

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Solo ou Saprolito? Comparação entre a designação em campo e através de  
uma Árvore de Decisão**

**Roseclênia Alves Santos**

Monografia apresentada à Escola Superior de Agricultura  
“Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP como parte das  
exigências para a obtenção do Grau de Bacharel em  
Engenharia Agronômica – Área de concentração:  
Mineralogia de Solo

**Piracicaba  
2016**

**Roseclênia Alves Santos  
Graduanda em Engenharia Agronômica**

**Solo ou Saprolito? Comparação entre a designação em campo  
e através de uma Árvore de Decisão**

Orientador:  
Prof. Dr. **ANTONIO CARLOS DE AZEVEDO**

Monografia apresentada à Escola Superior de Agricultura  
“Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP como parte das  
exigências para a obtenção do Grau de Bacharel em  
Engenharia Agronômica – Área de concentração:  
Mineralogia de Solo

**Piracicaba  
2016**

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais, Juarez de Jesus Santos e Maria Rosilene Alves, que são os grandes responsáveis pelas minhas conquistas, são exemplos de luta e honestidade, dos quais tenho o maior orgulho.

A minha irmã, Roselânia Alves Santos, pelo carinho, apoio e amizade.

Ao meu querido esposo, Valdevan Rosendo dos Santos, meu amigo e companheiro, por está sempre ao meu lado, por todo o amor e incentivo.

A minha amada filha, Lohany Nicolle Alves Rosendo, que completa minha vida com imensa alegria sendo luz e inspiração a seguir;

Com muito amor, DEDICO.

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela sua infinita bondade ao conceder o dom da vida, pelas diversas vezes que derramou sobre mim e minha família grandes bençãos e por me permitir chegar até aqui.

À minha família que é a minha fortaleza.

À Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – USP por ter viabilizado a conquista do título “Bacharel em Engenharia Agronômica”.

À Universidade Federal de Alagoas – Campus de Arapiraca, meu lugar de origem, onde ingressei no universo da Agronomia e fiz grandes amizades.

Ao meu orientador Antonio Carlos de Azevedo, do qual tenho imensa admiração pela pessoa e profissional que é. Pelas muitas oportunidades que proporcionou: membro de um grupo de pesquisa, iniciação científica, estágio e este trabalho de conclusão de curso. Por toda a paciência e zelo que tem com os seus alunos, por permitir o crescimento pessoal e acadêmico, por toda a compreensão e por ser um verdadeiro mestre.

À Professora Renata Alcarde Sermarini, que é uma amiga, além de excelente matemática. Por ter contribuído na construção desse trabalho com muito carinho, paciência e disponibilidade.

Ao Dr. Jean Cheyson Barros dos Santos e ao Dr. Adriano Ribeiro Guerra por compartilharem os dados das suas respectivas teses utilizados neste trabalho.

Ao Doutorando Lucas Sartor pela disponibilidade e ajuda na construção de parte dos gráficos apresentados neste trabalho.

A cada membro do Grupo de Pesquisa em Mineralogia do Solo – GPEMSO, que convivi durante esses quase quatro anos: Marina Cury, Rafael Cipriano, João Ieda, Bruna Ferreira, Betânia Roqueto, Karen Beneton, Mayara Carneiro, Yasmin Carneiro, Caio Furlan, Rafaella Mazza, Maria Vitória Vasconcellos e Lyon Silva. Pelo companheirismo, amizade e por ter acrescentado muito na minha formação acadêmica e pessoal.

Ao técnico, Leandro Goia, do Laboratório de Mineralogia do Solo (ARGILAB), por compartilhar seus conhecimentos e por está sempre disposto a ajudar.

Este trabalho representa muito mais que um TCC, para mim é o fechamento de um ciclo muito importante e almejado em minha vida, o qual foi marcado por algumas dificuldades, porém recheado de grandes conquistas. Por isso agradeço a cada um dos amigos que eu encontrei durante essa longa jornada, os quais não dão para descrever aqui, mas quero que saibam que tenho cada um em meu coração.

Minha sincera gratidão.

## EPÍGRAFE

*"Sorte de quem encontrou esse caminho  
escondido, infinito, deslumbrante  
que transpôs florestas, rios,  
enfrentou o deserto, o vento  
e mesmo já sozinho, alcançou a montanha distante  
onde de seu alto pode ver o presente  
o passado e o futuro ao mesmo tempo".*

José Henrique Pop

## SUMÁRIO

<b>Resumo .....</b>	<b>07</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>08</b>
<b>1. Introdução .....</b>	<b>09</b>
<b>2. Objetivos.....</b>	<b>10</b>
<b>3. Revisão.....</b>	<b>10</b>
<b>3.1. Limite entre o solo e o saprolito .....</b>	<b>10</b>
<b>3.2. Árvore de Decisão .....</b>	<b>13</b>
<b>4. Material e Métodos.....</b>	<b>15</b>
<b>4.1. Obtenção dos dados.....</b>	<b>15</b>
<b>4.2. Análise dos dados.....</b>	<b>15</b>
<b>4.3. Variáveis analisadas .....</b>	<b>17</b>
<b>5. Resultado e Discussões .....</b>	<b>19</b>
<b>5.1. Propriedade principal .....</b>	<b>21</b>
<b>5.2. Propriedades secundárias .....</b>	<b>26</b>
<b>5.3. Comparação entre o modelo e a interpretação dos autores.....</b>	<b>27</b>
<b>6. Conclusões .....</b>	<b>29</b>
<b>7. Referências Bibliográficas .....</b>	<b>30</b>

## RESUMO

### **Solo ou Saprolito? Comparação entre a designação em campo e através de uma Árvore de Decisão**

O saprolito exerce importantes funções no ciclo hidrológico e no de nutrientes. Ainda assim, estudos sobre o saprolito são dispersos, conceituais e metodologicamente heterogêneos. Em estudos de campo, uma grande dificuldade é separar os horizontes ou camadas do regolito na transição entre o solo e o saprolito. O objetivo desse trabalho foi identificar a estrutura lógica subjacente a esta decisão, utilizando um algoritmo matemático para hierarquizar os atributos físicos e químicos de um conjunto de perfis regolíticos, e com isto explicitar com maior clareza os critérios subjetivos e implícitos utilizados por pesquisadores deste assunto ao denominar uma zona do perfil como pertencente ao solo ou saprolito. As seguintes variáveis foram consideradas: porosidade total (PT); densidade do solo (Ds); densidade de partícula (Dp); teor total de  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ , CaO, MgO, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e TiO<sub>2</sub>; extração seletiva de ferro por ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) e oxalato de amônio (OA) e a relação entre esses extractores de um conjunto com 25 perfis regolíticos (137 horizontes e camadas), descritos por Guerra (2015) e Santos (2015). A Árvore de Decisão pelo método da partição recursiva (função tree do Software R) foi aplicada nos resultados e a percentagem de acerto das variáveis discriminantes em função dos critérios dos autores foi verificada. Os atributos que mais contribuíram para distinguir os horizontes pedogenéticos das camadas saprolíticas, em ordem decrescente de importância foram: Ds,  $Fe_{DCB}/Fe_{OA}$ , MgO, CaO, PT e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Com estas seis variáveis seria possível determinar 93% das zonas dos perfis em concordância com os autores, sendo que 81% foram atribuídos a apenas uma variável, a densidade do horizonte ou camada. Este resultado explicita que o critério subjetivo mais considerado pelos autores foi a densidade do material.

Palavras-chave: Regolito, Intemperismo, Subsolo, Sistema de Classificação

## ABSTRACT

### **Soil or saprolite ? Comparing field designation with a decision tree**

The saprolite plays an important role in the hydrologic and nutrient cycles. In spite of that, the studies about it are disperse, being conceptually and methodologically heterogeneous. In field studies, it may be difficult to assign to the regolith horizon/layers their soil or saprolite nature. The aim of this study was to reveal the logic structure behind the designation applied in the infiel using the decision tree procedure and lab results. The following variables: total porosity (PT); bulk density (Ds); particle density (Dp); total contents of  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $K_2O$ ,  $Na_2O$ ,  $P_2O_5$  and  $TiO_2$ ; selective extraction de Fe by dithionite-citrate-bicarbonate (DCB) and ammonium oxalate (OA) and the relationship between the extractors of the 25 regolith profiles (137 horizons/layers) were used in the model. Regolith profiles were described by Guerra (2015) e Santos (2015). The recursive partition (tree function Software R) was applied to the results and the percentage success of the discriminants variables and the criterion of the authors was verified. The attributes that contributed most to distinguish pedogenic horizons and saprolite layers in decreasing importance order were Ds,  $Fe_{DCB}/Fe_{OA}$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ , PT e  $P_2O_5$ . These six variables allowed the algorithm to assign 93% horizons/layers in accordance with the authors. The horizon/layer density alone was responsible by 81% of right assignment. These results brought to light that the density of the material was the main subjective criterion used by the author to decide the nature of the horizon/layer.

Keywords: Regolith; Weathering; Subsolum; Classification System

## 1. INTRODUÇÃO

As questões ambientais surgidas no final do século XX deram origem a novos paradigmas sobre geoecossistemas, como os conceitos de Zona Crítica (“Critical Zone”, ISSS, 2002) e Planetary Boundaries (STEFFEN et al. 2015). Estas abordagens ressaltam a importância do saprolito no desenvolvimento das atividades antrópicas.

O saprolito é parte de uma unidade maior, o regolito, que é a camada da litosfera alterada pelo intemperismo (O'BRIEN; BUOL, 1984). O regolito pode ser constituído por três materiais diferentes: solo, saprolito e sedimentos. As rochas e sedimentos são foco de uma vasta literatura produzida principalmente por geólogos, enquanto solos são também amplamente estudados por pedólogos, em geral com propósitos agronômicos. O saprolito, no entanto, geralmente é estudado apenas implícita ou marginalmente em pesquisas com foco no solo ou na rocha.

Esta lacuna é ressaltada pela demanda crescente por mais conhecimento e informação sobre os saprolitos. Por exemplo, praticamente toda água subterrânea interage, de maneira variada, com o saprolito em seu caminho para os reservatórios subterrâneos (FREEZE e CHERRY, 1979). E quando próximo à superfície, dentro da zona de alcance de raízes, o saprolito pode ser uma fonte importante de nutrientes para as plantas (MELO et al., 1995; PEDRON, 2007).

No Brasil, as informações sobre o saprolito são escassas e comumente desconsideradas nas análises e descrição de perfis de solos, principalmente em decorrência da dificuldade no momento da descrição do perfil em separar solo e saprolito (MACHADO, 1997; PEDRON, 2007). Diferente dos solos, que historicamente acumularam muitos estudos a partir de uma perspectiva agrícola, os materiais do subsolo são estudados com objetivos variados em diferentes áreas da ciência, e ainda assim possuem quantidade menor de pesquisas até mesmo em estudos básicos. Em parte, o que tem dificultado a popularização das pesquisas com saprolitos é a dificuldade de atribuir com clareza a posição do limite do saprolito com o solo. Este fato tem dificultado a sua manipulação e caracterização. Como não há um manual universal que contemple a classificação do subsolo, a separação dos horizontes e camadas do perfil regolítico é determinada por observação visual através da morfologia.

O Grupo de Pesquisa em Mineralogia de Solos (GPEMSO), na ESALQ-USP, tem estudado saprolitos há alguns anos e acumula algumas dezenas de perfis regolíticos (solo+subsolo), detalhadamente descritos e analisados. Neste trabalho, foram tomados perfis regolíticos descritos em duas regiões contrastantes quanto à litologia e ao clima com o

propósito de aprofundar a análise e discussão destes perfis a fim de contribuir com o estudo sobre saprolito (GUERRA, 2015; SANTOS, 2015).

Como auxílio na distinção entre as camadas saprolíticas e horizontes pedogenéticos sob uma perspectiva quantitativa foi aplicado um algoritmo estatístico de modo a verificar se a decisão dos autores, em campo, de denominar uma zona do perfil como sendo solo ou saprolito, possui concordância com resultados analíticos físicos e químicos; e em caso positivo, quais as propriedades que mais influenciam na denominação de uma zona do perfil como pertencente ao solo ou ao saprolito.

## 2. OBJETIVOS

- Aplicar uma Árvore de Decisão para classificar as zonas dos perfis regolíticos;
- Identificar atributos analíticos que auxiliem na determinação das zonas dos perfis regolíticos;
- Verificar a concordância da Árvore de Decisão com a designação em campo na determinação das zonas dos perfis regolíticos.

## 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1. Limite entre solo e saprolito

O regolito é caracterizado como a parte da litosfera alterada pelos processos do intemperismo, portanto situa-se entre a rocha inalterada e a superfície da terra (O'BRIEN; BUOL, 1984). É responsável pela dinâmica e funcionamento ambiental dos ecossistemas terrestres, além de sustentar o desenvolvimento das atividades antrópicas.

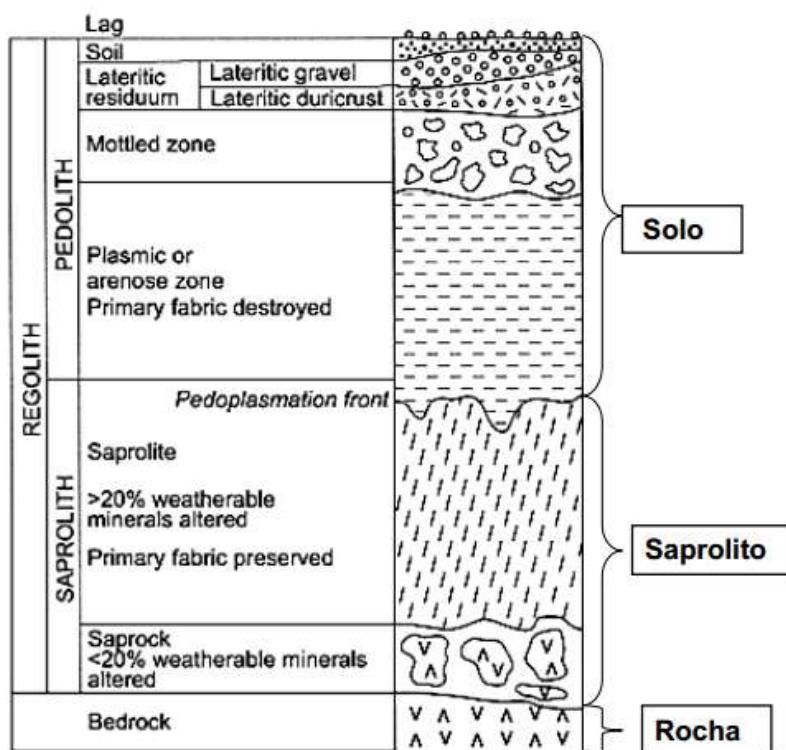
Em termos técnicos, o regolito pode ser dividido em três materiais distintos: solo, sedimento e saprolito. O solo é um corpo natural composto de água, gases, minerais e substâncias orgânicas, influenciado pela atividade biológica e sob a atuação predominante dos processos pedogenéticos (EMBRAPA, 2013). O saprolito, no entanto, é um material não transportado que apresenta nenhuma ou uma insignificante perda de volume (isovolume) em relação à rocha de origem (BECKER, 1895), sendo constituído por minerais primários e secundários e que ainda mantém vestígios da estrutura original da rocha (BUTT, LINTERN, ANAND, 2000). Dessa forma, solo, sedimento e saprolito são produtos resultantes da

intemperização das rochas, porém apenas o saprolito apresenta necessariamente isovolume em relação ao material de origem.

O saprolito interage praticamente com toda a água subterrânea em seu caminho até os reservatórios (FREEZE, CHERRY, 1979), além disso, quando próximo à superfície, constitui-se como uma fonte importante de nutrientes às plantas (MELO et al., 1995; PEDRON, 2007). Apesar da ocorrência e reconhecida importância ambiental do saprolito, estudos focados na sua caracterização são poucos.

O amadurecimento dos estudos ambientais no final do século XX gerou novos paradigmas sobre o funcionamento dos geoecossistemas. Por exemplo, o conceito de Zona Crítica (“Critical Zone”, ISSS, 2002), camada que se estende da litosfera até a atmosfera, sendo responsável diretamente pela sobrevivência dos seres vivos na Terra, tem realçado a importância do saprolito no desenvolvimento das atividades humanas e nas relações ambientais.

No perfil, a frente de intemperização quase sempre apresenta um continuum entre a rocha, o saprolito e o solo (Figura 1).



**Figura 1.** Modelo geral de subdivisões do regolito (BUTT, LINTERN, ANAND, 2000).

Comumente, as camadas saprolíticas são reconhecidas como o produto da alteração da rocha *in situ*, sendo denominada na descrição morfológica do perfil como horizonte ou camada C, CR, Cr, CrR e RCr (PEDRON et al., 2009; SCHOENEBERGER, 2012; SANTOS et al., 2013). Entretanto, nos levantamentos pedológicos, a caracterização do saprolito carece de informações e procedimentos preconizados. Por isso a formulação de coleta, descrição e análise que contemplem zonas saprolíticas são essenciais para a comunicação entre os profissionais (GUERRA, 2015).

Mesmo diante destas definições e conceitos, a identificação do limite entre o solo e o saprolito, sobretudo no campo, muitas vezes não é fácil. Este fato tem-se refletido em grande dificuldade na distinção das camadas saprolíticas dos horizontes pedogenéticos (STOLT e BAKER, 1994; MACHADO, 1997), principalmente nas zonas de transição, acarretando na desconsideração das camadas de saprolito na descrição morfológica dos perfis.

Alguns estudos têm sido realizados com o objetivo de elucidar o limite entre o solo e o saprolito através do aspecto morfológico, mesmo assim ainda há divergências entre autores e questões não esclarecidas. Stolt et al. (1991, 1992) e Stolt e Baker (1994) adotaram o horizonte C como parte do saprolito. No estudo desenvolvido por Stolt, Baker e Simpson (1991) foram sugeridos atributos físicos (teor de cascalho e densidade do solo) e químicos (extração de Al, Fe e Si por DCB) para diferenciação entre os produtos do intemperismo e da pedogênese (solo e saprolito). Já Pedron et al. (2009, 2010, 2011, 2015) classificaram o horizonte C como pertencente ao solo, por ele apresentar características mais próximas de horizontes pedogenéticos. Estes últimos autores, no entanto, estudaram apenas solos nas Ordens Neossolos e Argissolos.

Esses estudos exemplificam situações diferentes que geraram ideias e proposições diversas. Embora a diversidade de abordagens seja saudável, dificulta a comunicação e as comparações entre diferentes pesquisas. É natural que este tipo de fenômeno ocorra nas etapas iniciais de um estudo, mas à medida que a massa crítica de informações aumenta, deve haver ações para buscar a convergência de conceitos e métodos.

A ampliação dos estudos e do entendimento sobre o saprolito carece de instrumentos tanto concretos quanto conceituais para seu reconhecimento e manipulação. Operações de pensamento básicas como reconhecimento, ordenação e classificação de um objeto, são ainda incipientes para o saprolito. Nesse contexto, a necessidade de um sistema de classificação de saprolitos ou material do subsolo é cada vez maior (BREVIK et al., 2016; JUILLERET et al., 2016). Para que isto ocorra existem vários obstáculos que precisam ser superados, pois uma

das funções de um sistema de classificação é facilitar e melhorar a comunicação entre seus usuários. Para tanto, é preciso que estes compartilhem conceitos e percepções semelhantes.

Nesse sentido, este trabalho foi desenvolvido como contribuição para convergência no conceito e método para a distinção entre camadas saprolíticas e horizontes pedogenéticos sob uma perspectiva quantitativa, com o intuito de dar um suporte objetivo nessa determinação.

### **3.2. Árvore de Decisão**

Com o avanço no desenvolvimento de técnicas quantitativas, o volume de informação gerado e o tamanho dos bancos de dados crescem em grande velocidade. Para que não sejam desperdiçados, é importante extrair o máximo possível de informações desses dados. A princípio, verificar se há algum padrão que aponte uma direção no conhecimento é a maneira mais adequada de usar tais informações (GARCIA, 2003; IGNÁCIO, 2010).

Assim tecnologias de análises de dados são fundamentais para obter conhecimento e informação específica sobre um determinado conjunto de dados. Silva (2012) aponta a técnica denominada Árvore de Decisão como um instrumento de apoio a tomada de decisão, consistindo numa representação gráfica das alternativas disponíveis geradas a partir de uma decisão inicial.

A árvore de decisão estabelece indicadores para separação dos objetos em classes baseadas nos atributos de um conjunto de dados, sendo esta técnica muito popular e utilizada com êxito em diversos campos, como na medicina (MEDEIROS e STEIN, 2001; SOÁREZ, 2009), na análise de mercado (SILVA et al., 2008; PEDRAZZI e VIEIRA, 2009) e até mesmo na agricultura, embora em estudos agronômicos sua utilização seja pouco expressiva, sendo utilizada, sobretudo, em agricultura de precisão (LATORRE et al., 2007; SOUZA et al., 2010; DELGADO et al., 2012).

Através da árvore de decisão é possível explorar, identificar, classificar e decompor estruturas complexas em outras mais simples. Os resultados são apresentados numa estrutura recursiva onde é expresso o processo de classificação de um item, caracterizado por um conjunto de atributos (QUINLAN, 1986). Árvore de decisão é uma técnica de aprendizado indutivo do tipo supervisionado, ou seja, os valores da classe (atributo) são conhecidos, e quando o domínio do atributo é discreto, tem-se uma tarefa de classificação (BASGALUPP, 2010). Desse modo, uma variável dependente é explicada à custa de  $n$  variáveis independentes.

Uma árvore de decisão representa uma segmentação hierárquica dos dados. O segmento original (conjunto completo de dados) é denominado nó da raiz da árvore. O algoritmo constitui-se de uma série de regras simples para dividir cada nó da raiz, sendo que cada regra atribui uma observação para um segmento com base no valor de entrada. Cada segmento resultante é ainda divido em subsegmentos e assim por diante até que o particionamento não seja mais possível. Um nó, como todos os seus sucessores, forma um ramo da árvore e os segmentos finais que não são mais particionados são conhecidos como nós terminais ou folhas da árvore (SILVA, 2012), como ilustra a Figura 2.



**Figura 2.** Árvore de Decisão para ocorrência de um jogo de futebol baseado no clima. (Fonte: REVISTABW).

De acordo com o exemplo da Figura 2, se tivermos uma situação de clima chuvoso e quantidade de chuva alta, deve-se decidir não jogar futebol. Ainda, através da árvore de decisão podem-se estabelecer regras de quando não há possibilidades de jogo, tal como: clima ensolarado e umidade alta.

As árvores de decisão podem ser usadas com objetivos distintos de acordo com o problema que se pretende resolver. Podemos classificar dados referentes a uma população de forma mais eficiente possível ou descobrir a estrutura de um determinado tipo de problema, compreender quais variáveis afetam a sua solução e construir um modelo que a solucione. Como também é possível identificar variáveis explicativas que realmente interessam para descrever uma determinada situação, deixando de lado as menos relevantes (RODRIGUES, 2006).

Dessa forma, neste trabalho a análise de dados através da árvore de decisão foi aplicada como o objetivo de verificar se a decisão dos autores no momento da descrição morfológica em denominar uma zona do perfil como sendo solo ou saprolito, possui concordância com resultados analíticos físicos e químicos; e em caso positivo, identificar quais as propriedades que mais influenciam na classificação de uma zona como pertencente ao solo ou ao saprolito.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Obtenção dos dados

Foram analisados 25 perfis regolíticos, P1 a P25, totalizando 137 horizontes e camadas formados a partir das seguintes litologias: granito, sienito, gnaisse, xisto, arenito e siltito (Tabela 1).

Os perfis estudados fazem parte do banco de dados do Grupo de Pesquisa em Mineralogia de Solos (GPEMSO) e foram descritos em duas teses:

- GUERRA (2015) – “Saprolitos na região Sudeste do Brasil: morfologia, classificação e evolução física-geoquímica-mineralógica” - estudou perfis desenvolvidos sobre rochas sedimentares e metamórficas em Minas Gerais e São Paulo em clima tropical (P1 a P12);
- SANTOS (2015) – “Saprolitologia aplicada à gênese e às implicações ambientais de regolitos do Estado de Pernambuco” - estudou perfis desenvolvidos sobre rochas ígneas e metamórficas em Pernambuco em clima semi-árido (P13 a P25).

### 4.2. Análise dos dados

Utilizou-se a técnica da árvore de decisão através do método da partição recursiva e o critério estabelecido para a divisão foi o da Deviance. Foi utilizada a função Tree da biblioteca tree do software R (RIPLEY, 2016). Este método consiste na divisão recursiva do conjunto de observações em subgrupos filhos construindo uma árvore da raiz para as folhas. Em cada passo o algoritmo determina uma regra de classificação, selecionando uma variável e um ponto de corte nos valores dessa variável, que maximize uma medida de impureza (RODRIGUES, 2006).

**Tabela 1.** Perfis regolíticos estudados.

Referência	Perfil	Litologia	Classificação do Solo
GUERRA (2015) Região Sudeste	P1	Xisto	Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico
	P2	Xisto	Argissolo Amarelo Distrófico típico
	P3	Xisto	Argissolo Vermelho Eutrófico típico
	P4	Xisto	Argissolo Acinzentado Eutrófico típico
	P5	Gnaisse	Argissolo Acinzentado Eutrófico típico
	P6	Gnaisse	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico
	P7	Arenito	Cambissolo Háplico Alítico típico
	P8	Arenito	Cambissolo Háplico Ta Distrófico típico
	P9	Arenito	Cambissolo Háplico Ta Distrófico típico
	P10	Siltito	Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico
	P11	Siltito	Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico
	P12	Siltito	Argissolo Vermelho-Amarelo Ta Distrófico típico
SANTOS (2015) Região Nordeste	P13	Gnaisse	Chernossolo Argilúvico Órtico típico
	P14	Gnaisse	Chernossolo Argilúvico Órtico típico
	P15	Gnaisse	Cambissolo Háplico Tb Distrófico léptico
	P16	Gnaisse	Chernossolo Argilúvico Órtico típico
	P17	Granito	Neossolo Regolítico Eutrófico solódico
	P18	Gnaisse	Neossolo Regolítico Eutrófico típico
	P19	Gnaisse	Planossolo Nátrico Sálico típico
	P20	Gnaisse	Neossolo Quartzarênico Órtico êutrico
	P21	Sienito	Cambissolo Háplico Tb Eutrófico típico
	P22	Sienito	Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário
	P23	Sienito	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico abrúptico cambissólico
	P24	Gnaisse	Luvissolo Crômico Órtico típico
	P25	Granito	Neossolo Regolítico Eutrófico solódico

Este algoritmo é um modelo de regressão não-paramétrico que estabelece uma relação entre as variáveis independentes (x) com uma única variável dependente ou resposta. O modelo é ajustado mediante sucessivas divisões binárias no conjunto de dados, para tornar os subconjuntos de dados da variável resposta cada vez mais homogêneos. Assim o principal objetivo desse método é obter divisões dos dados que permitam definir grupos homogêneos

relativos à variável dependente, neste caso a determinação de um horizonte ou camada do solo como saprolito ou como solo, pelos autores da descrição morfológica do perfil.

A árvore de decisão tem como característica uma representação hierárquica que traduz uma progressão da análise de dados no sentido de uma previsão ou classificação. Em cada nível da árvore tomam-se decisões acerca da estrutura do nível seguinte até atingir os nós terminais (RODRIGUES, 2006).

A decisão sobre a denominação de horizontes e camadas durante a descrição morfológica de um perfil regolítico pode levar em consideração elementos intrínsecos ao perfil, como cor e textura, bem como elementos extrínsecos, como posição na paisagem e declividade. No entanto, todo esforço no sentido de 1) tornar estes elementos considerados cada vez mais claros e objetivos e 2) buscar análises quantitativas que sustentem as denominações ou mesmo que sejam usadas como critério para sua determinação, constitui-se em contribuições para estudo deste objeto.

Nesse sentido, a análise dos dados foi realizada para correlacionar a interpretação dos autores na denominação de camadas saprolíticas ou horizontes pedogenéticos com resultados analíticos, quantitativos, obtidos a partir de amostras coletadas em campo.

#### 4.3. Variáveis analisadas

A descrição morfológica, amostragem e as análises necessárias para a descrição dos perfis estão detalhadas nas respectivas teses. Resumidamente, a coleta e descrição morfológica dos perfis foram realizadas segundo Santos et al. (2005) com acréscimo de detalhes específicos de acordo com o objetivo de cada autor. Foram tomadas para este trabalho apenas análises físicas e químicas realizadas com as mesmas metodologias nas duas teses ou com metodologias semelhantes que não comprometem a comparação entre os resultados (Tabela 2).

A densidade do solo e saprolito (Ds) foram determinadas pelo método do anel volumétrico, onde o material contido no anel foi seco em estufa de circulação de ar a 105 °C até peso constante. Com os valores das massas e respectivos volumes, foram calculadas as densidades do material. Vale salientar que para o perfil 21 (P21) não há resultado de densidade do saprolito.

Após a aferição da massa seca (ms) e volume (vs) do material, a densidade ( $\text{g cm}^{-3}$ ) foi calculada pela Equação 1:

$$Ds = \frac{ms}{vs}$$

**Tabela 2.** Variáveis físicas e químicas analisadas.

Variáveis Avaliadas		Abreviação
<b>Física</b>	Porosidade Total	PT
	Densidade do Solo	Ds
	Densidade das Partículas	Dp
<b>Extração Seletiva de Ferro</b>	Ditionito-Citrato-Bicarbonato (DCB)	Fe <sub>DCB</sub>
	Oxalato de Amônio (OA)	Fe <sub>OA</sub>
	Relação da extração de Fe	Fe <sub>DCB/Fe<sub>OA</sub></sub>
<b>Composição Química Total</b>	Óxido de Ferro	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Óxido de Alumínio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Óxido de Cálcio	CaO
	Óxido de Magnésio	MgO
	Óxido de Potássio	K <sub>2</sub> O
	Óxido de Sódio	Na <sub>2</sub> O
	Óxido de Fósforo	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	Óxido de Titânio	TiO <sub>2</sub>

A densidade de partículas (Dp) foi determinada por Santos (2015) pelo método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997) e por Guerra (2015) pelo método do picnômetro a gás hélio (DANIELSON, SUTHERLAND, 1986).

A porosidade total (PT) foi estimada a partir dos valores da densidade do material (solo ou saprolito) e da partícula através da Equação 2:

$$PT (\%) = \left( 1 - \frac{Ds}{Dp} \right) \times 100$$

As extrações seletivas de ferro foram realizadas pelo método do ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) e do oxalato de amônio no escuro (OA) descritos em Mehra e Jackson (1958) e McKeague e Day (1966), respectivamente.

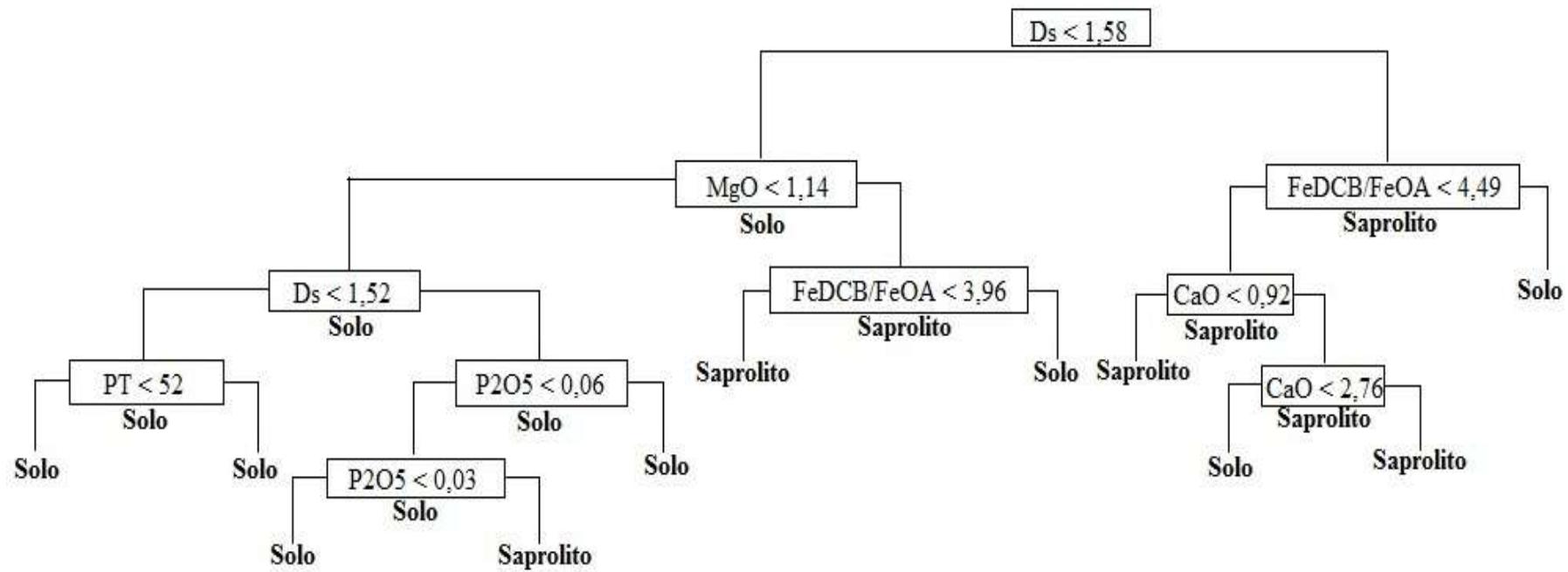
Os elementos totais foram determinados por digestão com aquecimento por meio da combinação de ácidos (HNO<sub>3</sub> e HClO<sub>4</sub>), sendo os elementos determinados por espectrometria de massa (ICP-MS).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A árvore de decisão foi construída tomando como referência o julgamento dos autores que descreveram os perfis sobre a decisão entre quais horizontes e/ou camadas encontrava-se a transição solo-saprolito. Logicamente, não existe consenso nem na literatura nem na prática sobre os critérios que devem ser utilizados. Pressupõe-se que os dois autores, que têm experiência em levantamento de solos, ao se debruçarem sobre o estudo do saprolito, possuíam um pouco mais de reflexão e leitura sobre o assunto. Por outro lado, a decisão sobre o local da transição solo-saprolito foi determinada a partir de duas interpretações diferentes que, embora instruídas na literatura sobre saprolitos, não eram exatamente coincidentes. Acreditamos que, assim, este estudo contempla, ainda que em miniatura, uma situação comum nas descrições de perfis de solo e que, muito provavelmente, se repetirá com a popularização da inclusão do saprolito nos estudos de campo. Idealmente seria interessante que os dois autores pudessem avaliar todos os perfis. Talvez o presente trabalho possa inspirar novas pesquisas nesta direção.

A árvore de decisão construída pelo método da partição recursiva para as variáveis avaliadas (Tabela 2) no conjunto de perfis regolíticos (Tabela 1) está esquematizada na Figura 3. Através do modelo, as propriedades que mais contribuíram para distinguir os horizontes pedogenéticos das camadas saprolíticas no perfil foram, em ordem decrescente de importância,  $D_s$ ,  $Fe_{DCB}/Fe_{OA}$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $PT$  e  $P_2O_5$ . Com estas seis variáveis seria possível determinar quais horizontes ou camadas descritos deveriam ser atribuídos como solo e quais como saprolito.

A partir da árvore de decisão, a percepção dos autores foi relacionada com um conjunto de variáveis medidas, buscando suporte não-subjetivo, pelo menos nas condições do presente trabalho. Surpreendente o número de variáveis associadas a esta decisão é bastante pequeno. Portanto, solo e saprolito poderiam ser distinguidos com base em análise quantitativa de natureza física e química, não subjetiva, com grande grau de acerto, conforme será visto a seguir.



**Figura 3.** Árvore de decisão para a classificação das zonas dos perfis regolíticos estudados.

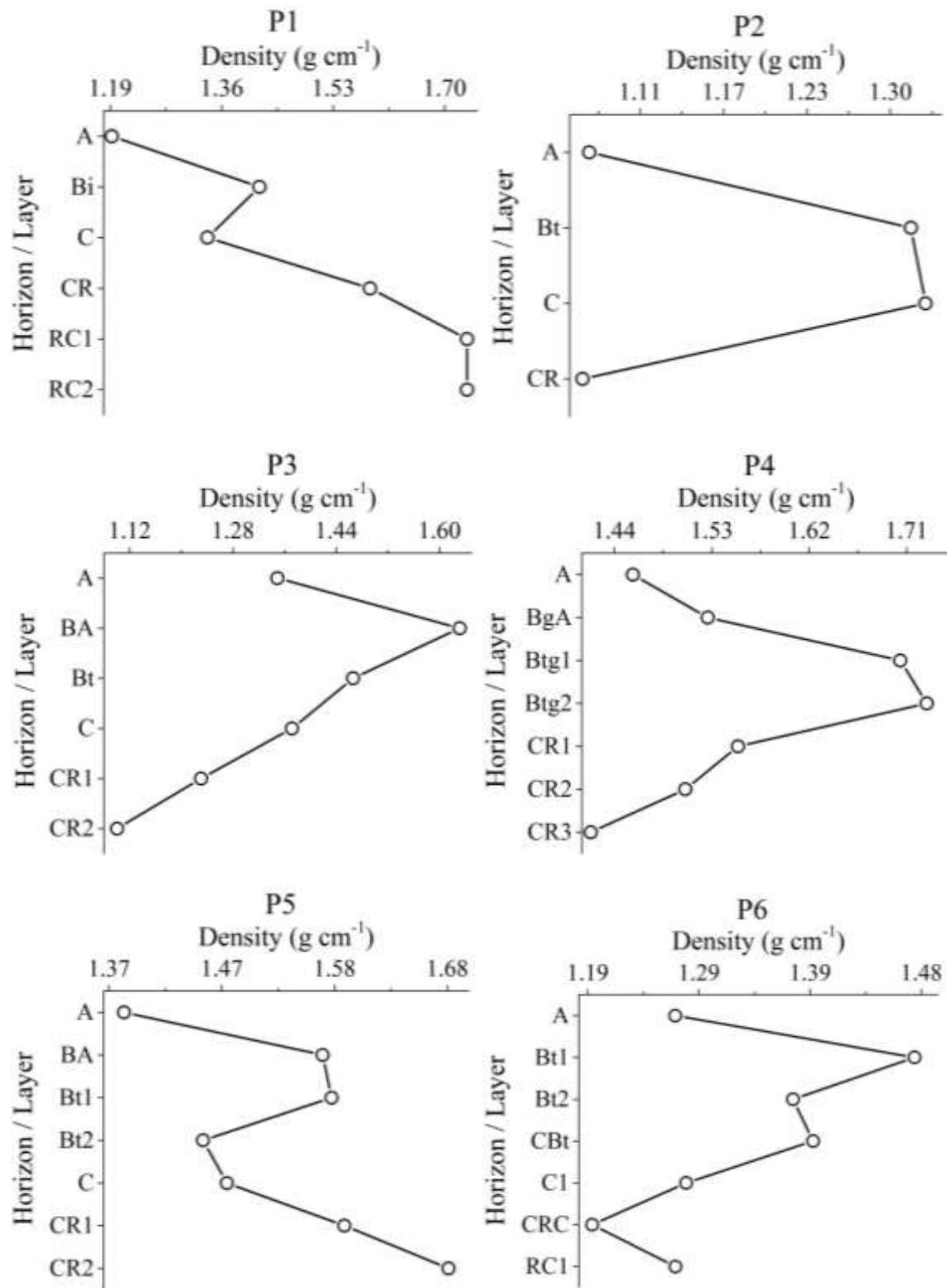
### 5.1. Propriedade principal: Densidade do Solo

A principal discriminante entre solo e saprolito no modelo foi a densidade do solo (Ds). Utilizando apenas a Ds como critério, 81% dos horizontes/camadas foram alocados concordantemente pela árvore de decisão em relação ao julgamento realizado em campo pelos autores.

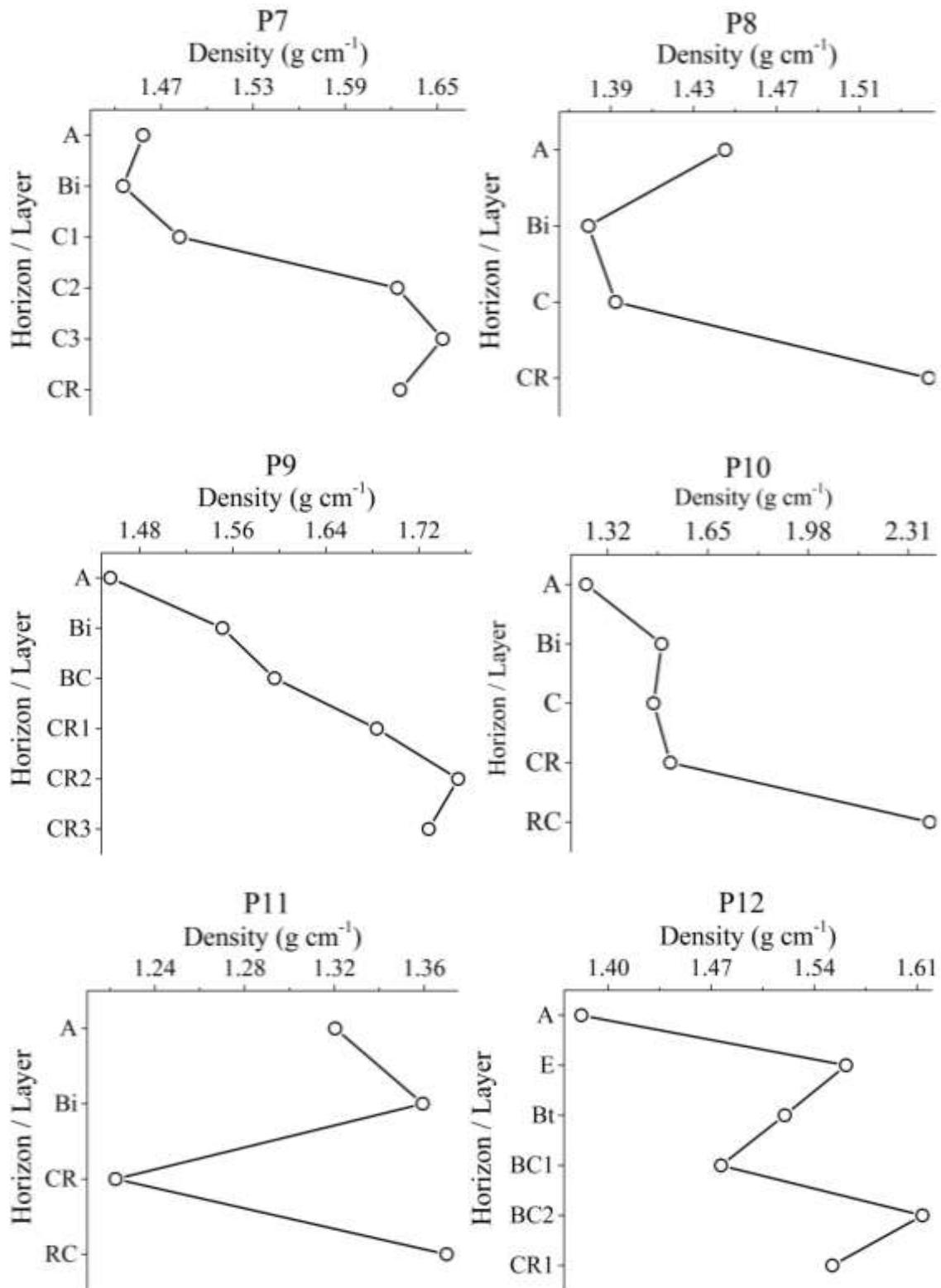
A Ds apresentou valores diferentes em profundidade em todos os perfis, geralmente diminuindo à medida que a pedogênese avança (Figuras 4 e 5). As camadas saprolíticas, em geral, apresentam uma densidade maior em relação aos horizontes pedogenéticos (OLIVEIRA, 2012), a qual está associada ao aumento dos fragmentos grosseiros em profundidade, menor desenvolvimento de estrutura pedogênica, menor incorporação de matéria orgânica, menor frequência da amplitude dos ciclos de umedecimento e secagem, entre outros. Esta maior densidade implica também em uma maior resistência à penetração das raízes e diminuição da porosidade total. Assim, identifica-se um encadeamento lógico (e implícito) que foi explicitado pelo procedimento matemático, que quantificou a correlação entre o atributo densidade do material e as diferentes zonas do perfil (solo e saprolito). De fato, a provável origem do termo saprolito remonta ao século XIX, quando Becker (1895), definiu o termo saprolito como o produto não transportado resultante do intemperismo da rocha e que apresenta muito pouca ou nenhuma perda de volume (isovolume) em relação à rocha originária.

Dessa forma, a estrutura do saprolito está ligada a fase sólida residual e/ou neorformada da intemperização da rocha (CALVERT, BUOL, WEED, 1980), sendo composta por minerais parcial ou totalmente dissolvidos, minerais neoformados e por um sistema de porosidade (KRETZSCHMAR et al., 1997).

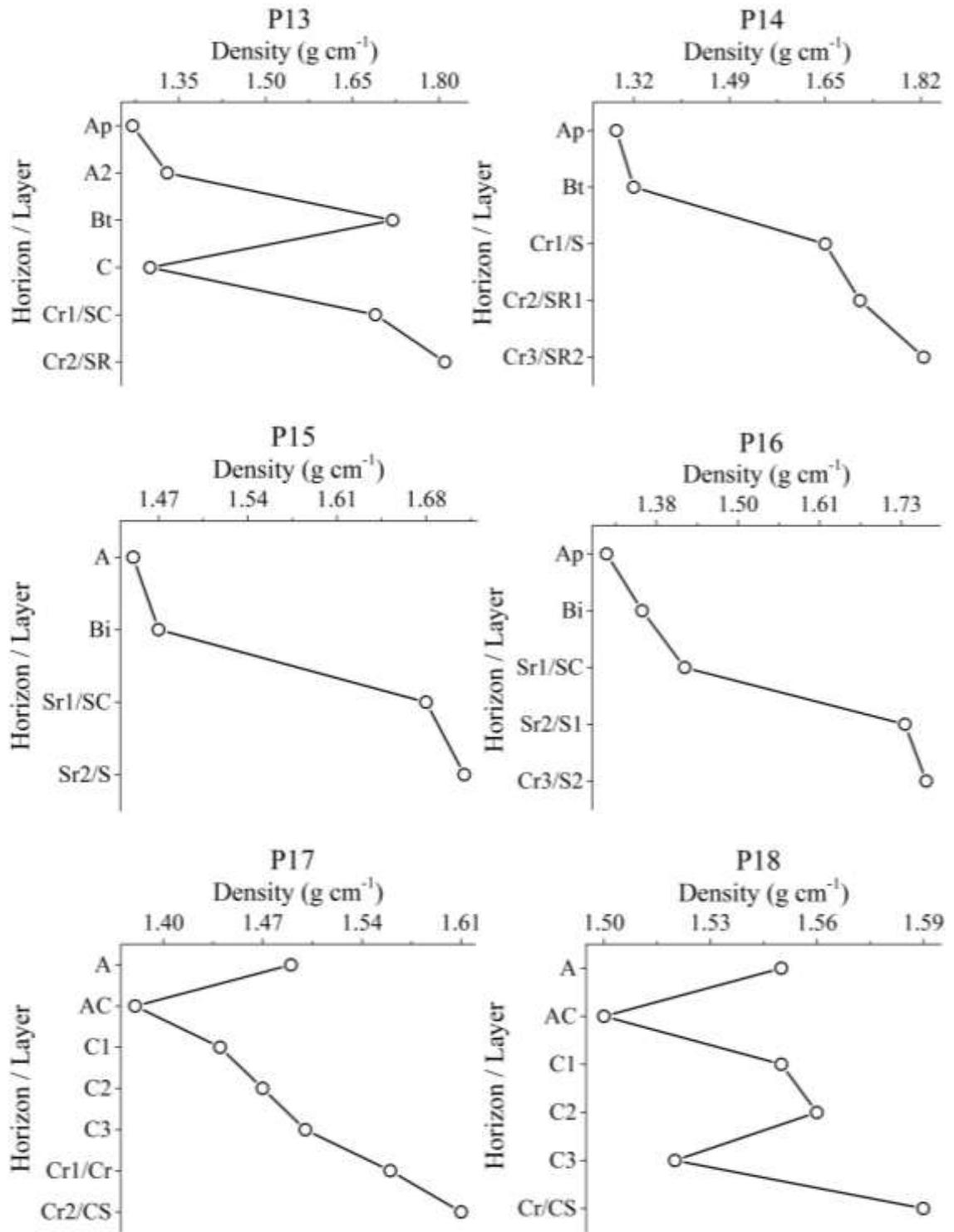
O conceito de isovolume assume que, sendo o intemperismo um processo que ocorre geralmente com perda de massa, enquanto o volume inicial for mantido, implica-se um aumento da porosidade (COSTA e CLEAVES, 1984). A perda do isovolume no saprolito ocorre quando há variação do volume inicial da rocha, ou por contração, devido ao colapso do sistema poroso pelo peso da matéria sobrejacente, ou por expansão, devido à formação de peds ou incorporação de matéria orgânica, por exemplo. Tanto com a ação de processos pedogenéticos quanto, na sua ausência, com a formação de sedimentos, novos arranjos das partículas primárias e as neoformadas são construídos, e com isto, mudanças também nas relações de massa e volume do perfil (STOLT, BAKER, SIMPSON, 1991).



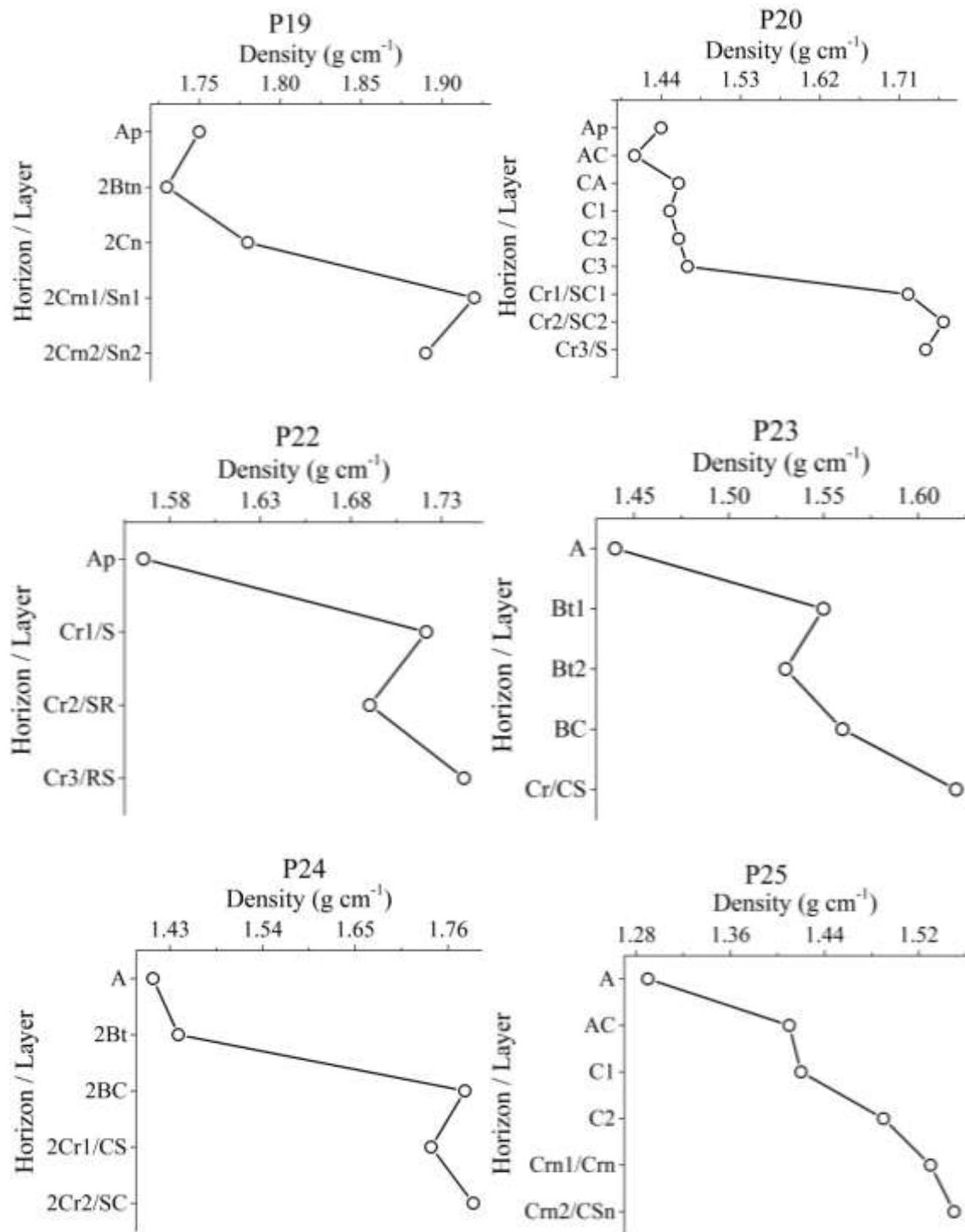
Continua...



**Figura 4.** Densidade do solo dos horizontes e camadas dos perfis regolíticos descritos por GUERRA (2015).



Continua...



**Figura 5.** Densidade do solo dos horizontes e camadas dos perfis regolíticos descritos por SANTOS (2015).

Assim, assume-se que a perda do isovolume se dá na transição entre as camadas saprolíticas e horizontes pedogenéticos. Esta perda geralmente implica em diminuição da densidade do solo. Isto se dá, comumente, a partir do horizonte B, devido ao conjunto de modificações típicas da pedogênese: formação da estrutura do solo, que no geral aumenta ainda mais a porosidade total do solo e com isto, aumenta o volume da massa. Nas regiões próximas à superfície, este processo recebe ainda a contribuição da atividade biológica de plantas e animais, da incorporação de materiais biológicos, resultante de tecidos orgânicos em variados estádios de decomposição, mas que possuem densidade da ordem de 10 a 20 vezes menor que os materiais minerais, e ainda da diminuição do peso de horizontes sobrejacentes.

Essa tendência geral, diminuição da densidade à medida que avança a pedogênese no perfil, também é relatada em outros trabalhos (PEDRON et al., 2010, 2011; OLIVEIRA, 2012).

Ao realizar-se a descrição morfológica do perfil para separar as zonas são levados em consideração o tipo, a profundidade, a cor, a textura, a estrutura, a porosidade, a consistência e transição dos horizontes e/ou camadas (EMBRAPA, 2013). O atributo densidade do solo na avaliação em campo é observado indiretamente pela análise visual da porosidade e penetração de raízes. Posteriormente, pode ser analisado em laboratório a partir de amostras adequadamente coletadas.

No estudo desenvolvido por Stolt, Baker e Simpson (1991) foram sugeridos atributos físicos (teor de cascalho e densidade do solo) e químicos (extração de Al, Fe e Si por DCB) para diferenciação entre os produtos do intemperismo (solo e saprolito). Aqueles resultados corroboram com os resultados do presente estudo que, mesmo realizado a partir de uma ótica matemática, também identificou o atributo densidade do solo como o que melhor se correlaciona com a transição solo-saprolito (Figura 3).

Os resultados deste trabalho também são ressonantes com os relatados por Pedron et al. (2015), que estudando seis perfis regolíticos de Argissolo verificaram, através de análise de variância, que dentre as variáveis físicas avaliadas a densidade do solo foi a única que diferiu significativamente com os horizontes do perfil.

## 5.2. Propriedades secundárias

As variáveis secundárias identificadas pelo modelo foram a relação de extração de Fe por ditionito-citrato-bicarbonato sobre oxalato de amônio ( $Fe_{DCB}/Fe_{OA}$ ) e o teor total de óxido de magnésio (MgO). O uso destas propriedades aumentou em 4% o acerto do modelo (de 81% para 85%), como será discutido no item 5.3.

O modelo identificou o teor de alguns elementos ( $MgO$ ,  $CaO$  e  $P_2O_5$ ) como importantes para a determinação da transição solo-saprolito. Entretanto não é coerente fazer inferências universais destes resultados, pois o teor de tais elementos depende diretamente da composição da rocha, além de que podem ser adicionados ao solo por fertilizantes ou outras fontes.

Já a razão entre o teor de Fe obtida com os extratores DCB e AO ( $Fe_{DCB}/Fe_{OA}$ ) encontra maior suporte no conhecimento dos processos de intemperismo e pedogênese.

O extrator oxalato de amônio quando no escuro (OAE), extrai óxidos pouco cristalinos ( $Fe_{OA}$ ) aos raios X (SCHWERTMANN, 1973). Enquanto a solução de ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) extrai os óxidos de ferro pedogênicos ( $Fe_{DCB}$ ) que inclui óxidos cristalinos, de baixa cristalinidade, e não-cristalinos, como por exemplo, hematita, goethita, maghemita, lepidocrocita e ferrihidrita (MEHRA & JACKSON, 1960).

A dissolução de minerais primários ricos em Fe e sua rápida precipitação tendem a formar partículas de pequena cristalinidade, que são quantificadas pelo extrator oxalato de amônio. À medida que a pedogênese avança, estas formas tendem a se transformar, por processos diversos, em óxidos mais cristalinos. O extrator DCB solubiliza todas as formas de ferro secundárias. Portanto, a razão  $Fe_{DCB}/Fe_{OA}$  tende a aumentar na medida que o intemperismo e/ou a pedogênese avançam no perfil.

Stolt, Baker e Simpson (1991) também sugeriram a extração de Fe por DCB como indicador da transição solo-saprolito. E em estudo mais recente, Pedron et al. (2015) confirmaram que a análise de  $Fe_{DCB}$  foi uma das propriedades que mais contribuiu para a identificação dessa fronteira.

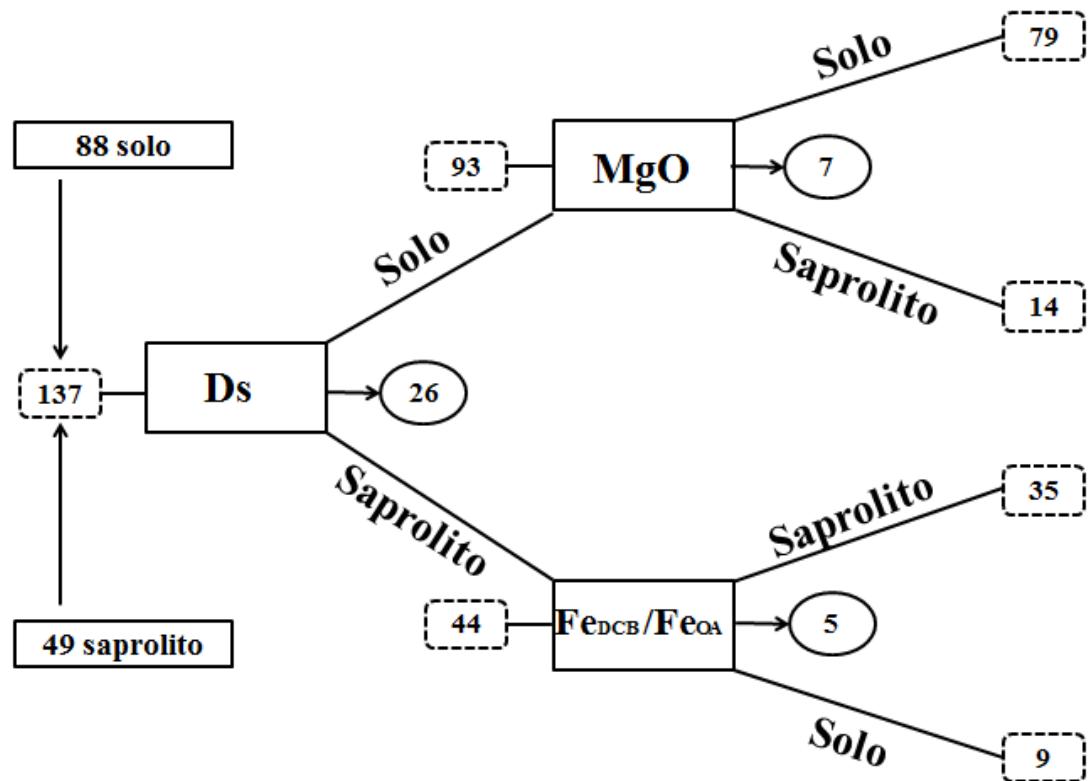
### 5.3. Comparação entre o modelo e a interpretação dos autores

A concordância do modelo em relação a designação feita pelos autores foi realizada para identificar sua precisão. Utilizando apenas o nó raiz (Ds) a concordância foi de 81%. Considerando-se apenas a Ds, o modelo classificaria erroneamente 15 horizontes de solo e 11 camadas de saprolito, de um total de 88 e 49, respectivamente (Figura 6).

Utilizando os três primeiros nós (Ds,  $Fe_{DCB}/Fe_{OA}$  e  $MgO$ ) a concordância é de 85%, e a classificação errada (sempre tomando a descrição dos autores como correta) seria de 7 horizontes de solo e 5 camadas saprolíticas.

No computo final, considerando todos os nós da árvore, a concordância é dada por 93%.

Portanto fica clara a magnitude da densidade do solo em relação às outras variáveis, no conjunto de materiais analisados.



**Figura 6.** Classificação do solo e saprolito de acordo com as principais variáveis da árvore de decisão e com a designação feita pelos autores. Retângulos tracejados indicam o número de horizontes e/ou camadas analisadas, e as elipses representam os discordantes entre os autores e aqueles definidos pela árvore de decisão.

Com o propósito de identificar as possíveis peculiaridades dos perfis que resultaram nos erros de classificação cometidos pelo modelo foram verificados os três principais nós da árvore. Observou-se que o maior número de erros com base apenas da densidade do solo ocorreu nos perfis desenvolvidos sobre rochas metamórficas, sobretudo os xistos. A classificação dos perfis de rochas sedimentares e ígneas foi mais precisa, porque resultou em menor discordância na determinação dos horizontes e/ou camadas do regolito feita pela árvore e pelos autores.

Tais observações demonstram que pode haver uma dificuldade maior na distinção entre solo e saprolito de acordo com a complexidade natural do material de origem, pois este é um fator que determina a gênese do perfil do solo. Price e Velbel (2003) já relataram que perfis regolíticos desenvolvidos a partir de rochas metamórficas heterogêneas também são

heterogêneos, o que ocasiona a maior complexidade para a interpretação de padrões na frente vertical do intemperismo. Observações semelhantes são encontradas nas teses de Santos (2015) e Guerra (2015).

Ao tomar-se a relação  $Fe_{DCB}/Fe_{OA}$  e a Ds em conjunto, o erro do modelo dá-se apenas em três perfis regolíticos, todos desenvolvidos sobre gnaisses (novamente, rochas metamórficas). Estes perfis apresentam transição solo-saprolito menos espessas, ocorrendo em profundidade menor que 100 cm.

Essa observação sugere que a importância da relação  $Fe_{DCB}/Fe_{OA}$  depende do grau de desenvolvimento da zona do perfil e da abundância de Fe no material de origem. Em perfis pouco desenvolvidos, ainda não há diferenciação significativa entre os processos de intemperismo (mais associados às formas pouco cristalinas de óxidos de ferro) e pedogenéticos (mais associados às formas mais cristalinas). Além disto, materiais de origem pobres em ferro, como a maioria dos gnaisses, talvez não ofereçam sensibilidade suficiente para aplicação deste critério.

Diante do exposto, observa-se que o algoritmo classificatório aplicado para as propriedades físicas e químicas analisadas mostrou bastante coerência com as informações da literatura e com os modelos conceituais de desenvolvimento do regolito, e corrobora com a designação dada pelos autores ao descreverem os perfis regolíticos no campo. Através da árvore de decisão foi possível identificar atributos quantitativos que auxiliam na determinação de uma zona como solo ou saprolito, o que pode dar um suporte sob uma ótica objetiva na determinação das zonas dos perfis regolíticos.

## 6. CONCLUSÕES

A árvore de decisão é uma técnica eficiente para a distinção entre os horizontes pedogenéticos e camadas saprolíticas, já que a mesma classificou 93% dos perfis em concordância com o julgamento dos autores dado no campo. Logicamente, deve-se aceitar o pressuposto de que o julgamento dos autores é correto. Surpreendentemente, 81% dos acertos na designação dos horizontes e/ou camadas foram associados a apenas uma variável, a densidade do material (Ds), solo ou saprolito.

Os regolitos desenvolvidos sobre rochas metamórficas foram aqueles que apresentaram maior frequência de erro entre o modelo da árvore de decisão e a denominação atribuída em campo.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASGALUPP, M.P. *LEGAL-Tree: Um algoritmo genético mult-objetivo lexicográfico para indução de árvores de decisão*. 2010, 94 p. Tese (Doutorado em Ciências da Computação e Matemática Computacional). Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

BECKER, G. F. *A reconnaissance of the goldfields of the southern Appalachians*. Lansing: Universidade de Michigan; U.S. Government Printing Office, 1895. 85p.

BREVIK, E.C., CALZOLARI, C., MILLER, B.A., PEREIRA, P., KABALA, C., BAUMGARTEN, A., JORDÁN, A. 2015. Soil mapping, classification, and modeling: history and future directions. *Geoderma*, v. 264, part. B, p. 256-274, 2015.

BUTT, C.R.M.; LINTERN, M.J.; ANAND, R.R. Evolution of regoliths and landscape in deeply weathered terrain-implications for geochemical exploration. *Ore Geology Reviews*, Amsterdam, v.16, p. 167-183, 2000.

CALVERT, C.S., BUOL, S.W., WEED, S.B. Mineralogical characteristics and transformations of a vertical rock-saprolite-soil sequence in the North Carolina Piedmont: I. Profile morphology, chemical composition, and mineralogy. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v. 44, n. 5, p. 1096-1103, 1980.

COSTA, J.E., CLEAVES, E.T. The Piedmont landscape of Maryland: A new look at an old problem. *Earth Surf. Processes Landforms*, v. 9, p. 59-74, 1984.

DANIELSON, R.E., SUTHERLAND, P.L. Porosity. In: KLUTE, A. (Ed.). *Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods*. 2 ed. Madison, American Society Agronomy, 1986. P. 443-461.

DELAGADO, R.C.; SEDIYAMA, G.C.; COSTA, M.H.; SOARES, V.P.; ANDRADE, RG. Classificação espectral de área plantada com a cultura da cana-de-açúcar por meio da Árvore de Decisão. *Revista de Engenharia Agrícola*, Jaboticabal-SP, v. 32, n. 2, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997, 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

FREEZE, R.A.; CHERRY, J.A. *Groundwater*. Englewood Cliffs: Prentice Hall, New Jersey, 1979. 604p.

GARCIA, S.C. O uso de árvores de decisão na descoberta de conhecimento na área da saúde. 2003, 88p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

GUERRA, A. R. Saprolitos na região Sudeste do Brasil: morfologia, classificação e evolução física-geoquímica-mineralógica. 2015, 256p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição Mineral de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

IGNÁCIO, S.A. Importância da estatística para o processo de conhecimento e tomada de decisão. *Revista Paranaense de Desenvolvimento*, Curitiba, n.118, p.175-192, 2010.

ISSS. 17th World Congress of Soil Science “Soil Science: confronting new realities in the 21st century”, 14-2- August ,2002, Bangkok – Thailand. CD-ROM.

JUILLET, J., DONDEYNE, S., VANCAMPENHOUT, K., DECKERS, J., HISSLER, C. Mind the gap: A classification system for integrating the subsolum into soil surveys. *Geoderma*, v. 264, p. 332-339, 2016.

KRETZSCHMAR, R., ROBARGE, W.P., AMOOZEGAR, A., VEPRASKAS, M.J. Biotite alteration to halloysite and kaolinite in soil-saprolite profiles developed from mica schist and granite gneiss. *Geoderma*, Amsterdam, v. 75, n. 4/5, p. 155-170, 1997.

LATORRE, M.P., CARVALHO JÚNIOR, O.A., SANTOS, J.R., SHIMABUKURO, Y.E. Integração de dados de sensoriamento remoto multi resoluções para a representação da cobertura da terra utilizando campos contínuos de vegetação e classificação por árvore de decisão. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 25, n. 1, p. 63-74, 2007.

MACHADO, S.R.V. Caracterização química, física e mineralógica de saprolitos do Estado de São Paulo e suas implicações na taxonomia e uso agrícola. 1997, 105p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

MCKEAGUE, J.A., DAY, D.H. Dithionite- and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, v. 46, n. 1, p. 13-22, 1966.

MEDEIROS, L.R., STEIN, A. Medicina baseada em evidências e análise de decisão na clínica cirúrgica. *Revista AMRIGS*, Porto Alegre, v. 45, n.1/2, p. 45-50, 2001.

MEHRA, O.P., JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. In: *Clays & Clay Mineral Conference*, 7., London, 1960. Proceedings. London, v.7, 1960. p.317-327.

MELO, V.F.; COSTA, L.M.; BARROS, N.F.; FONTES, M.P.F.; NOVAIS, R.F. Reserva mineral e caracterização mineralógica de alguns solos do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.19, p. 159-164, 1995.

O'BRIEN, E.L.; BUOL, S.W. Physical transformations in a vertical soil-saprolite sequence. *Soil Science Society American Journal*, Madison, v. 48, p. 354-357, 1984.

OLIVEIRA, R.B. 2012, 72p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Centro de Ciências agrárias, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

PEDRAZZI, D.R., VIEIRA, S.F.A. O processo de tomada de decisão de investimentos de capital nas micro, pequenas e médias empresas: Um estudo de caso do setor metalúrgico de Londrina-PR. Revista FACESI, Ibirapuã, v. 1, n. 1, 2009.

PEDRON, F.A. Mineralogia, morfologia e classificação de saprolitos e Neossolos derivados de rochas vulcânicas no Rio Grande do Sul. 2007, 160p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências agrárias, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

PEDRON, F.A.; AZEVEDO, A.C.; DALMOLIN, R.S.D.; STÜRMER, S.L.K. & MENEZES, F.P. Morfologia e classificação taxonômica de Neossolos e saprolitos derivados de rochas vulcânicas da formação Serra Geral no Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 119-128, 2009.

PEDRON F.A., FINK JR, DALMOLIN R.S.D., AZEVEDO A.C. Morfologia dos contatos entre solo-saprolito-rocha em Neossolos derivados de arenitos da Formação Caturrita no Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.34, n. 6, p. 1941-50, 2010.

PEDRON F.A., FINK J.R., RODRIGUES M.F., AZEVEDO A.C. Condutividade e retenção de água em Neossolos e saprolitos derivados de Arenito. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1253-1262, 2011.

PEDRON F.A., OLIVEIRA, R.B., DALMOLIN, R.S.D., AZEVEDO A.C., KILCA, R.V. Boundary between soil and saprolite in Alisols in the south of Brazil. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 39, n. 3, p. 643-653, 2015.

PRICE, J.R., VELBEL, M.A. Chemical weathering indices applied to weathering profiles developed on heterogeneous felsic metamorphic parent rocks. Chemical Geology, Amsterdam, v. 202, p. 397-416, 2003.

QUINLAN, J.R. Induction of decision trees. Machine Learning, Boston, v. 1, n. 1, p. 81-106, 1986.

Ripley, B. (2016). Tree: Classification and Regression Trees. R package version 1.0-37. Disponível em <http://CRAN.R-project.org/package=tree>. Acesso em: 10 de Agosto de 2016.

REVISTABW. Aprendizagem por Árvore de Decisão. Revista Brasileira de Web: Tecnologia. Disponível em <http://www.revistabw.com.br/revistabw/aprendizagem-arvore-de-decisao/>. Acesso em 19 de Setembro de 2016.

RODRIGUES, M.A.S. Árvores de Classificação. 2006, p. 32. Monografia (Monografia em Matemática) – Departamento de Matemática, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, 2006.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C.; SHIMIZU, S.H. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 5. ed. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100 p.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C.; SHIMIZU, S.H. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 6. ed. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013. 100 p.

SANTOS, J.C.B. Saprolitologia aplicada à gênese e às implicações ambientais de regolitos do Estado de Pernambuco. 2015, 318p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição Mineral de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

SCHOENEBERGER, P.J.; WYSOCKI, D.A.; BENHAM, E.C. & SOIL SURVEY STAFF. Field book for describing and sampling soils. Version 3.0. Lincoln: Natural Resources Conservation Service - National Soil Survey Center, 2012. 300p.

SCHWERTMANN, U. Use of oxalate for Fe extraction from soils. Canadian Journal of Soil Science, v. 53, p. 244-246, 1973.

SILVA, W.V., DEL CORSO, J.M., WELGACZ, H.T., PEIXE, J.B. VALIAÇÃO DA ESCOLHA DE UM FORNECEDOR SOB CONDIÇÃO DE RISCOS A PARTIR DO

MÉTODO DE ÁRVORE DE DECISÃO. Revista de Gestão USP, São Paulo, v. 15, n. 3, p. 77-94, 2008.

SILVA, A.M.M. Técnicas de Data Mining na aquisição de clientes para financiamento de Crédito Direto ao Consumidor - CDC. 2012, 183p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agronômica) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

SOÁREZ, P.C. Uso de modelos de análise de decisão nos programas de vacinação contra a varicela. 2009, 1997p. Tese (Doutorado em Medicina Preventiva) – Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

SOUZA, Z.M., CERRI, D.G.P., COLET, M.J., RODRIGUES, L.H.A., MAGALHÃES, P.S.G., MANDONI, R.J.A. Análise dos atributos do solo e da produtividade da cultura de cana-de-açúcar com o uso da geoestatística e árvore de decisão. Ciência Rural, Santa Maria, v.40, n.4, p.840-847, 2010.

STEFFEN, W.; RICHARDSON, K.; ROCKSTROM, J.; CORNELL, S. E.; FETZER, I.; BENNETT, E. M.; BIGGS, R.; CARPENTER, S. R.; VRIES, W.; WIT, C.A.; FOLKE, C.; GERTEN, D.; HEINKE, J.; MACE, G. M.; PERSSON, L. M.; RAMANATHAN, V.; REYERS, B.; SORLIN, S. Planetary Boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*. vol. 347, ISSUE 6223, 2015.

STOLT, M.H.; BAKER, J.C.; SIMPSON, T.W. Micromorphology of the soil-saprolite transition zone in Hapludults of Virginia. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 55, n. 4, p. 1067-1075, 1991.

STOLT, M.H.; BAKER, J.C.; SIMPSON, T.W. Characterization and genesis of saprolite derived from Gneissic Rocks of Virginia. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 56, n. 2, p. 531-539, 1992.

STOLT, M.H.; BAKER, J.C. Strategies for studying saprolite and saprolite genesis. In: CREEMENS, D.L. et al. (ed.). *Whole redolithpedology*. Madison: Soil Science Society of America, p. 1-20, 1994. (Special Publication, n. 34).