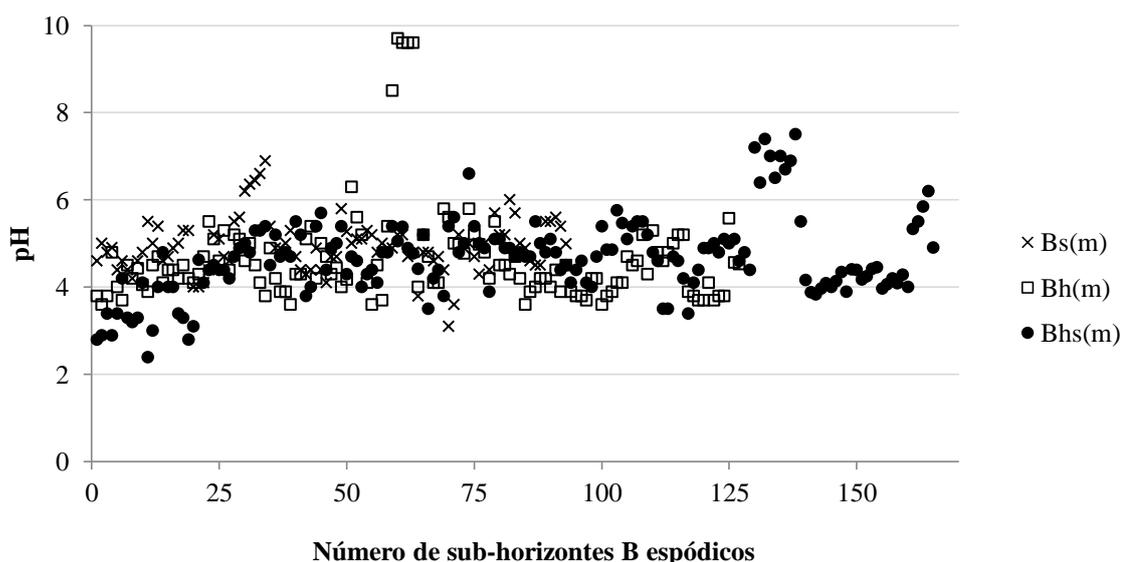


Figura 8. Dispersão dos valores de pH em água dos B espódicos.

c) Complexo sortivo

De maneira geral, os B espódicos possuem baixa reserva de nutrientes – Ca^{2+} e Mg^{2+} – em função do material de origem arenoso que facilita a perda de bases trocáveis por lixiviação. Na fração areia, o mineral predominante é o quartzo, pela elevada resistência ao intemperismo (Meurer, 2015). Os argilo-minerais, as substâncias húmicas e os óxidos de ferro e alumínio são os principais colóides responsáveis pela capacidade de troca e reações diversas nos solos sob condições tropicais (Roquim, 2010). E, como visto anteriormente, os teores de argila são baixos nesses solos, comumente inferiores a 200 g kg^{-1} , sendo pequena a contribuição mineral na capacidade de troca catiônica desses horizontes. Por outro lado, altos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} favorecem a atividade microbiana e a via da decomposição da matéria orgânica é tomada, ao contrário da via de humificação necessária para a gênese do B espódico. As médias e medianas dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} estão entre $0,20$ e $0,56 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e $0,10$ a $0,37 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ respectivamente (Tabela 5).

Além disso, altos teores de cátions de elevado raio iônico solvatado – K^+ e Na^+ – dispersariam a matéria orgânica da superfície, que seria perdida por remoção lateral ao invés de translocar no perfil de solo. As médias e medianas de K^+ e Na^+ são $0,01$ a $0,11 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e $0,02$ a $0,18 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, sendo que a média dos teores K^+ e Na^+ dos horizontes Bh(m) e Bhs(m) estão muito acima da mediana, pela influência de poucos horizontes que têm altos teores desses íons. Neste sentido, os valores da saturação por Na^+ mostram média e mediana entre 0 e 1% , havendo somente 6 sub-horizontes com caráter sódico – $100 (\text{Na}^+/\text{T}) \geq 15\%$ – e outros 6 com caráter solódico – $6\% \leq 100 (\text{Na}^+/\text{T}) < 15\%$. Dos 12 sub-horizontes com saturação por sódio maior que 6% , apenas 2 sub-horizontes possuem C org maior que $5,0 \text{ g kg}^{-1}$, os quais possuem média de $2,9$ e mediana de $2,1 \text{ g kg}^{-1}$ de C org.

Embora existam horizontes com teores elevados de bases trocáveis, são uma minoria e em solos que possuem elevado pH e baixo acúmulo de matéria orgânica iluvial, o que divergem das premissas associadas ao processo de podzolização. Há apenas 19 registros de B espódicos com soma de bases (SB) maior ou igual a $2,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Figura 9), sendo que cerca de 68% desses sub-horizontes possuem valor de pH maior que $5,9$. Há 15 sub-horizontes B espódico que apresentam caráter eutrício, isto é, com SB maior ou igual a $2,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e pH maior ou igual a $5,7$; dentre eles somente 5 sub-horizontes possuem conteúdo de C org maior que $5,0 \text{ g kg}^{-1}$ (Figura 10). Os valores da média e mediana de C org desses sub-horizontes são de $5,6$ e $3,7 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente, muito inferiores aos valores

observados para os diferentes tipos de B espódicos (Tabela 5). Neste sentido, notadamente altas concentrações de bases trocáveis são antagonistas ao processo de iluviação da matéria orgânica e, conseqüentemente, a formação dos horizontes B espódicos.

Tabela 5. Complexo sortivo dos horizontes B espódico.

	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SB	Al ³⁺	H ⁺	T	V	M	Sat Na
	cmol _c kg ⁻¹							%			
Bs(m)											
Média	0,35	0,14	0,02	0,04	0,50	0,86	4,88	6,04	14	51	1
Mediana	0,20	0,10	0,02	0,02	0,40	0,40	4,19	5,34	7	56	0
Moda	0,20	0,10	0,01	0,01	0,30	0,20	3,60	8,10	6	0	0
Desvio padrão	0,37	0,11	0,03	0,07	0,36	1,15	3,35	3,60	18	27	1
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,62	0	0	0
Máximo	1,65	0,41	0,16	0,46	2,12	6,50	12,20	15,70	88	100	5
Contagem	30	30	52	51	88	87	52	88	88	88	88
Bh(m)											
Média	0,56	0,37	0,11	0,18	0,80	2,12	7,34	11,66	12	69	2
Mediana	0,30	0,20	0,02	0,05	0,50	1,70	6,37	9,79	5	76	0
Moda	0,20	0,10	0,01	0,01	0,80	0,00	0,00	20,30	0	0	0
Desvio padrão	0,61	0,45	0,30	0,43	1,14	1,73	5,31	7,59	23	28	6
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,90	0	0	0
Máximo	2,10	1,60	1,50	2,32	6,91	10,90	21,51	31,70	100	100	36
Contagem	40	39	71	67	117	115	70	116	116	117	116
Bhs(m)											
Média	0,48	0,27	0,02	0,11	0,70	3,11	10,19	13,50	10	69	1
Mediana	0,30	0,10	0,01	0,02	0,41	1,35	7,91	11,00	4	79	0
Moda	0,20	0,10	0,00	0,01	0,30	0,10	6,10	4,71	-	0	0
Desvio padrão	0,76	0,39	0,03	0,55	1,11	4,89	10,04	12,10	19	29	3
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,20	0,40	0	0	0
Máximo	6,10	2,30	0,21	6,30	9,12	33,40	57,20	66,67	100	99	29
Contagem	96	96	130	134	155	154	134	155	155	155	155

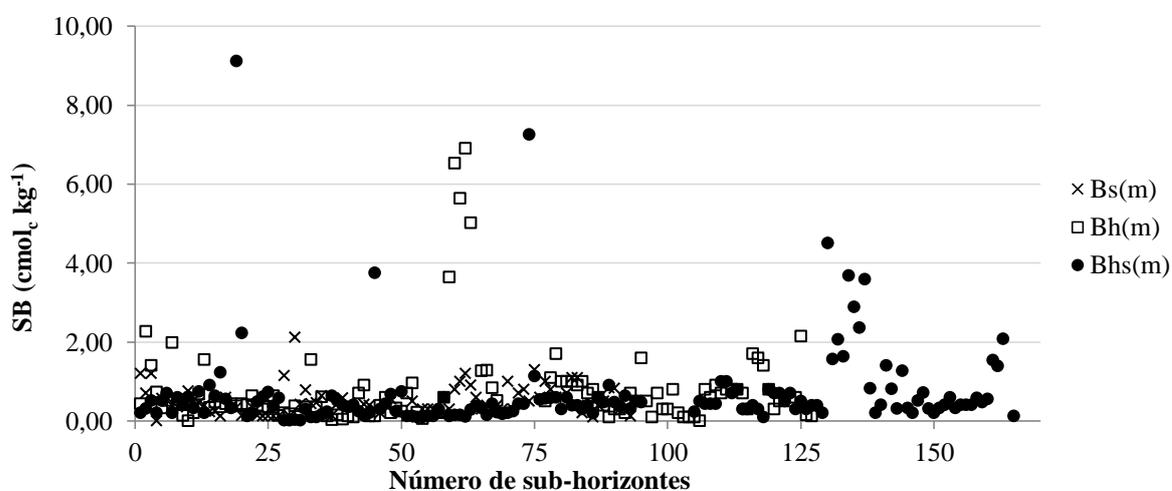


Figura 9. Dispersão dos valores de soma de bases dos horizontes B espódico.

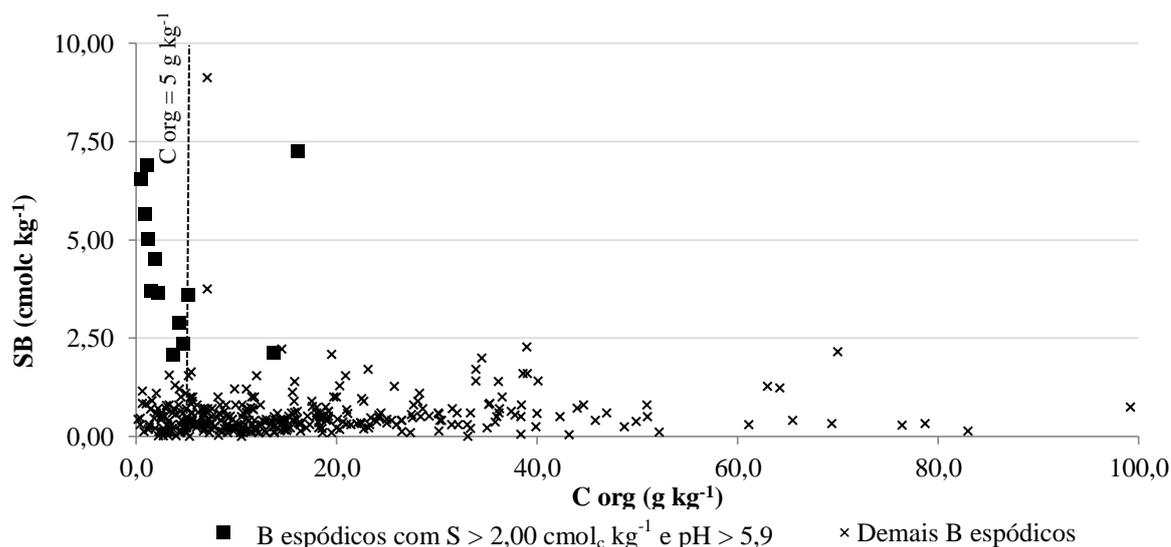


Figura 10. Dispersão dos teores de C org e soma de bases dos sub-horizontes B espódico.

Os B espódicos apresentam o predomínio de Al + H (acidez potencial) no complexo sortivo, de modo que para ambos os elementos os valores das médias e medianas ocorrem na seguinte sequência: **Bs(m) < [Bh(m) e Bhs(m)]**, conforme os teores observados de C org para esses horizontes. Os altos valores de H⁺ (médias e medianas entre 4,19 e 10,19 cmol_c kg⁻¹) nos B espódicos estão associados à presença de grupamentos funcionais da matéria orgânica iluvial como os ácidos carboxílicos e OH-fenólicos (Sposito, 2008), que conferem elevada acidez potencial a esses horizontes. Enquanto, o cátion Al³⁺ (médias e medianas entre 0,40 e 3,11 cmol_c kg⁻¹) por ser trivalente é mais fortemente adsorvido não-especificamente aos colóides em relação aos demais cátions trocáveis de menor valência.

Houve grande amplitude dos dados de Al³⁺, de modo que o valor mínimo foi 0,0 cmol_c kg⁻¹ e o máximo de 33,40 cmol_c kg⁻¹, contudo cerca de 85% dos sub-horizontes apresentam teores de Al³⁺ inferiores a 4,00 cmol_c kg⁻¹. E, no acervo de dados há 56 sub-horizontes de B espódicos com teor de alumínio extraível ≥ 4,00 cmol_c kg⁻¹. Porém o caráter alítico ou alumínico não se aplica a esses solos, uma vez que o cálculo para CTC da argila não é aplicável para as classes texturais areia e areia franca (Santos et al., 2013). Vale também destacar que 70% dos horizontes com Al³⁺ ≥ 4,00 cmol_c kg⁻¹ estão localizados em áreas de restinga da planície litorânea. Possivelmente, os elevados teores de Al³⁺ na planície litorânea sejam decorrentes da intensa destruição das argilas silicatadas pelo processo pedogenético de ferrólise (Kämpf & Curi, 2012). Ademais, destaca-se a natureza arenoquartzosa dos sedimentos fluvio-marinhos, os quais ocupam grande parte desses ambientes, e os solos formados são substancialmente arenosos, conforme será discutido no item 4.2.4. Influência dos pedoambientes na gênese dos B espódicos.

A ordenação dos valores de capacidade de troca catiônica (T) também apresentou a sequência: Bs(m) < [Bh(m) e Bhs(m)], corroborando o fato da influência da matéria orgânica sobre a quantidade de cargas negativas no solo. Assim, quanto maior o teor de C org, maior a capacidade de troca catiônica (Figura 11), com os seguintes valores de médias e medianas: Bs(m) – 6,04 e 5,34 cmol_c kg⁻¹; Bh(m) – 11,66 e 9,79 cmol_c kg⁻¹; Bhs(m) – 13,50 e 7,91 cmol_c kg⁻¹ (Tabela 5).

A saturação por bases nos horizontes B espódico é baixa, de modo que a média e mediana variam de 4 a 14%. Apenas 24 sub-horizontes apresentam saturação por bases acima de 50%, sendo que 71% destes mostram concomitantemente pH maior que 5,9 e C org menor que 5 g kg⁻¹. Desse modo, a associação de elevada saturação por bases e pH básico denota-se

como fator limitante para o acúmulo de C org.

Quanto à saturação por alumínio (m), dos sub-horizontes que apresentam as informações de Al^{3+} e $V_{\text{laor S}}$ (360 sub-horizontes), aproximadamente 76% têm valor de m maior ou igual a 50%, indicando o predomínio do Al^{3+} nos sítios de troca dos horizontes B espódico, sendo que as médias e medianas de saturação por Al^{3+} variaram de 51 a 79% (Tabela 5).

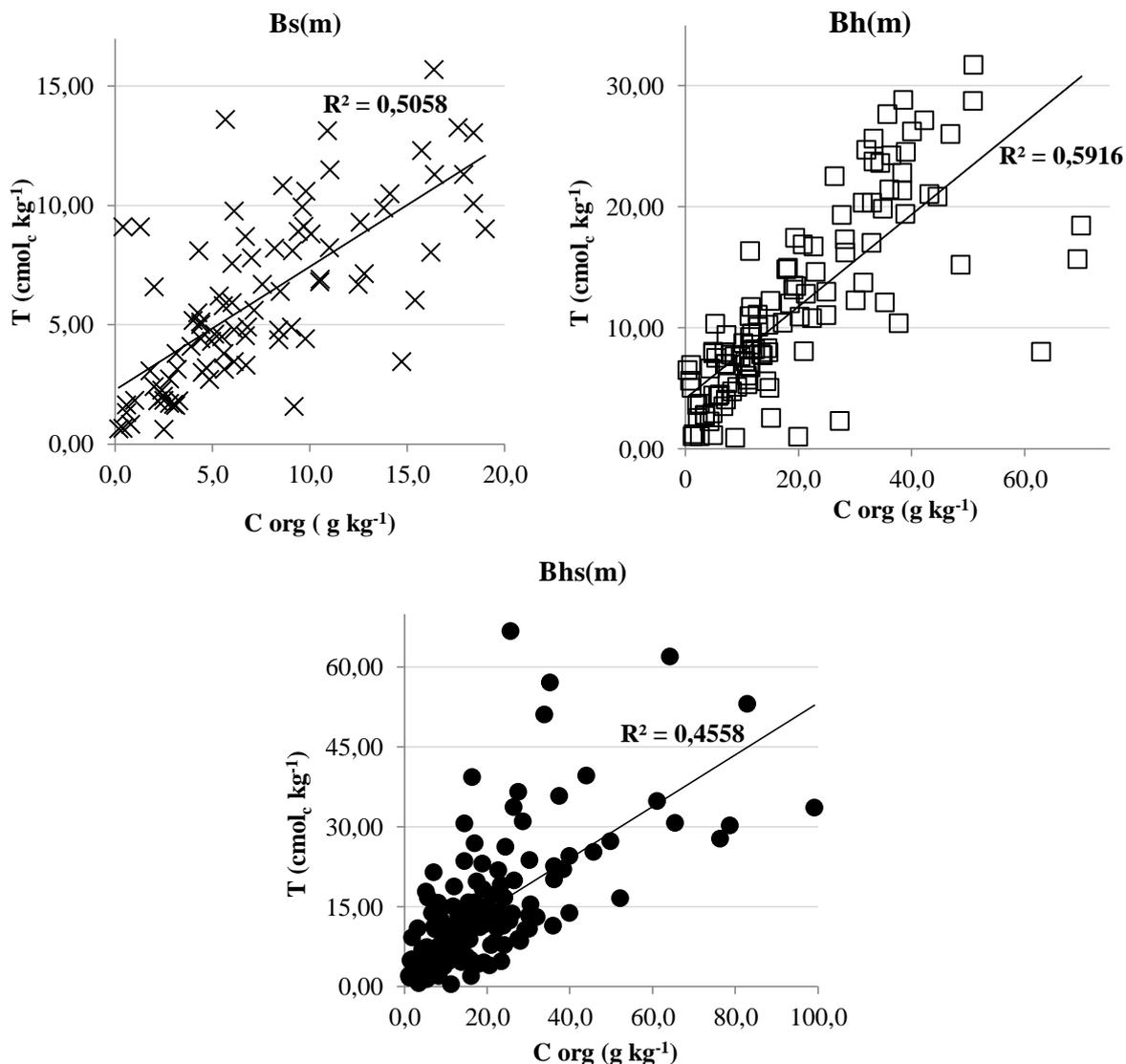


Figura 11. Relação entre a capacidade de troca catiônica e o teor de C org nos horizontes B espódicos.

d) Influência dos tipos de horizontes superficiais no componente iluviado

Há registros de perfis com horizontes superficiais H hístico (5 perfis), A húmico (5 perfis), A proeminente (1 perfil), A moderado (137 perfis) e A fraco (6 perfis). Possivelmente a falta de indicações de B espódico subjacentes a horizontes superficiais A chernozêmico é reflexo do antagonismo das condições necessárias para formação desses dois horizontes diagnósticos. Os altos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} em superfície, característica diagnóstica para o horizonte A chernozêmico (Santos et al, 2013), além de fornecer nutrientes para a atividade microbiana e a via da decomposição da matéria orgânica, são favoráveis a precipitação dos complexos organometálicos formados ainda em superfície (Kämpf & Curi, 2012). Desse

modo, em superfície os altos teores de bases trocáveis dificultam a formação e translocação dos quelatos no perfil de solo e, conseqüentemente, a formação do horizonte B espódico.

De modo geral, os horizontes B espódico têm maiores teores de todos os componentes iluviados – C org, Fed, Feo e Alo – em relação aos horizontes subjacentes, com exceção do teor de C org daqueles horizontes subjacentes ao Hístico (Tabela 6), como pode ser observado na variação das médias destes em profundidade (Figura 12). Tal fato indica que independentemente da quantidade de matéria orgânica dos horizontes superficiais, isto é, se o horizonte superficial é A fraco ou A húmico, as condições dos fatores de formação – clima úmido, material de origem de elevada permeabilidade e vegetação de caráter ácido – são favoráveis para a transformação da matéria orgânica em substâncias recalitrantes, translocação e acúmulo em subsuperfície. Associados a matéria orgânica iluviada estão os óxidos de Fe e Al, formando complexos organometálicos que precipitam quando os sítios de ligação polar são completamente preenchidos (Lundström et al., 2000; Riise et al., 2000; Kämpf & Curi, 2012).

O acúmulo de C org no B espódico possui influência direta do tipo de horizonte superficial subjacente, sendo os horizontes B espódico subjacentes ao Hístico aqueles com menores valores de média e mediana de C org em relação aos demais, respectivamente de 10,9 e 7,1 g kg⁻¹ (Tabela 6). Embora se tenha maior quantidade de C org em superfície nos Espodossolos com Hístico, o ambiente hidromórfico que atua como fator para a formação do horizonte orgânico dificulta a transformação da matéria orgânica, bem como a sua translocação e acúmulo em subsuperfície na forma de compostos orgânicos iluviados. Por outro lado, as maiores médias e medianas (respectivamente 37,0 e 34,0 g kg⁻¹) dos teores de C org nos B espódicos são referentes aos perfis com horizontes superficiais minerais de elevado conteúdo de C org – A húmico e A proeminente – e em ambientes sem restrição a drenagem. Assim, sob condições de drenagem livre, quanto maior o aporte de matéria orgânica em superfície disponível para ser transformada em substâncias húmicas, maior vem a ser a iluviação destas para o B espódico.

Os valores de média e mediana dos teores de C org nos horizontes B espódico subjacentes aos horizontes A fraco (15,7 g kg⁻¹ e 10,7 g kg⁻¹, respectivamente) são muito maiores que do horizonte superficial (média de 3,6 g kg⁻¹ e mediana de 3,7 g kg⁻¹). Apesar do horizonte A fraco ter menor aporte de matéria orgânica em superfície, o acúmulo de C org no horizonte B ao longo do tempo é decorrente da recalitrância das substâncias húmicas e do seu elevado período de permanência no solo. Por ventura, os teores de C org dos B espódicos subjacentes aos horizontes A fraco são similares àqueles subjacentes ao horizonte A moderado (média de 16,1 g kg⁻¹ e mediana de 11,7 g kg⁻¹).

Para a extração dos elementos Fe e Al por oxalato ácido de amônio (Feo e Alo) e por ditionito-citrato-bicarbonato (Fed), há poucos dados na literatura, não sendo possível estabelecer uma comparação da influência dos tipos de horizontes superficiais com relação a esses componentes iluviados. Contudo, considerando os dados obtidos para os Espodossolos com B espódico subjacentes ao A moderado, às médias e medianas para as duas formas de extração indicam a maior iluviação do Al (média de 4,35 g kg⁻¹ e mediana de 1,89 g kg⁻¹) em relação ao Fe (Fed – média de 2,37 g kg⁻¹ e mediana de 0,36 g kg⁻¹, Feo – média de 1,04 g kg⁻¹ e mediana 0,10 g kg⁻¹) (Tabela 6).

Tabela 6. Estatística descritiva dos teores de C org e óxidos de Fe e Al (g kg^{-1}) ao longo dos perfis de Espodosolos em função dos tipos de horizontes superficiais.

	C org	Fed	Feo	Alo	C org	Fed	Feo	Alo	C org	Fed	Feo	Alo	C org	Fed	Feo	Alo
	A moderado				Hístico				A fraco				A húmico e A proeminente			
Média	16,6	2,02	0,77	0,52	205,2	1,38	0,72	0,53	3,6	0,08	-	-	31,0	0,40	0,25	0,35
Mediana	11,4	0,25	0,06	0,07	199,9	0,80	0,50	0,45	3,7	0,10	-	-	32,5	-	-	-
Moda	7,4	0,10	0,00	0,00	-	-	0,50	0,40	3,9	-	-	-	-	-	-	-
Desvio padrão	16,1	7,46	2,82	1,30	75,6	1,88	0,90	0,19	1,4	0,06	-	-	15,0	-	-	-
Mínimo	1,2	0,00	0,00	0,00	110,5	0,20	0,10	0,40	1,3	0,00	-	-	10,3	-	-	-
Máximo	76,8	61,90	19,60	7,60	319,0	4,70	2,30	0,80	5,7	0,14	-	-	56,4	-	-	-
Contagem	209	95	93	85	10	5	5	4	10	4	-	-	8	1	1	1
	E				E				E				E			
Média	2,8	0,20	0,05	0,19	7,4	0,40	0,15	0,27	1,0	0,00	0,00	0,00	2,1	0,05	0,02	0,03
Mediana	1,9	0,02	0,00	0,00	4,7	0,10	0,10	0,20	0,9	0,00	0,00	0,00	2,1	0,05	0,02	0,03
Moda	1,0	0,00	0,00	0,00	-	0,10	0,10	-	0,4	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-
Desvio padrão	3,0	0,45	0,13	0,90	9,5	0,60	0,10	0,21	0,6	0,00	0,00	0,00	1,7	-	-	-
Mínimo	0,0	0,00	0,00	0,00	0,4	0,10	0,10	0,10	0,4	0,00	0,00	0,00	0,2	0,05	0,02	0,03
Máximo	16,3	2,60	0,92	7,81	28,4	1,30	0,30	0,50	2,4	0,00	0,00	0,00	4,3	0,05	0,02	0,03
Contagem	202	89	88	84	7	4	4	3	10	3	3	3	6	1	1	1
	B espódico				B espódico				B espódico				B espódico			
Média	16,1	2,37	1,04	4,35	10,9	2,90	0,94	1,02	15,7	2,75	2,52	-	37	0,09	0,05	0,07
Mediana	11,7	0,36	0,10	1,89	7,1	1,00	0,60	0,90	10,7	1,42	1,42	-	34	-	-	-
Moda	5,0	0,00	0,00	0,60	8,8	-	-	0,90	-	0,00	0,00	-	14	-	-	-
Desvio padrão	14,5	7,54	3,13	7,30	10,5	3,89	0,99	0,28	15,0	3,17	2,91	-	26	-	-	-
Mínimo	0,4	0,00	0,00	0,20	1,9	0,10	0,10	0,70	1,2	0,00	0,00	-	3	-	-	-
Máximo	99,2	74,70	29,00	48,20	33,9	11,70	3,10	1,40	51,0	8,70	7,89	-	83	-	-	-
Contagem	345	188	186	167	12	9	9	5	18	12	12	-	10	1	1	1

Apesar do SiBCS definir o horizonte B espódico pelo acúmulo de óxidos de Al podendo ou não ter Fe nos horizontes B espódicos, a carência de dados de extração desses óxidos é fator limitante para proposição de valores limites a serem adotados para diagnóstico. A saber, somente 55%, 54% e 45% do total de horizontes B espódico apresentam dados de Fed, Feo e Alo, respectivamente. Além disso, para avaliar o acúmulo de óxidos de Fe e Al em subsuperfície é necessária a realização dessas análises em todo o perfil de solo e não somente no B espódico. Nesse caso, os percentuais de B espódico que têm dados de extração de óxidos pedogenéticos no horizonte superficial caem para 44%, 42% e 38% para Fed, Feo e Alo, respectivamente.

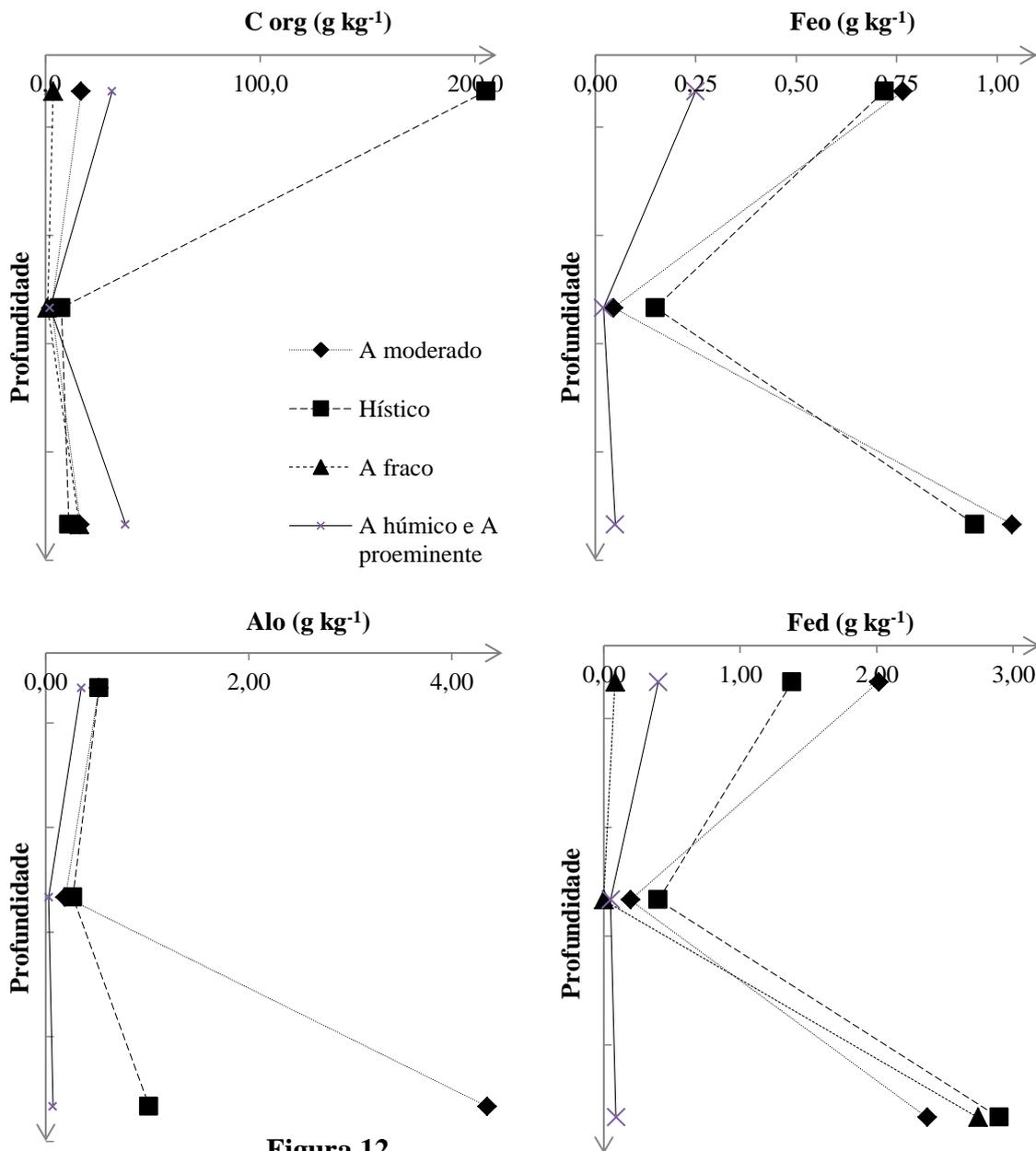


Figura 12.

Distribuição das médias dos teores de C org, Fed, Feo e Alo em profundidade dos Espodossolos com diferentes tipos de horizontes superficiais.

Assim, a falta de critérios quantitativos no horizonte B espódico para o acúmulo de

óxidos de ferro (Bs e Bhs) impossibilita uma classificação coerente quanto a esta definição. Muitos autores se limitam a caracterizar o horizonte B espódico conforme as cores cromadas para horizontes Bs(m) e escuras para Bh(m) e Bhs(m). Deve-se destacar também a necessidade da realização da análise de óxidos pedogenéticos uma vez que esta é a única diferença prevista no SiBCS entre os horizontes B espódicos e horizontes de caráter sômbrico.

Nos horizontes B espódico com informação de extração seletiva de óxidos pedogenéticos, os valores da média e mediana de Fed (0,36 e 0,07 g kg⁻¹) e Feo (0,20 e 0,0 g kg⁻¹) dos horizontes Bh(m) são muito inferiores se comparados aos demais tipos de B espódicos (Fed – médias de 3,23 e 3,31 g kg⁻¹ e medianas de 0,67 e 0,70 g kg⁻¹; Feo – médias e 1,39 e 1,54 g kg⁻¹ e medianas de 0,20 a 0,45 g kg⁻¹). Tal fato sugere o acúmulo de Fe nos horizontes Bhs(m) e Bs(m) conforme as definições do SiBCS (Tabela 7). Contudo, o valor mínimo de Fed e Feo nos horizontes Bs(m) e Bhs(m) foi de 0,0 g kg⁻¹, indicando que há descrições de perfis em que não houve acúmulo de Fe que pudesse caracterizar esse tipo de horizonte B espódico. Para os teores de óxidos de Al, não houve distinção para os diferentes tipos de horizontes B espódico, sendo que a média variou de 3,38 a 5,11 g kg⁻¹ e a mediana de 1,27 a 2,41 g kg⁻¹ (Tabela 7).

Tabela 7. Valores da extração seletiva de Fe e Al com DCB (Fed) e oxalato (Feo e Alo) de nos diferentes tipos de horizontes B espódicos.

	Fed	Feo	Alo
	g kg ⁻¹		
Bs (m)			
Média	3,31	1,39	3,61
Mediana	0,70	0,45	2,20
Moda	0,00	0,00	0,47
Desvio padrão	7,30	2,33	5,95
Mínimo	0,00	0,00	0,20
Máximo	38,80	11,30	40,24
Contagem	53	53	47
Bh (m)			
Média	0,36	0,20	3,38
Mediana	0,07	0,00	1,27
Moda	0,00	0,00	0,89
Desvio padrão	1,21	0,54	4,47
Mínimo	0,00	0,00	0,07
Máximo	8,90	3,40	16,75
Contagem	61	60	58
Bhs (m)			
Média	3,23	1,54	5,11
Mediana	0,67	0,20	2,41
Moda	0,00	0,10	0,90
Desvio padrão	9,02	4,09	8,78
Mínimo	0,00	0,00	0,20
Máximo	74,70	29,00	48,20
Contagem	95	95	80

Vale mencionar que os perfis com horizontes Bh(m) estão concentrados na Planície Litorânea sob vegetação de restinga. Tendo em vista que o Fe é liberado a partir da alteração dos minerais ferromagnesianos em argilas silicatadas, quão mais arenoso o material de origem

espera-se que menores sejam os teores de Fe. Diante disso, possivelmente o maior número de horizontes com ausência ou baixo acúmulo de Fe no pedoambiente de restinga está associado ao material extremamente arenoso e de baixíssima participação da fração argila conforme será discutido no item 4.2.4. Influência dos pedoambientes na gênese dos B espódicos, a seguir.

4.2.4. Influência dos pedoambientes na gênese dos B espódicos

A variação das frações granulométricas entre os pedoambientes revela a influência direta do material de origem na pedogênese desses solos, a destacar a grande participação da fração areia. Observa-se pouca variação dentre os teores de areia total no B espódico, entretanto os menores valores de média e mediana ocorrem nos Tabuleiros Costeiros de 806 e 813 g kg⁻¹, e os maiores na Planície Litorânea de 882 e 919 g kg⁻¹, respectivamente (Tabela 8). Quanto ao fracionamento da areia total, houve variação entre a participação das frações areia fina e areia grossa em função do material de origem nos distintos ambientes. No Pantanal e na Planície Litorânea a maior participação foi da areia fina, enquanto na Amazônia e Tabuleiros Costeiros foi a areia grossa. Já nos Campos de Altitude foi observado um equilíbrio entre as duas frações da areia.

A fração argila apresenta baixa participação na granulometria dos B espódicos, sendo os ambientes com as maiores quantidades desta fração os Campos de Altitude (média de 109 g kg⁻¹ e mediana de 100 g kg⁻¹) e Tabuleiros Costeiros (média de 93 g kg⁻¹ e mediana de 86 g kg⁻¹) (Tabela 8). Nos Campos de Altitude, os Espodossolos são formados *in situ* sobre arenitos ou quartzitos, onde a remoção lateral da argila não é tão acentuada comparada às áreas sedimentares. Já no ambiente de Tabuleiros Costeiros a maior participação de argila é decorrente da natureza argiloarenosa dos sedimentos do Grupo Barreiras.

A ocorrência do horizonte B espódico é notadamente demarcada pelas condições ácidas do meio, de modo que os valores da média e mediana para o pH em água variam de 4,5 a 4,9, com exceção dos horizontes descritos no Pantanal, com valores de 7,2 e 6,9 respectivamente (Tabela 8). Vale mencionar que do total dos 23 sub-horizontes com pH > 5,9, estão concentrados na região do Pantanal 16 desses sub-horizontes, o que demarca a singularidade da pedogênese dos Espodossolos neste ambiente de formação.

Há 18 sub-horizontes B espódicos com pH ≤ 3,5 que foram descritos com a ocorrência de tiomorfismo – sufixo “j”, localizados na região da Ilha do Cardoso, litoral de São Paulo (Gomes, 2005). E ressalta-se que somente os Espodossolos localizados no litoral podem ter ocorrência do tiomorfismo, tendo em vista que os processos pedogenéticos de sulfidização e sulfurização é necessária a influência marinha ou fluviomarinha contendo sulfatos (Kämpf & Curi, 2012). Desta maneira, a ocorrência de tiomorfismo em horizontes B espódico é exclusiva do ambiente da planície litorânea.

Os teores de carbono orgânico (C org) apresentam grande variação entre os ambientes. Destaca-se que os solos do Pantanal possuem teores de C org muito inferiores em relação aos demais ambientes, sendo a média de 2,5 g kg⁻¹ e mediana de 1,9 g kg⁻¹. Nos demais ambientes os teores variaram de 14,3 e 4,8 g kg⁻¹ (Amazônia) para 23,6 e 18,8 g kg⁻¹ (Tabuleiros Costeiros), para média e mediana, respectivamente (Tabela 8). Os teores muito baixos de C org nos horizontes espódicos do Pantanal são indício da baixa participação da matéria orgânica na pedogênese desses solos, corroborando com o que foi visto por Schiavo et al (2012) em que nos campos inundados do Pantanal os B espódico seriam formados apenas por Fe iluviado não-complexado por matéria orgânica.

O ambiente de Tabuleiros Costeiros pode ser considerado um sistema fechado, principal razão para a manutenção do elevado conteúdo de matéria orgânica. Tendo em vista que os Espodossolos estão localmente localizados em áreas abaciadas e sobre horizontes cimentados como o Oststein e Duripã ou ainda horizontes com petroplintita, são reduzidas as

perdas por lixiviação e não há remoção lateral da matéria orgânica. Adicionalmente, considerando o maior conteúdo de argila deste ambiente, é possível que a preservação da matéria orgânica também tenha influência da proteção química através de ligações com os colóides inorgânicos, como também pela proteção física no interior de agregados, limitando a oxidação do carbono. Já na Amazônia, os Espodosolos comumente ocorrem em áreas de influência fluvial ou antigos depósitos eólicos, em que, pela ação do lençol freático, a matéria orgânica pode ser facilmente perdida lateralmente. Por outro lado, o clima equatorial deste ambiente propicia a intensa mineralização e ciclagem da matéria orgânica ainda em superfície, devido à combinação de altas temperaturas e umidade, o que limita a transformação da matéria orgânica e translocação da mesma para o horizonte B espódico.

A baixa reserva de nutrientes dos horizontes B espódicos é reflexo da natureza arenosa, de modo que os valores de média e mediana da soma de bases não ultrapassam $0,64 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, com exceção dos B espódicos do Pantanal que tem média e a mediana de $2,59 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e $2,06 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, respectivamente (Tabela 8). Embora não se recomende usar a saturação por bases como critério diagnóstico em solos de textura arenosa (Santos et al., 2013), o cálculo do V% mostra que 70% dos horizontes B espódicos do Pantanal possuem valores de V% maiores ou iguais a 50, enquanto as médias e medianas do V% nos demais ambientes variaram de 2 a 14. Considerando a distinção dos Espodosolos do Pantanal, embora se tenha a morfologia semelhante com relação aos outros ambientes, por apresentar atributos como elevado pH, alta soma de bases, V% maior ou igual a 50 e baixos teores de C org no horizonte B espódico, possivelmente não tenham a mesma gênese dos demais. Sendo assim, a falta de valores limites para os atributos diagnósticos dos horizontes espódicos no SiBCS permite a classificação indevida de solos cujo processo pedogenético é distinto do conceituado como podzolização como Espodosolos.

Embora sejam poucos os dados obtidos de óxidos pedogenéticos, observa-se que a média e mediana para a iluviação de Fe e Al no ambiente de Campos de Altitude é muito superior em relação aos demais ambientes (Tabela 8). Possivelmente a elevada iluviação dos complexos organometálicos neste ambiente está associada às maiores quantidades de Al e Fe liberadas diretamente das rochas em que esses solos estão associados. Em outros ambientes, os Espodosolos são formados sobre sedimentos arenosos e porventura no processo de intemperismo e deposição desses sedimentos, os cátions metálicos são perdidos pela ação da água percolante. Nos B espódicos do ambiente de Campos de Altitude, as médias e medianas da extração de óxidos de Fe e Al são respectivamente: Fed – $26,7 \text{ g kg}^{-1}$ e $22,1 \text{ g kg}^{-1}$; Feo – $11,7 \text{ g kg}^{-1}$ e $8,4 \text{ g kg}^{-1}$; Alo – $19,2 \text{ g kg}^{-1}$ e $10,6 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabela 8).

Nos ambientes sedimentares, a iluviação de óxidos de Fe e Al é pouco expressiva, no entanto, os B espódicos do Pantanal e dos Tabuleiros Costeiros destacam-se por apresentar respectivamente maiores de teores de Fe e de Al em relação às outras áreas sedimentares. No Pantanal, os B espódicos têm média e mediana respectivamente de extração de óxidos de Fe: Fed – $8,8 \text{ g kg}^{-1}$ e $6,4 \text{ g kg}^{-1}$ e Feo – $1,4 \text{ g kg}^{-1}$ e $0,9 \text{ g kg}^{-1}$; enquanto nos outros ambientes as médias e medianas variam de Fed – $0,2$ a $1,5 \text{ g kg}^{-1}$ e Feo – $0,0$ a $1,1 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabela 8). Nos Tabuleiros Costeiros, a médias e mediana para extração de óxidos de Al são respectivamente de $15,0 \text{ g kg}^{-1}$ e $12,3 \text{ g kg}^{-1}$, enquanto nos outros ambientes variam de $1,4 \text{ g kg}^{-1}$ a $2,7 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabela 8).

Os Espodosolos do Pantanal são formados sobre sedimentos originados dos arenitos da formação Aquidauana, a qual apresenta comumente feições ferruginosas (Schiavo et al., 2010). Assim, todo o Fe liberado pelo material de origem é carregado para as partes baixas da paisagem e por ser uma planície de inundação, não há perda lateral de Fe^{2+} no período chuvoso. Em função disso, os B espódicos nesse ambiente apresentam alto conteúdo de óxidos de Fe comparativamente há outros ambientes sedimentares. Já os sedimentos do Grupo Barreiras passaram por intenso processo de alteração antes de seu desmonte e aporte,

resultando num material de mineralogia caulínica e quartzosa (UFV, 1984). Desta maneira, o alto conteúdo de Al nesses sedimentos argiloarenosos é resultante da liberação desse cátion das bordas dos minerais com o avanço do intemperismo, justificando a maior participação deste metal no componente iluviado dos B espódicos dos Tabuleiros Costeiros.

Tabela 8. Atributos físicos e químicos dos B espódicos por pedoambientes.

	Areia grossa	Areia fina	Areia total	Silte	Argila	pH	SB	Al ³⁺	V	C org	Fed	Feo	Alo
	g kg ⁻¹			cmolc kg ⁻¹					%	g kg ⁻¹			
Tabuleiros Costeiros													
Média	565	239	806	101	93	4,9	0,64	0,88	4	23,6	1,5	1,1	15,0
Mediana	569	253	813	89	86	4,9	0,44	0,40	2	18,8	0,2	0,3	12,3
Moda	650	140	850	30	90	4,7	0,40	0,40	1	15,6	0,3	0,0	-
D.P.	106	63	82	68	50	0,6	1,03	1,50	8	16,4	3,9	2,3	13,8
Mínimo	310	84	480	0	20	3,8	0,13	0,00	0	5,2	0,0	0,0	0,5
Máximo	860	380	944	250	360	6,6	7,25	9,30	53	83,0	16,0	9,3	48,2
Contagem	59	59	66	66	66	66	46	46	56	66	17	17	17
Amazônia													
Média	560	316	873	76	51	4,8	0,38	1,03	14	14,3	0,7	0,2	1,5
Mediana	570	308	910	50	32	4,7	0,18	0,40	6	4,8	0,2	0,2	1,4
Moda	230	150	950	20	20	4,7	0,12	0,00	0	2,0	0,2	0,2	2,8
D.P.	213	172	102	81	56	0,6	0,93	1,44	21	29,9	1,1	0,2	1,1
Mínimo	20	0	400	0	0	3,5	0,00	0,00	0	0,2	0,1	0,1	0,3
Máximo	980	760	990	570	335	6,2	9,60	7,70	100	253,9	3,2	0,6	2,8
Contagem	127	127	132	132	132	134	134	132	133	134	9	9	7
Campos de Altitude													
Média	411	395	806	85	109	4,6	0,30	1,82	12	18,9	26,7	11,7	19,2
Mediana	410	290	840	80	100	4,6	0,30	1,60	3	10,9	22,1	8,4	10,6
Moda	50	90	860	80	120	5,1	0,12	1,60	-	7,0	-	-	-
D.P.	272	296	116	55	71	0,6	0,24	1,55	22	20,1	21,1	9,2	17,5
Mínimo	40	50	470	0	30	3,6	0,03	0,00	0	0,8	8,9	3,4	2,9
Máximo	910	850	960	220	310	5,6	0,91	5,10	75	76,4	74,7	29,0	40,4
Contagem	23	23	23	23	23	23	18	18	18	23	8	8	5
Pantanal													
Média	209	654	863	70	67	7,2	2,59	0,10	61	2,5	8,8	1,4	-
Mediana	166	680	854	72	62	6,9	2,06	0,10	68	1,9	6,4	0,9	-
Moda	167	650	840	121	60	9,6	0,82	0,10	100	0,4	0,9	0,4	-
D.P.	122	137	43	33	26	1,5	2,15	0,09	34	1,9	10,1	1,3	-
Mínimo	119	254	793	7	22	5,4	0,20	0,00	2	0,4	0,9	0,4	-
Máximo	585	808	950	121	110	9,7	6,91	0,30	100	5,5	38,8	4,5	-
Contagem	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	15	14	-
Planície Litorânea													
Média	265	634	882	70	47	4,5	0,64	2,92	9	16,3	0,8	0,6	2,7
Mediana	92	814	919	46	30	4,5	0,50	1,55	5	11,1	0,3	0,0	1,7
Moda	2	40	940	10	20	4,8	0,30	0,70	2	7,0	0,0	0,0	0,9
D.P.	306	332	101	77	50	0,7	0,74	4,18	13	14,9	1,3	1,3	2,7
Mínimo	0	10	513	0	9	2,4	0,00	0,00	0	1,3	0,0	0,0	0,1
Máximo	960	984	988	416	320	6,5	9,12	33,40	100	99,2	8,7	7,9	16,3
Contagem	173	173	220	220	220	226	226	222	225	226	160	160	156

D.P. – Desvio padrão.

Outra condição ambiental que tem sido apontada como fator de distinção nos atributos dos B espódicos é o hidromorfismo, com o pressuposto de que em ambientes hidromórficos a translocação é dificultada pela saturação do solo com água, assim a pedogênese nesses ambientes seria diferenciada de solos com melhor drenagem. Há 19 perfis de Espodossolos identificados pelos autores como hidromórficos e 135 como não-hidromórficos (Hidro-hiperespessos, Hiperespessos e Órticos); totalizando 46 horizontes B espódico sob essa condição e 339 horizontes B espódico não-hidromórficos (Tabela 9).

A saturação com água em um ou mais horizontes dentro de 100 cm da superfície do solo durante algum tempo na maioria dos anos é uma condição necessária para a classificação dos Espodossolos como hidromórficos no nível de Grande Grupo (Santos et al., 2013).

Dentre as diferenças observadas nos perfis em cada grupo de Espodossolos, os valores da média e mediana da profundidade inicial dos horizontes B espódicos são inferiores nos hidromórficos (média de 75 cm e mediana de 60 cm) em relação aos não-hidromórficos (média de 86 cm e mediana de 80 cm) (Tabela 9). Ainda, a profundidade inicial máxima dos sub-horizontes B espódico na condição de hidromorfismo é de 155 cm, enquanto nos não-hidromórficos é de 400 cm. A menor profundidade inicial dos B espódico sobre hidromorfismo pode ser dada pela presença do lençol freático próximo a superfície ou pela restrição a drenagem, podendo ser causada por ocorrência de Duripã ou Ortstein. Vale mencionar que somente foram descritos 4 perfis de Espodossolos com horizonte B espódico iniciando abaixo de 200 cm de profundidade.

Quanto aos atributos químicos não se observa variação nos atributos que possa ser atribuída a condição de hidromorfismo, sendo os seguintes valores observados (Tabela 9): (i) pH (água) de 4,6 e 4,7, de média e mediana respectivamente; (ii) soma de bases, média entre 0,61 e 0,70 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ e mediana entre 0,40 e 0,44 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$; (iii) capacidade de troca catiônica, média entre 11,07 e 11,14 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ e mediana entre 8,29 e 8,91 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$; (iv) carbono orgânico, média entre 15,5 e 16,6 g kg^{-1} e mediana entre 9,1 e 12,0 g kg^{-1} .

Tabela 9. Profundidade inicial e atributos químicos de B espódicos em ambiente identificado como hidromórfico e não-hidromórfico.

	Profundidade inicial do B espódico	pH	SB	T	C org
	cm	(água)	$-\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}-$		g kg^{-1}
Hidromórficos					
Média	75	4,6	0,61	11,14	15,5
Mediana	60	4,7	0,40	8,91	9,1
Moda	60	4,7	0,30	13,46	8,8
Desvio padrão	42	1,0	0,75	8,28	19,0
Mínimo	18	3,1	0,00	1,59	0,6
Máximo	155	7,4	4,50	34,80	99,2
Contagem	19	46	46	45	46
Não-hidromórficos					
Média	86	4,7	0,70	11,07	16,6
Mediana	80	4,7	0,44	8,29	12,0
Moda	120	4,4	0,30	8,10	7,0
Desvio padrão	52	0,9	1,03	9,86	14,6
Mínimo	11	2,4	0,00	0,40	0,2
Máximo	400	9,7	9,12	66,67	83,0
Contagem	135	339	314	314	339

4.3. Panorama da Atual Classificação dos Espodossolos Conforme o SiBCS

De 154 perfis de Espodossolos reclassificados conforme o SiBCS (Santos et al., 2013), no nível de sub-ordem há 66 perfis classificados como Humilúvicos – solo com a presença do horizonte Bh(m) isoladamente ou sobreposto aos demais tipos de horizontes, 19 Ferrilúvicos – solo com a presença do horizonte Bs(m) isoladamente ou sobreposto aos demais tipos de horizontes – e 69 Ferri-humilúvicos (Tabela 10). No entanto, os Espodossolos Humilúvicos e Ferri-Humilúvicos têm a reclassificação comprometida por não haver diferenças na morfologia dos horizontes Bh(m) e Bhs(m) e ainda critérios quantitativos que possam distinguir estas duas classes, como os valores limites de C org e de extração de Fe.

Embora os perfis de Espodossolos Ferrilúvicos facilmente sejam distinguidos dos demais por apresentar o B espódico de cor cromada (valor e croma ≥ 4), são poucos os trabalhos realizados no Brasil com informações de óxidos pedogenéticos para o estabelecimento de valores limites de Fe como visto anteriormente no item 4.2.3.d) Influência do horizonte superficial no componente iluviado. Além da classificação quanto ao tipo do horizonte B espódico ser limitada apenas pela cor cromada dos horizontes Bs(m) em relação aos demais, outra consequência da falta de critérios quanto ao conteúdo mínimo de Fe é a existência na literatura de perfis com identificação de horizontes Bs(m) e Bhs(m) sem acúmulo de Fe, o que está em desacordo com suas respectivas definições no SiBCS (Santos et al., 2013).

A seção de controle da classe dos Espodossolos pode chegar a 400 cm da superfície do solo, quando a soma das espessuras dos horizontes A/Hístico e E forem superior a 150 cm, e neste caso há duas classes em nível de grande grupo: Hidro-hiperespessos e Hiperespessos. Considerando que somente 3% dos perfis levantados apresentaram o B espódico abaixo de 200 cm, ao passo que 85% dos perfis são classificados como Órticos e 12% como Hidromórficos, as classes dos Hidro-Hiperespessos e Hiperespessos contemplam uma minoria de solos (Tabela 10). Adicionalmente, a atual classificação no terceiro nível categórico não parece ser adequada, pois não está sendo capaz de estratificá-los em outros Grande Grupos, tendo em vista que uma grande parcela (85 %) está sendo identificada como Órticos.

Nos sub-grupos, os perfis de Espodossolos separam-se da seguinte forma: 43 – espessarênicos; 65 – arênicos; 13 – dúricos; 1 – fragipânico; 6 – organossólicos e 26 – típicos (Tabela 10). Vale mencionar que um (01) perfil classificado como espessarênico e 10 arênicos também apresentam caráter dúrico dentro de 100 cm da superfície e dois (02) perfis classificados como arênicos também poderiam ser classificados como fragipânicos. Vale mencionar que no quarto nível categórico do SiBCS existe uma incoerência com relação a classe dos Espodossolos Ferri-Humilúvicos Órticos carbonáticos, pois não há perfis descritos na literatura com tal caráter. Desta maneira, não se justifica a manutenção desse sub-grupo em revisões futuras do SiBCS, enquanto certas características frequentes nos Espodossolos tais como o tiomorfismo, que há em 9 perfis descritos na literatura, não são contempladas na chave de classificação.

Para a classe dos Espodossolos Ferri-Humilúvicos Órticos há também as classificações em nível de sub-grupo como arênicos êutricos e êutricos. Nesses dois sub-grupos o caráter êutrico, isto é, soma de bases $\geq 2,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ conjugada com pH em água $\geq 5,7$, deve ocorrer na maior parte dos horizontes em até 100 cm da superfície do solo (Santos et al., 2013). Contudo, somente 2 perfis de Espodossolos foram descritos na literatura que atendem os critérios para essa classificação (Lumbreras et al., 2001; Schiavo et al., 2012), sendo esse um caráter de baixa ocorrência e discordante do conceito da gênese dos Espodossolos.

Tabela 10. Distribuição dos perfis de Espodosolos conforme a sua classificação no SiBCS (Santos et al., 2013) até o quarto nível categórico.

ESPODOSSOLOS (154)	Sub-ordem	N. perfis	Grande grupo	N. perfis	Sub-grupo	N. perfis
	HUMILÚVICOS	66	Hidro-Hiperespessos	1	dúricos	0
					organossólicos	0
					típicos	1
			Hidromórficos	7	espessarênicos	2
					arênicos	2
					dúricos	0
					organossólicos	1
			Hiperespessos	1	típicos	2
					típicos	1
			Órticos	57	espessarênicos	14
					arênicos	31
					dúricos	5
					fragipânicos	0
					típicos	7
					típicos	1
			FERRILÚVICOS	19	Hidro-hiperespessos	0
	organossólicos	0				
	típicos	0				
	Hidromórficos	3			espessarênicos	0
					arênicos	1
					dúricos	1
					organossólicos	1
	Hiperespessos	0			típicos	0
					típicos	0
	Órticos	16			espessarênicos	7
					arênicos	6
					dúricos	0
			fragipânicos	0		
			típicos	3		
	FERRI-HUMILÚVICOS	69	Hidro-hiperespessos	1	dúricos	0
					organossólicos	0
					típicos	1
			Hidromórficos	9	espessarênicos	3
					arênicos	0
					dúricos	2
					organossólicos	4
			Hiperespessos	1	típicos	0
					típicos	1
			Órticos	58	espessarênicos	17
					arênicos	24
					arênicos eutricos	1
					eutricos	1
					carbonáticos	0
					dúricos	5
					fragipânicos	1
	típicos	10				

4.4. Proposta de Definição para os Horizontes B Espódicos

Considerando as características centrais observadas para os B espódicos no item 4.2. Atributos dos Horizontes B Espódicos, é proposta a inclusão dos seguintes critérios para definição dos horizontes B espódicos: (i) teor de C org mínimo de $5,0 \text{ g kg}^{-1}$, e (ii) valor de pH em água menor ou igual a 5,9. Desta maneira, horizontes identificados como B, pelo desenvolvimento de cor ou estrutura com agregação, mas com acúmulo de C org inferior a $5,0 \text{ g kg}^{-1}$ seriam classificados como B incipiente; já aqueles com menor grau desenvolvimento seriam identificados como C ou seja, sem horizonte diagnóstico subsuperficial. Destaca-se que adotando esses critérios, aproximadamente 21% dos sub-horizontes descritos como B espódico conforme o SiBCS (Santos et al., 2013) deixariam de ser caracterizados como tal. Tal mudança traria ainda maior compatibilidade com a classificação dos *Podzois* (*Spodosols*) nos sistemas internacionais, como o WRB - IUSS/FAO (2014) e o ST (Soil Survey Staff, 2014), o que é relevante para a inserção de dados de solos do Brasil em bases mundiais e consequentemente a participação em programas de alcance global.

Foram identificados 7 sub-horizontes B espódicos com $\text{pH} \geq 6,0$ que têm teores de C org maior ou igual a $5,0 \text{ g kg}^{-1}$ e 5 desses sub-horizontes apresentam concomitantemente mudança textural abrupta, característica comum aos horizontes B textural e B plânico. Assim, possivelmente, esses horizontes também apresentam processos incipientes de iluviação e eluviação; porém por ainda não atender aos critérios estabelecidos para os horizontes de acúmulo de argila, estes seriam classificados como horizontes B incipientes.

Os solos que apresentam os sub-horizontes B espódicos com $\text{pH} \geq 6,0$ e $\text{C org} \geq 5,0 \text{ g kg}^{-1}$ e sem mudança textural abrupta foram classificados como Espodossolos somente pelo acúmulo de C org. No entanto, de acordo com descrição dos dois perfis de solo (Instituto do Açúcar e do Alcool – IAA, 1983; Cunha, 1980), pela natureza de deposição aluvial e pela variação de atributos como a relação silte/argila e elementos extraídos pelo ataque sulfúrico, apresentam indícios de que a variação de C org no perfil de solo esteja associada ao caráter flúvico. Os perfis são de levantamentos dos anos de 1980, anteriores ao SiBCS e a descrição não identifica descontinuidade de material de origem ou variação de camadas. Além disso, a falta de análises de óxidos pedogenéticos nesses perfis limita caracterizar se havia também a iluviação de Al e Fe juntamente com a matéria orgânica e se de fato o acúmulo de C org no horizonte B seria devido à podzolização.

Os padrões de cor mostram-se funcionais para separar os horizontes Bs(m) com acúmulo C org associado a formas de óxidos de ferro de baixa cristalinidade (amorfo), evidenciados pelo alto croma dos horizontes de acúmulo de C org. No entanto, não há distinção de morfologia e conteúdo de C org entre Bh(m) e Bhs(m) e são poucos os trabalhos com dados de extração seletiva de ferro que permitam o estabelecimento de critérios quantitativos para distingui-los. Sendo assim, propõem-se a seguinte classificação para os tipos de horizontes B espódico baseada na morfologia (cor) e teor de C org:

- Bs(m) – horizonte de acúmulo de matéria orgânica iluvial combinada com Al com teor de C org menor que $20,0 \text{ g kg}^{-1}$, apresentando evidências de ferro de baixo grau de cristalinidade, identificado pela cor de valor e croma ≥ 4 (excepcionalmente valor igual a 3 quando Ortstein ou Fragipã coincidente com B espódico);
- Bh(m) – horizonte de acúmulo de matéria orgânica iluvial combinada com Al com teor de C org menor que $20,0 \text{ g kg}^{-1}$ e sem evidências de acúmulo iluvial de ferro amorfo na morfologia, apresentando valor e croma < 4 (admitindo-se cores de valor igual a 5 e croma ≤ 3 por quando Ortstein ou Fragipã coincidente com B espódico);
- B \bar{h} – horizonte de acúmulo proeminente de matéria orgânica iluvial combinada com Al com teor de C org $\geq 20,0 \text{ g kg}^{-1}$, apresentando valor e croma < 4 (admitindo-

se cores de valor igual a 5 e croma ≤ 3 por quando Ortstein ou fragipã coincidente com B espódico);

- Caso o horizonte apresente coloração variegada, se uma ou mais cores atender o critério de cor para Bs(m) e tiver C org menor que 20,0 g kg⁻¹, este será classificado como tal horizonte, do contrário será classificado conforme o teor de C org como Bh ou B \bar{h} .

As definições dos horizontes Ortstein e Plácico permaneceriam as mesmas conforme a espessura, cimentação e consistência, conforme Santos et al. (2013). Desta maneira, com a proposta, a falta de análises que evidenciem o acúmulo de Fe baixa cristalinidade não comprometeria a classificação de perfis já descritos na literatura e os B espódicos. Assim, a classificação proposta, além de não necessitar de análises adicionais (Feo ou Fed) para identificação deste horizonte diagnóstico, ainda eliminaria a subjetividade existente quanto às definições atuais dos tipos de horizontes B espódicos.

4.5. Revisão da Classe dos Espodossolos

Com os horizontes B espódicos reclassificados com base nos critérios sugeridos no item 4.4. Proposta de Definição para os Horizontes B Espódicos, e com a alteração da atual seção de controle da ordem dos Espodossolos para ocorrência do B espódico iniciando-se em 200 cm a partir da superfície, 32 perfis deixariam de ser classificados como Espodossolos.

Quanto à sub-ordem, os Espodossolos seriam então classificados (Tabela 11) como:

- Ferrilúvicos: solos com a presença do horizonte B espódico identificado com os sufixos Bs e/ou Bsm, principalmente, isoladamente ou sobrepostos a outros tipos de horizontes (espódicos e não espódico) – 11 perfis;
- Hiper-Humilúvicos: solos com a presença do horizonte B espódico identificado com os sufixos B \bar{h} e/ou B $\bar{h}m$, principalmente, isoladamente ou sobrepostos a outros tipos de horizontes (espódicos e não espódico) – 52 perfis;
- Humilúvicos: outros solos que não se enquadram nas classes anteriores – 59 perfis.

Com a seção de controle de 200 cm e a não diferenciação nos Espodossolos de Hidromórficos e Órticos conforme visto no item 4.2.4. Influência dos pedoambientes na gênese dos B espódico, em nível de grande grupo os Espodossolos seriam distribuídos de acordo com a profundidade do B espódico associada à textura dos horizontes subjacentes e a presença do caráter dúrico na seção de controle. As seguintes classes seriam definidas:

- Dúricos: solos que apresentam caráter dúrico dentro de 200 cm da superfície do solo – 54 perfis;
- Espessarênicos: solos que apresentam textura arenosa da superfície do solo até o início do horizonte B espódico, que ocorre a uma profundidade superior a 100 cm – 17 perfis;
- Arênicos: solos que apresentam textura arenosa da superfície do solo até o início do horizonte B espódico, que ocorre no mínimo a 50 cm e no máximo a 100 cm de profundidade – 27 perfis;
- Órticos: outros solos que não se enquadram nas classes anteriores – 24 perfis.

Enquanto para sub-grupos, propõem-se a adoção de classes associadas a características diferenciais e frequentes nos Espodossolos que tem influência direta no uso e manejo, já identificadas na literatura, tais como:

- organossólicos: solos com o horizonte H hístico – 5 perfis;
- tiomórficos: solos possuem o horizonte sulfúrico e/ou materiais sulfídricos

dentro de 200 cm da superfície – 6 perfis;

- abrupções: solos que apresentam mudança textural abrupta entre o horizonte sobrejacente e o B espódico – 28 perfis;
- típicos: outros solos que não se enquadram nas classes anteriores – 83 perfis.

Tabela 11. Estruturação proposta até o quarto nível categórico para a classe dos Espodosolos.

	Sub-ordem	N. perfis	Grande grupo	N. perfis	Sub-grupo	N. perfis
	ESPODOSOLOS (122)	FERRILÚVICOS	11	Dúricos	8	tiomórficos
típicos						8
Órticos				3	organossólicos	1
					tiomórficos	0
					abrupções	1
					típicos	1
HIPER-HUMILÚVICOS		52	Dúricos	23	tiomórficos	1
					típicos	22
			Espessarênicos	7	tiomórficos	0
					abrupções	5
					típicos	2
			Arênicos	11	tiomórficos	1
					abrupções	4
					típicos	6
			Órticos	11	organossólicos	2
					tiomórficos	0
	abrupções				2	
	típicos				7	
HUMILÚVICOS	59	Dúricos	23	tiomórficos	1	
				típicos	22	
		Espessarênicos	10	tiomórficos	0	
				abrupções	5	
				típicos	5	
		Arênicos	16	tiomórficos	0	
				abrupções	8	
				típicos	8	
		Órticos	10	organossólicos	2	
				tiomórficos	3	
abrupções	3					
típicos	2					

Por fim, ressalta-se que na classificação atual, cerca de 85% dos perfis (do total de 154) são classificados como Órticos, ao passo que, esse número cai para 20% para a classificação proposta (total de 122 perfis). Desse modo, a classificação proposta reforça a separação por atributos frequentes aos Espodosolos e relacionados com a sua gênese, distribuindo suas classes de maneira mais equitativa, ao invés de aglomera-los em um único grande grupo que corresponde ao que não foi atendido nos demais – Hiper-espessos, Hidro-espessos e Hidromórficos.

5. CONCLUSÕES

Os horizontes B espódicos são predominantemente arenosos, ácidos, de baixa soma e saturação por bases, e apresentam acúmulo de matéria orgânica combinada com Al, por vezes apresentando também Fe. A falta de valores limites dos atributos no SiBCS permite a identificação de horizontes que não atendem as características centrais dos B espódicos, sobretudo nos solos do Pantanal que apresentam pH alcalino, elevado V% e muito baixo teor de C org em comparação aos outros ambientes.

Para atender ao conceito central da ordem dos Espodossolos, de solos cujo processo de formação é a podzolização, propõe-se a adoção do critério diagnóstico para B espódico no SiBCS de teor mínimo de C org $\geq 5 \text{ g kg}^{-1}$ e valor de pH em água $\leq 5,9$.

Os horizontes Bs(m) apresentam menor conteúdo médio de material orgânico em relação aos demais, corroborando com as definições do SiBCS. Os horizontes Bh(m) e Bhs(m) apresentam tão baixo conteúdo de material orgânico quanto os horizontes Bs(m). A falta de critérios quanto ao acúmulo de óxidos de Fe nos horizontes Bs(m) e Bhs(m) impossibilita uma classificação coerente quanto a esta definição, de modo que muitos autores caracterizam o horizonte B espódico conforme as cores cromadas para os horizontes Bs(m) e escuras para Bh(m) e Bhs(m).

Os padrões de cor permitem separar os horizontes com acúmulo C org associado a formas de óxidos de ferro de baixa cristalinidade (amorfo), evidenciados pelo alto croma dos horizontes de acúmulo de C org. Os horizontes Bs têm cores de valor e croma ≥ 4 e teor de C org inferior a $20,0 \text{ g kg}^{-1}$. No entanto, não há distinção de morfologia entre os horizontes Bh(m) e Bhs(m). Sendo assim, os B espódicos de valor e croma < 4 e sem evidências de acúmulo iluvial de ferro amorfo na morfologia podem ser separados quanto ao teor de C org: Bh – acúmulo de C org até 20 g kg^{-1} ; Bh̄ – acúmulo proeminente de matéria orgânica iluvial, com C org $\geq 20 \text{ g kg}^{-1}$.

O tipo de horizonte superficial dos Espodossolos teve influência direta no processo de iluviação nos B espódicos. Em solos com horizonte superficial H hístico, apesar da maior quantidade de C org, o ambiente hidromórfico dificulta a transformação da matéria orgânica e sua translocação e acúmulo em subsuperfície na forma de compostos orgânicos iluviados. Ao passo que nos horizontes superficiais com altos teores de C org, A húmico e A proeminente, e em ambientes de melhor drenagem o teor de C org em subsuperfície é superior.

Nos perfis onde foi feita a classificação e distinção de ambientes, pelos autores do trabalho original, quanto ao hidromorfismo, o B espódico inicia-se ligeiramente mais próximo à superfície. Contudo, não há distinção quanto aos atributos químicos dos Espodossolos reclassificados como Hidromórficos dos Não-hidromórficos.

As condições do pedoambiente apresentam relação direta com a pedogênese dos B espódicos. Nos Tabuleiros Costeiros há maior acúmulo de matéria orgânica no B espódico. Por outro lado, nos Espodossolos da Amazônia nota-se menor acúmulo de carbono orgânico no horizonte B espódico. Já no ambiente de Campos de Altitude a iluviação de óxidos de Fe e Al foi mais expressiva em relação aos demais ambientes.

A atual classificação taxonômica dos Espodossolos se baseia em critérios subjetivos e é pouco discriminante na separação dos indivíduos avaliados, visto que não há distinção clara entre Humilúvicos e Ferri-Humilúvicos. Devido à baixa expressão de solos com horizonte B espódico iniciando-se abaixo de 200 cm é recomendada a redução da seção de controle para tal profundidade. Ainda, as classes de grande grupo não separam de maneira igualitária indivíduos semelhantes entre si, mas de maneira exclusiva, tendo em vista que maioria dos perfis do extenso conjunto de dados avaliado (85%) são Órticos.

A proposta de classificação dos Espodossolos até o quarto nível taxonômico, sendo ela – 2º nível categórico: Ferrilúvicos, Humilúvicos e Hiper-Humilúvicos; 3º nível categórico:

Dúricos, Arênicos, Espessarênicos, Órticos; 4º nível categórico: tiomórficos, organossólicos, abrupáticos e típicos; permite distribuição equitativa dos perfis dentro das classes propostas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, H.A.; BERROW, M.L.; FARMER, V.C.; HEPBURN, A.; RUSSEL, J.D.; WALKER, A.D. A reassessment of podzol formation processes. *Journal of Soil Science*, v.33, p.125-136, 1982.
- ANDRIESSE, J.P. Study of the environmental and characteristics of tropical podzols in Sarawak (east-Malaysia). *Geoderma*, v.2, n.3, p.201-227, 1969.
- BEINROTH, F.H. & ESWARAM, H. Classification of soil of the tropics: a reassessment of soil taxonomy (2003). In: ESWARAM, H; RICE, T.; AHRENS, R. STEWART, B.A. *Soil classification: a global desk reference*. CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington D.C, 2003, p.231-243.
- BENITES, V.M. Caracterização de solos e das substâncias húmicas em Complexo Rupestre de Altitude. 2002, 83p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.
- BENITES, V.M. Caracterização química e espectroscópica da matéria orgânica e suas relações com a gênese de solos da Serra do Brigadeiro, Zona da Mata Mineira. 1998. 123f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.
- BENITES, V.M.; COELHO, M.R.; MENDONÇA-SANTOS, M.L.; SOUZA, L.F.; MADARI, B.; MACHADO, P.L.O.A; SILVA, E.F.; TROMPOWSKY, P.M.; SANTOS, H.G. Fracionamento de substâncias húmicas em espodosolos do estado do Rio de Janeiro. XXIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Ribeirão Preto, SP. Resumo em Anais e em CD-ROM. Viçosa, SBCS, 2003.
- BENITES, V.M.; SCHAEFER, C.E.G.R.; MENDONÇA, E.S.; MARTIN NETO, L. Caracterização da matéria orgânica e micromorfologia de solos sob campos de altitude no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro (MG). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, p.661-674, 2001.
- BENITES, V.M.; MADARI, B. & MACHADO, P.L.O.A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: Um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2003a. 7p. (Comunicado Técnico, 16).
- BRAVARD. S. & RIGHI, D., Geochemical differences in an Oxisol-Spodosol toposequence of Amazonia. Brazil. *Geoderma*. v.44, p.29-42. 1989.
- BRAVARD. S. & RIGHI. D., Characteristics of clays in an Oxisol-Spodosol toposequence in Amazonia (Brazil). *Clay Mineral*, v.23, p.279-289. 1988.
- BUURMAN, P. & JONGMANS, A.G. Podzolisation and soil organic matter dynamics. *Geoderma*, v. 125, p.71-83, 2005.
- BUURMAN, P. Carbon/sesquioxide ratios in organic complexes and the transition albic-spodic horizon. *Journal of Soil Science*, London, v.36, p.255-260, 1985.
- BUURMAN, P. Mineral oil conditioned by a (sub) humid temperate climate. In: DRIESSEN, P.M & DECKERS, J. (Eds.) *Lecture notes on the major soils of the world*. FAO, Roma, Italia, 2001.
- CAMPBELL, A.S. & SCHWERTMANN, U. Iron oxide mineralogy of placic horizons. *Journal of Soil Science*, v.35, p.569-582, 1984.
- CAMPOS, J.C.F.; SCHAEFER, C.E.G.R.; KER, J.C.; SAADI, A.; ALBUQUERQUE

- FILHO, M.R. Gênese e Micropedologia de solos do Médio Jequitinhonha, de Turmalina a Pedra Azul, Minas Gerais. *Geonomos*, v.5, p.41-53, 1997.
- CARVALHO, V.S.; MATEUS ROSAS RIBEIRO, M.R.; SOUZA JÚNIOR, V.S.; BRILHANTE, S.A. caracterização de espodosolos dos estados da Paraíba e do Pernambuco, nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.37, p.1454-1463, 2013.
- CHESWORTH, W. & MACIAS, F. pe, pH and podzolization. *American Journal of Science*, New Haven, v.285, p.128- 146, 1985.
- COELHO, M. R., FONTANA, A., SANTOS, H. G., PEREZ, D. V. Solo e a sustentabilidade agrícola no Brasil: em enfoque pedológico. Viçosa - MG: SBCS – Boletim Informativo V. 39, N. 3, Setembro - Dezembro de 2014. ISSN 1981-979X.
- COELHO, M.R.; VIDAL-TORRADO, P.; PÉREZ, X.L.O.; MARTINS, V.M.; VÁSQUEZ, F.M. Química e gênese de solos desenvolvidos sob vegetação de restinga no estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.1951-1964, 2010.
- COORRÊA, M.M; KER, J.C.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; CURI, N.; TORRES, T.C.P. Caracterização física, química, mineralógica e micromorfológica de horizontes coesos e fragipãs de solos vermelhos e amrelos do ambiente Tabuleiros Costeiros. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.297-313, 2008.
- COURCHESNE, F. & HENDERSHOT, W. H. La genèse des podzols. *Géographie physique et Quaternaire*, Montreal, v.51, p.235-250, 1997.
- CUNHA, N. G. da. Considerações sobre os solos da sub-região da Nhecolândiia, Pantanal Matogrossense. 1980. 45p.
- DIAS, H.C.T.; SCHAEFER, C.E.G.R.; FERNANDES FILHO, E.I. OLIVEIRA, A.P.; MICHEL, R.F.M.; LRMOS JR. J.B. Caracterização de solos altimontanos em dois transectos no Parque Estadual do Ibitipoca (MG). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.469-481, 2003.
- DUBROEUCQ, D. & VOLKOFF, B. From oxisols to spodosols and histosols: evolution of the soil mantles in the Rio Negro basin (Amazonia). *Catena* v.32, p.245–280, 1998.
- EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2ª ed. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 2006, 306p.
- EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999, 412p.
- EMBRAPA. Solos do Nordeste. Unidade de execução de pesquisa e desenvolvimento de Recife, Recife: Embrapa, 2014.
- FANNING, D.S. & FANNING, M.C.B. Soil morphology, genesis, and classification. EUA: John Wiley & Sons, 1989, 395p.
- FAO. World reference base for soil resources. FAO/IUSS/ISRIC, World Soil Resources Reports, 106. Roma, Itália. 2014.
- FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; BENITES, V. M. Quantificação e utilização das frações húmicas como característica diferencial em horizontes diagnósticos de solos brasileiros. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:1241-1257, 2010.
- GOMES, F. H. Gênese e classificação de solos sob vegetação de restinga na Ilha do Cardoso – SP. Piracicaba, 2005. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz,

2006. 107 p.

GOMES, F.H.; TORRADO, P.V.; MACIAS, F.; GHERARDI, B.; PERES, J.L.O. SOLOS sob vegetação de restinga na ilha do Cardoso (SP). I - caracterização e classificação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, p.1563-1580, 2007.

GOMES, J.B.V.; RESENDE, M.; REZENDE, S.B. de; MENDONÇA, E. de S. Solos de três áreas de restinga: I. Morfologia, caracterização e classificação. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.33, n.11, p.1907-1919, 1998a.

GOMES, J.B.V.; RESENDE, M.; REZENDE, S.B.; MENDONÇA, E.S. Solos de três áreas de restinga. II Dinâmica de substâncias húmicas, ferro e alumínio. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.33, n.11, 1998b.

Instituto do Açúcar e do Alcool - IAA. Projeto de irrigação e drenagem da cana-de-açúcar na região Norte-Fluminense: estudos e levantamentos pedológicos. Relatório técnico setorial. Rio de Janeiro: Ministério da Indústria e Comércio. Instituto do Açúcar e do Alcool, v.1, tomo II, 1983b.

JACOMINE, P.K.T.; CAVALCANTI, A.C.; RODRIGUES E SILVA, F.B.; MONTENEGRO, J.O.; FORMIGA, R.A.; BURGOS, N. & MÉLO FILHO, H.F.R. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos da margem direita do rio São Francisco, Estado da Bahia. Recife, Embrapa/ Sudene, 1977. 738p.

KÄMPF, N. & CURTI, N. Formação e evolução do solo (pedogênese). In: KER, J.C.; CURTI, N.; SCHAEFER, C.E.G.R. & VIDAL-TORRADO, P., eds. Pedologia: fundamentos. Viçosa, MG, SBCS, 2012. 343p.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. Klimate der Erde. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

LUCAS, Y.; BOULET, A., CHAUVEL, A., VEILLON, L. Systèmes sols ferrallitiques-podzols em région amazonienne. In: RIGHI, D; CHAUVEL, A. (Ed.). Podzols et podzolisation. Paris: Institute Nacional de la Recherche Agronomique, 1987. cap. 5. p. 53-65.

LUMBRERAS, J. F.; CARVALHO FILHO, A. de; CALDERANO FILHO, B.; SANTOS, R. D. dos. Levantamento Pedológico, Vulnerabilidade e Potencialidade ao Uso das Terras: Quadricula de Silva Jardim e Rio das Ostras, Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2001, 79p.

LUNDSTRÖM, U.S. The role of organic acids in soil solution chemistry in a podzolized soil. J. Soil Sci. 44, p. 121-133, 1993.

LUNDSTRÖM, U.S.; VAN BREEMEN, N.; BAIN, D.C. The podzolization process. A review. Geoderma, v. 94, n.2, p. 91-107, 2000a.

LUNDSTRÖM, U.S.; VAN BREEMEN, N.; BAIN, D.C.; VAN HEES, P.A.W.; GIESLER, R.; GUSTAFSSON, J.P.; ILVESNIESMI, H.; KARLTUN, E.; MELKERUD, P.A.; OLSSON, M.; RIISE, G.; WAHLBERG, O.; BERGELIN, A.; BISHOP, K.; FINLAY, R.; JONGMANS, A.G.; MAGNUSSON, T.; MANNERKOSKI, H.; NORDGREN, A.; NYBERG, L.; STARR, M.; TAU STRAND, L. Advances in understanding the podzolization process resulting from a multidisciplinary study of three coniferous forest soils in the Nordic Countries. Geoderma, v.94, p.335-353, 2000b.

MAFRA A.L.; MIKLÓS, A.A.W.; VOLKOFF, B.; MELFI, A.J. Pedogênese numa sequência Latossolo-Espodossolo na região do alto Rio Negro, Amazonas. Revista Brasileira

de Ciência do Solo, v.26, p.381-0394, 2002.

MAFRA, A.L.; SENESI, N.; BRUNETTI, G.; MIKLÓS, A.A.W.; MELFI, A.J. Humic acids from hidromorphic soil of the upper Negro river basin, Amazonas: Chemical and spectroscopic characterisation. *Geoderma*, v.138, p.170-176, 2007.

MELO, F.J.R. & SANTOS, M.C. Micromorfologia e mineralogia de dois solos de Tabuleiro Costeiro de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.20, p.99-108, 1996.

MEURER, E. J (Editor). *Fundamentos de química do solo*. 6ª ed. Porto Alegre – RS, 2015.

MOREAU, A.M.S.S.; KER, J.C.; COSTA, L.M.; GOMES, F.H. Caracterização de solos de duas toposequências em Tabuleiros costeiros do sul da Bahia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.1007-1019, 2006.

OLIVEIRA, A.P.; KER, J.C.; SILVA, I.R.; FONTES, M.P.F.; OLIVEIRA, A. P.; NEVES, A.T.G. Spodosols pedogenesis under Barreiras formation and sandbank environments in the south of Bahia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.847-860, 2010.

PEREIRA, M. G.; FONTANA, A.; ANJOS, L. H. C.; MOURA, T. P. A.; MENEZES, A. R. Índice de pirofosfato como atributo diagnóstico para a classificação de horizontes B espódico. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2015. Natal. Anais do XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Natal, 2015. p. 1-4.

RIISE, G.; VAN HEES, P.; LUNDSTRÖM, U.S.; STRAND, L.T. Mobility of different size fractions of organic carbon, Al, Fe, Mn and Si in podzols. *Geoderma*, v. 94, p.237–247, 2000.

ROQUIM, C.C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. 26 p.

ROSSI, M. & QUEIROZ NETO, J.P. Evolução de Espodossolo Ferrocárbico em Gleissolo Háptico no planalto da Serra do Mar, Rio Guaratuba (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, p.407-415, 2002.

SANTOS, H.G.; CARVALHO JÚNIOR, W.; ÁGLIO, M.L.D.; SILVA, J.S.; DART, R.O.; PARES, J.G.; FONTANA, A.; MARTINS, A.L.S.; OLIVEIRA, A.P. Mapa de Solos do Brasil. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011a. 1 mapa, color. Escala 1:5.000.000.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A. CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3ª ed. Embrapa, Brasília, 2013, 353p.

SCHAEFER, C.E.R.; KER, J.C.; GILKES R.J.; CAMPOS J.C.; COSTA L.M. DA; SAADI, A. Pedogenesis on the uplands of the Diamantina Plateau, Minas Gerais, Brazil: a chemical and micropedological study. *Geoderma*, v.107, p.243-269, 2002.

SCHIAVO, J.A.; DIAS NETO, A. H.; PEREIRA, M.G.; ROSSET, J.S.; SECRETTI, M.L.; PESSENDA, L.C.R. Characterization and Classification of Soils in the Taquari River Basin - Pantanal Region, State of Mato Grosso do Sul, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36:697-707, 2012.

SCHIAVO, J.A.; PEREIRA, M.G.; MIRANDA, L. P. M. DE; DIAS NETO, A. H.; FONTANA, A. Caracterização e classificação de solos desenvolvidos de arenitos da Formação Aquidauana – MS. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:881-889, 2010.

SCHNITZER, M. Binding of humic substances by soil mineral colloids. In: HUANG, P.M. &

SCHNITZER, M. (Eds.) Interactions of soil minerals with natural organics and microbes. Madison:SSSA, p.77-102, 1986.

SHAETZL, R. J. A Spodosol-Entisol transition in Northern Michigan. Soil Sci. Soc. Am. J. 66, p. 1272-1284, 2002.

SILVA, E.A.; GOMES, J.B.V.; JOSÉ COELHO DE ARAÚJO FILHO, J.C.; CARLOS ALBERTO SILVA, C.A.; CARVALHO, S.A.; CURI, N. Podzolização em solos de áreas de depressão de topo dos tabuleiros costeiros do nordeste brasileiro. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.37, p.11-24, 2013.

SIMA, F.N.B; SCHAEFER, C.E.G.R.; FERNANDES FILHO, E.I.; CHAGAS, A.C.; BRANDÃO, P.C. Chemistry, mineralogy and micropedology of highland soils on crystalline rocks of Serra da Mantiqueira, southeastern Brazil. Geoderma, v.125, p.187-201, 2005.

SOIL SURVEY STAFF. Keys to soil taxonomy. 12 ed. USDA-SCS, Washington. 2014.

SPOSITO, G., 2008. The Chemistry of Soils. Oxford. Second Edition. New York, University Press, 2008. 329 p.

SWIFT, R.S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D.L.; PAGE, A.L.; HELMKE, P.A.; LOEPPERT, R.H.; SOLTANPOUR, P.N.; TABATABAI, M.A.; JOHNSTON, C.T. & SUMNER, M.E., eds. Methods of soil analysis: Chemical methods. Madison, Soil Science Society of America/American Society of Agronomy, 1996. Part 3. p.1011-1020. (Soil Science Society of America Book Series, 5).

UFV. Caracterização de solos e avaliação dos principais sistemas de manejo dos Tabuleiros Costeiros do Baixo Rio Doce e da Região Norte do Estado do Espírito Santo e sua interpretação para uso agrícola. Convênio N° 545-81. Viçosa: Companhia Vale do Rio Doce, Universidade Federal de Viçosa, 1984. 153p.

VAN RANST, E.; STOOPS, G.; GALLEZ, A.; VANDENBERGHE, R.E. Properties, some criteria of classification and genesis of upland forest podzols in Rwanda. Geoderma, v. 76, p. 263-283. 1997.

ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T.M.; MILTNER, A. & SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. Geoderma, 79:117-161, 1997.