

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

APELES COSTA RIBEIRO

ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM GRADIENTE ALTITUDINAL EM  
FLORESTA OMBRÓFILA DENSA MONTANA, ES

JERÔNIMO MONTEIRO  
ESPÍRITO SANTO

201

APELES COSTA RIBEIRO

ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM GRADIENTE ALTITUDINAL EM  
FLORESTA OMBRÓFILA DENSA MONTANA, ES

Monografia apresentada ao  
Departamento de Ciências  
Florestais e da Madeira da  
Universidade Federal do Espírito  
Santo, como requisito parcial para  
obtenção do título de Engenheiro  
Florestal.

JERÔNIMO MONTEIRO

ESPÍRITO SANTO

2016

APELES COSTA RIBEIRO

ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM GRADIENTE ALTITUDINAL EM  
FLORESTA OMBRÓFILA DENSA MONTANA, ES


Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da  
Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título  
de Engenheiro Florestal.

Aprovada em: 01 de Dezembro de 2016

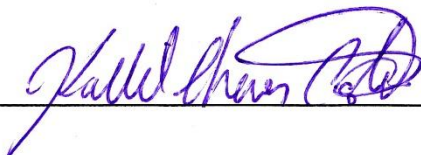
COMISSÃO EXAMINADORA



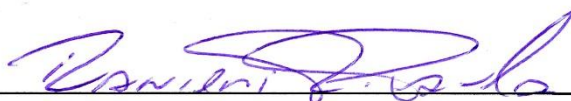
Prof. Dr. Marcos Vinicius Winckler Caldeira  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Orientador



MSc. William Macedo Delarmelina  
Universidade Federal do Espírito Santo



MSc. Kallil Chaves Castro  
Universidade Federal do Espírito Santo



Dr. Ranieri Ribeiro Paula  
Universidade Federal do Espírito Santo

## AGRADECIMENTOS

A Deus pelo seu amor e cuidado me guiando durante essa caminhada.

Aos meus pais Dozinete Batista Ribeiro e Joelma Reis Costa pelo apoio, paciência, confiança e luta de sempre, que permitiram que eu pudesse ser privilegiado em poder chegar até aqui.

A minha família querida que sempre me colocou em suas orações.

A minha namorada “Zélinha” pela paciência e pelo apoio em todos os momentos.

Ao professor Marcos Vinícius Winckler Caldeira pela orientação, ensinamentos, por abrir a porta de entrada para a iniciação científica e permitir a realização deste trabalho.

Ao CNPq pelo apoio e subsídios para que este trabalho fosse realizado.

A Universidade Federal do Espírito Santo pelo ensino e amizades proporcionadas.

Aos amigos do NUPEMASE, em especial ao Will (William) pela paciência de sempre e muita ajuda para a realização deste trabalho.

Ao José Renato (Painho), Kallil, Jonas Vinco, Diêgo, Italo Campanharo, Dudu Bassini, Lucas Dambroz pelo companheirismo no trabalho e amizade ao longo destes anos coletando dados no PARNA Caparaó.

Ao Sillão pela grande paciência por todos esses anos dividindo um lar e proporcionando muitas histórias engraçadas e inacreditáveis, muitas partidas de PES, peladas jogadas e pelo irmão que ganhei durante esses anos.

Ao Lucão, Jonas Vinco, Nino da viola, Pedra Azul, Luanzinho, Dudu, Tripa, Vitão e Davi Luiz pela amizade e pelos grupos de estudos durante toda a graduação, madrugadas estudando que nem sempre renderam boas notas, mas sempre muitas risadas.

Ao grande “vizinho” e amigo Maikon Keoma, vulgo gaúcho ou Pedro.

A todos da República “Fazenda Nossa” pela amizade e me proporcionarem uma segunda casa com momentos inesquecíveis em Alegre.

A toda a turma de Floresta 2012/1.

Aos amigos de longa data que mesmo de longe estiveram sempre presentes durante minha graduação.

E a todos os professores que passaram por minha vida me ensinando, incentivando e capacitando.

## RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo caracterizar os atributos químicos do solo em uma Floresta Ombrófila Densa Montana no PARNA do Caparaó. O estudo foi realizado em sete parcelas com dimensões de 20x50m, ao longo de um gradiente altitudinal em julho/2013. Foram coletadas 12 sub-amostras aleatórias em cada parcela nas camadas 0-5; 5-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade, as amostras foram homogeneizadas e retirada uma amostra composta por parcela. Posteriormente os principais atributos químicos do solo foram descritos e submetidos a comparação entre os valores médios das sete parcelas e caracterizados pelo método de análise de componentes principais, sendo feita a análise de agrupamento pela similaridade das parcelas. Os solos da área de estudo de maneira geral possuem acidez elevada, baixa fertilidade, elevado teor de alumínio e matéria orgânica. O gradiente altitudinal associado a temperatura e umidade foram as variáveis mais expressivas para os teores dos atributos químicos do solo, em que os solos de maiores altitudes possuem menor fertilidade. A matéria orgânica foi o atributo químico de maior influência para a fertilidade e acidez do solo, sendo de maior relevância nas camadas superficiais do solo.

**Palavras-chave:** Solos tropicais, Floresta Atlântica, Análise de Componentes Principais, Fertilidade do solo.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.2 Objetivos.....	4
1.2.1Objetivos gerais.....	4
1.2.2 Objetivos específicos.....	4
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1 Atributos químicos do solo.....	5
2.2 Análise de Componentes Principais.....	6
2.3 Atributos químicos do solo em gradiente altitudinal.....	8
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	9
3.1 Descrição da área de estudo.....	9
3.2 Estudo dos atributos químicos do solo.....	13
3.3 Análise dos dados.....	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	16
4.1 Atributos químicos do solo na Floresta Ombrófila Densa Montana, ES.....	16
4.2 Análise de Componentes Principais para os atributos químicos do solo.....	26
5. CONCLUSÕES.....	34
6. REFERÊNCIAS.....	35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição altitudinal, declividade e face de exposição das parcelas utilizadas para o estudo dos atributos químicos na Floresta Ombrófila Densa Montana no Parque Nacional do Caparaó, ES.....	10
Tabela 2.1 - Medidas descritivas dos atributos químicos do solo, nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm da Floresta Ombrófila Densa Montana no Parque Nacional do Caparaó, ES.....	14
Tabela 2.2 - Atributos químicos do solo nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, entre as parcelas de estudo na Floresta Ombrófila Densa Montana, no Parque Nacional do Caparaó, ES.....	20
Tabela 3 - Autovalores, porcentagens de explicação da variância dos componentes principais e correlação entre as componentes principais (CPs) e os atributos químicos de solo da Floresta Ombrófila Densa Montana no Parque Nacional do Caparaó, ES.....	26

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1 - Área de estudo da Floresta Ombrófila Densa Montana no Parque Nacional do Caparaó: microbacia, hidrografia, e posição das parcelas.....9
- Figura 1.2 - Precipitação mensal acumulada, precipitação histórica, temperatura média e temperatura média para o município de Caparaó, MG (estação meteorológica mais próxima da área de estudo) .....11
- Figura 1.3 - Área de Estudo na Floresta Ombrófila Densa Montana no PARNA do Caparaó, ES: delimitação da microbacia, hidrografia, relevo, representação das parcelas e suas declividades, distribuição das parcelas na face de exposição.....12
- Figura 2.1. A (0-5 cm), B (5-10 cm), C (10-20 cm) e D (20-40 cm) - Projeções dos atributos químicos de solo da Floresta Ombrófila Densa Montana, ES no plano principal entre as Componentes Principais (CPs) 1 e 2, para as camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm.....28
- Figura 2.2. A (0-5 cm), B (5-10 cm), C (10-20 cm), D (20-40 cm) - Dendrograma de agrupamento das parcelas da Floresta Ombrófila Densa Montana, ES, pelos atributos químicos do solo para as camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm.....31



## 1. INTRODUÇÃO

As florestas podem ser consideradas como um dos sistemas mais complexos entre os ecossistemas naturais terrestres, por meio de suas diferentes interações, relações da flora e fauna que coexistem em um equilíbrio dinâmico, modificando-se e sendo modificados pelos fatores ambientais. Estes ecossistemas atuam altamente produtivos em diferentes condições e mesmo em baixa disponibilidade de recursos, com seus mecanismos de sobrevivência (GOLLEY, 1983).

A produtividade e a resiliência de ecossistemas, estão relacionadas principalmente à capacidade que o ambiente tem de reaproveitar nutrientes. A movimentação dos nutrientes ocorre em três grandes ciclos, o ciclo geoquímico que envolve a ciclagem nos compartimentos inorgânicos, o bioquímico que está relacionado com a ciclagem interna dos vegetais, e o biogeoquímico onde ocorre a interação entre o sistema solo planta e atmosfera, estando relacionado à entrada saída e manutenção dos elementos dentro de ecossistemas (SWITZER; NELSON, 1972).

A elevada produção primária em solos de baixa fertilidade é um reflexo do clima propício associado principalmente à ciclagem de nutrientes no interior do sistema (GAMA-RODRIGUES et al., 2007). O processo de ciclagem de nutrientes pode ser de grande importância na manutenção dos teores de nutrientes nos solos, uma vez que por meio desta a depreciação no estoque de nutrientes no ecossistema é minimizada sem que a disponibilidade seja afetada drasticamente (CASTRO, 2014).

Os solos tropicais de uma maneira geral, necessitam de uma importante reserva de nutrientes em ecossistemas florestais, fazendo parte do fluxo de entrada e saída de nutrientes, e influenciando na distribuição de espécies vegetais, sob diferentes magnitudes e dinâmicas sucessionais, porém estes solos, muitas vezes apresentam grau elevado de intemperização (GAMA-RODRIGUES et al., 2007; KLIPPEL, 2010). Como resultado dos processos de formação dos solos, aqueles mais intemperizados ocasionalmente apresentam baixos teores de nutrientes, elevados teores de Al e acidez elevada. Porém, mesmo nestas condições algumas fisionomias florestais naturais ainda se mantêm altamente produtivas.

Nas regiões tropicais os solos em sua maioria apresentam material de origem pobre em nutrientes e elevado grau de intemperismo, de forma que a matéria orgânica

do solo tem importante função na manutenção e na disponibilização de nutrientes para vegetação, pelo processo de ciclagem de nutrientes (KOLM, 2001). Além da baixa fertilidade, estes são caracterizados pela acidez elevada, resultante da elevada lixiviação das bases e alta adsorção do fósforo inorgânico (CUNHA et al., 2007), de forma que a cobertura vegetal, ou seja, a distribuição de espécies, e a produtividade primária são estreitamente relacionadas com essas características (GAMA-RODRIGUES et al., 2007).

Para Guerra e Botelho (1996) os principais formadores do solo são: clima, relevo, organismos vivos, material de origem e tempo, em que a ação em conjunto destes é responsável pela direção, velocidade e duração da formação dos solos. O clima participa na formação do solo por meio da energia solar e precipitação principalmente, influenciando na decomposição e conseqüentemente no teor de matéria orgânica do solo. A elevada produção primária em solos de baixa fertilidade é um reflexo do clima propício associado principalmente à ciclagem de nutrientes no interior do sistema (GAMA-RODRIGUES et al., 2007), influenciando na distribuição de espécies vegetais, sob diferentes magnitudes e dinâmicas sucessionais (KLIPPEL, 2010).

Em relação ao tempo, a formação do solo climas temperados e frio exigirão um período mais longo para a formação dos solos em relação a clima tropical úmido (JORGE, 1988; PORTA 1994). O relevo pode controlar a redistribuição de massa e energia, diferenciando a intensidade de erosão nas áreas e deposição de matéria orgânica, diferenciando os tipos de solo de acordo com a topossequência. A inclinação, comprimento, posição topográfica e orientação de encostas são características que influenciam diretamente na formação do perfil do solo, assim, solos em áreas planas tendem a ser mais profundos em relação a solos desenvolvidos em encostas íngremes. (GUERRA; BOTELHO 1996).

De acordo com Begon, Townsend e Harper (2007), a biota interfere diretamente no estoque de nutrientes do solo regulando o equilíbrio do estoque existente no solo, armazenando, liberando e ainda propiciando a exportação de nutrientes a depender do tipo de impacto que esta sofre. Segundo Guerra e Botelho (1996) os organismos vivos, como a vegetação podem atuar na formação do solo por meio da intervenção aos processos erosivos, além de fragmentar rochas em função do crescimento de raízes e influenciar o aporte de serapilheira no solo, conseqüentemente a ciclagem de nutrientes.

Para Araújo et al. (2013) as modificações que ocorrem nas propriedades do solo podem ser monitoradas por meio de indicadores físicos, químicos e biológicos, assim, a seleção de atributos que melhor represente a atual situação de manejo torna o monitoramento mais eficaz. Diversos são os estudos que buscam demonstrar as interações entre o tipo de vegetação e as características físicas, químicas e biológicas do solo, bem como as relações com a fauna de solo e a comunidade decompositora (CUNHA NETO et al., 2012; SKORUPA et al., 2012).

Diante disto, espera-se que variáveis como: precipitação, face de exposição solar da área, declividade podem ser de grande influência para a determinação dos teores de nutrientes presentes no solo, visto que podem influenciar a produção de serapilheira de um ecossistema e ser um importante estoque de nutrientes do solo. A temperatura associado a altitude pode ser outro fator de grande relevância, já que em regiões com maiores altitudes e conseqüentemente temperaturas mais baixas tendem a possuírem maiores teores de matérias orgânica em relação as de maiores temperaturas. Green et al., (1993) dizem que a temperatura do ambiente é importante para o desenvolvimento e ativações enzimáticas de microrganismos presentes no solo que atuam na decomposição de matéria orgânica.

Nesse contexto, a avaliação dos atributos físicos e químicos do solo, do estoque de nutrientes e carbono orgânico em ambientes naturais é de extrema importância devido à sua sensibilidade destes atributos na qualidade do solo, uma vez que pode fornecer subsídios para o estabelecimento de sistemas de manejo e contribuir para a manutenção de ecossistemas sustentáveis (CARNEIRO et al., 2009). Assim existe uma necessidade de se conhecer um ecossistema, e seus componentes, a fim de melhor administrar os serviços ambientais por ele prestados (CALDEIRA et al., 2008).

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivos gerais**

Este estudo tem como objetivo geral caracterizar os atributos químicos do solo ao longo de um gradiente altitudinal, em um fragmento de Floresta Ombrófila Densa Montana, ES.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

Analisar e caracterizar os teores de nutrientes nos solos em questão.

Analisar e discutir a influência de variáveis edáficas e climáticas na variação dos atributos químicos do solo.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Atributos químicos do solo

A fertilidade do solo é extremamente complexa em solos sob condições tropicais, em que a matéria orgânica é importante para a manutenção da fertilidade, assim como, para o aumento do estoque de carbono orgânico do solo, resultando na preservação da natureza (RODRIGUES, 2010). Gama-Rodrigues et al., (2007) reforçam que a alta produção primária nestes ecossistemas com solos pobres em fertilidade é consequência do clima favorável a ciclagem de nutrientes no interior do sistema.

A qualidade dos atributos do solo propicia condições para o desenvolvimento do ecossistema e para a manutenção da diversidade de organismos presentes no solo, em que a variação da fertilidade pode influenciar a cobertura florestal e no processo da ciclagem de nutrientes (DORAN; PARKIN, 1994). Além disso, as caracterizações físico-químicas do solo também se apresentam como indicador funcional das áreas naturais, pois participa e é influenciado diretamente pelo processo de decomposição e mineralização da matéria orgânica (GREEN et al., 1993). A partir do entendimento do funcionamento destes ecossistemas pode se utilizar ações de restauração ecológica com base no ecossistema de referência e definir os atributos para que determinada área possa ser considerada como restaurada (SERI, 2004).

De acordo com os atributos químicos, físicos e biológicos dos solos, estes podem ser classificados quanto a sua qualidade. Para Doran (1997) a qualidade do solo é a capacidade de um solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos homens. A qualidade do solo está relacionada com as funções que capacitam o solo a aceitar, estocar e reciclar água, nutrientes e energia (WEDDERBURN; CARTER, 2001).

Segundo Sousa, Miranda e Oliveira (2007), em condições naturais a acidez do solo pode ser justificada pelo material de origem, assim como pelo intemperismo em suas diversas formas. Para ambientes de elevada precipitação a lixiviação de bases e acúmulos de ácidos intensifica a acidez do solo (CASTRO, 2014). O material de origem representa o estado inicial do sistema, em que a rocha consolidada forma um

elemento passivo na formação dos solos, a qual associado a outros fatores podem intensificá-lo. Por meio da desintegração das rochas matrizes as propriedades do solo podem ser determinadas, influenciadas principalmente pela composição mineralógica, resistência mecânica e textura (GUERRA, BOTELHO 1996).

Outro fator responsável pela formação dos solos é o clima, este fenômeno físico altera o formato e tamanho dos minerais, assim como os fenômenos químicos alteram sua composição. Assim ao longo do tempo e sob a ação de fenômenos físicos, químicos e biológicos o solo vai formando e se organizando em camadas sobrepostas, aproximadamente paralelas a superfície com características diferentes, denominadas horizontes. (FONTES 1998, LEPSCH, 2002).

O intemperismo químico causa transformações no arranjo original dos cristais, provocando o desprendimento de elementos químicos que estavam retidos anteriormente na estrutura original, os principais tipos de intemperismo químicos são: hidrólise, hidratação, carbonatação, solubilização, oxidação redução (LEPSCH, 2002).

A temperatura está diretamente correlacionada com a intensidade da ação do intemperismo químico, em que o aumento de 10 °C na temperatura pode dobrar as reações químicas para a maior parte dos compostos. Em regiões onde a água é escassa as rochas sofrem mais intemperismo físico em relação ao químico e a profundidade submetida as modificações conseqüentemente é menor. Desta maneira, quanto mais úmido e quente for o clima, maior é a profundidade do solo sujeita a alterações físicas e químicas, sendo o processo mais intenso. (PASTORE, FONTES 1998).

Outro fator de interferência da temperatura é a relação à quantidade de matéria orgânica, em que é menor em regiões desérticas e mais alto em regiões tropicas úmidas devido ao processo de decomposição dos microrganismos. Os valores de matéria orgânica são responsáveis, em grande parte, pelo aumento nos valores de CTC e disponibilidade de nutrientes para as plantas (GUERRA, BOTELHO 1996).

## **2.2 Análise de Componentes Principais**

Segundo Varella (2008) a análise de componentes principais (ACP) é uma técnica da estatística multivariada que consiste em transformar um conjunto de variáveis originais variáveis de mesma dimensão denominadas de componentes principais. Estes componentes possuem propriedades que podem ser importantes

para a combinação linear de todas as variáveis originais, sendo estas independentes entre si e estimados com o propósito estimar o máximo de informação da variação total contida nos dados.

A análise de componentes principais tem com uma das finalidades a redução do volume de dados, com menor perda possível da informação. Procura-se redistribuir a variação observada nos eixos originais de forma a se obter um conjunto de eixos ortogonais não correlacionados (VARELLA, 2008). A partir da análise de componentes principais pode-se agrupar os indivíduos de acordo com sua variação, isto é, os indivíduos são agrupados segundo suas variâncias, ou seja, segundo seu comportamento dentro da população, representado pela variação do conjunto de características que define o indivíduo (REGAZZI 2000).

Na análise simultânea de muitas informações, a estatística multivariada torna-se a melhor ferramenta, possibilitando obter informações e interpretações que poderiam não ser perceptíveis com o uso da análise estatística univariada (CRUZ e REGAZZI, 2001). Estudos na ciência do solo, nos quais muitas informações necessitam ser interpretadas, adotaram a estatística multivariada e a integraram com a estatística espacial (FACCHINELLI et al., 2001; BORUVKA et al., 2007). Nesse contexto, para compreensão da relação do relevo com os diversos fatores responsáveis pela variabilidade dos atributos do solo, a análise espacial tem sido feita, por exemplo, com componentes principais em conjunto com atributos geomorfológicos (SUN et al., 2003; BORUVKA et al., 2007).

Utilizando-se o método da análise multivariada associada aos atributos químicos do solo, é possível explicar o máximo de correlação entre as variáveis e descobrir quais delas contribuem mais para a caracterização e, ou, alteração do solo. Diversos estudos têm aplicado este método multivariado para análise de dados de solos (PRAGANA et al., 2012). Todavia, existem poucos estudos em ambientes naturais, o que causa a perda de informações que poderiam ser importantes para o uso de técnicas para minimizar a situação de degradação e fragmentação, principalmente na Floresta Atlântica, como na região sul do estado do Espírito Santo.

Desta maneira, a realização de estudos sobre a dinâmica das florestas nesta região, a fim de prover a manutenção, recuperação e preservação de ambientes naturais se faz de grande importância (DELARMELINA, 2015).

### **2.3 Atributos químicos do solo em gradiente altitudinal**

Entre os principais fatores que atuam na composição e estrutura dos ecossistemas é a sua heterogeneidade, esta, resultado da diversidade de fatores que interagem nas comunidades e a resposta das espécies a esses fatores faz que cada local tenha características próprias e características que são comuns a outros locais, como por exemplo a variação de altitude e a diversidade de formas de relevo de solo.

Em estudos de Santos e Salcedo (2010) em diferentes tipologias florestais observaram que as áreas de baixada demonstraram-se mais férteis e menos ácidas, atributos que podem ser devido a um maior acúmulo de água e sedimentos provenientes das partes elevadas do relevo, sendo a maior parte do solo e nutrientes removidos das encostas redistribuídos para as várzeas. Essas relações entre atributos do solo com o relevo do terreno é resultado de uma complexa inter-relação, envolvendo características químicas e físicas do solo (RICHTER et al., 2011).

A variabilidade de atributos do solo em função dos fatores de formação do solo, em diferentes altitudes (terço superior, médio e inferior), é influenciada predominantemente pela dinâmica da água, que tem forte relação com relevo, este fato gera intensidades diferentes dos fatores ambientais como precipitação e temperatura, influenciando na variabilidade espacial de atributos do solo (CEDDIA et al., 2009). De acordo com as relações entre as propriedades do solo e as formas do relevo, Marques Júnior e Lepsch (2000) dizem que esses processos são mais marcantes nas encostas em função do aumento da declividade.

Segundo estudos de Castro (2014) em Floresta Ombrófila Densa Montana o gradiente altitudinal influencia os atributos químicos do solo, a densidade e o estoque de carbono de formas diferentes, cujo a fertilidade e acidez do solo são influenciados pela idade do solo e seu desenvolvimento, que diminui com aumento da altitude.



### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Descrição da área de estudo

O estudo foi realizado em um fragmento de Floresta Ombrófila Densa Montana, localizado na porção Sul do Parque Nacional do Caparaó (PARNA Caparaó), na divisa dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo (FIGURA 1.1). O Parque possui área total de 32.000 ha, localizado entre as coordenadas 20°19' - 20°37' S e 41°43' - 41°53' W, em que cerca de 70% desta está localizado no estado do Espírito Santo. Sua maior extensão está acima de 2.000 m de altitude, sendo o Pico da Bandeira o ponto mais elevado com 2.890 m de altitude (MAZINE; SOUZA, 2007).

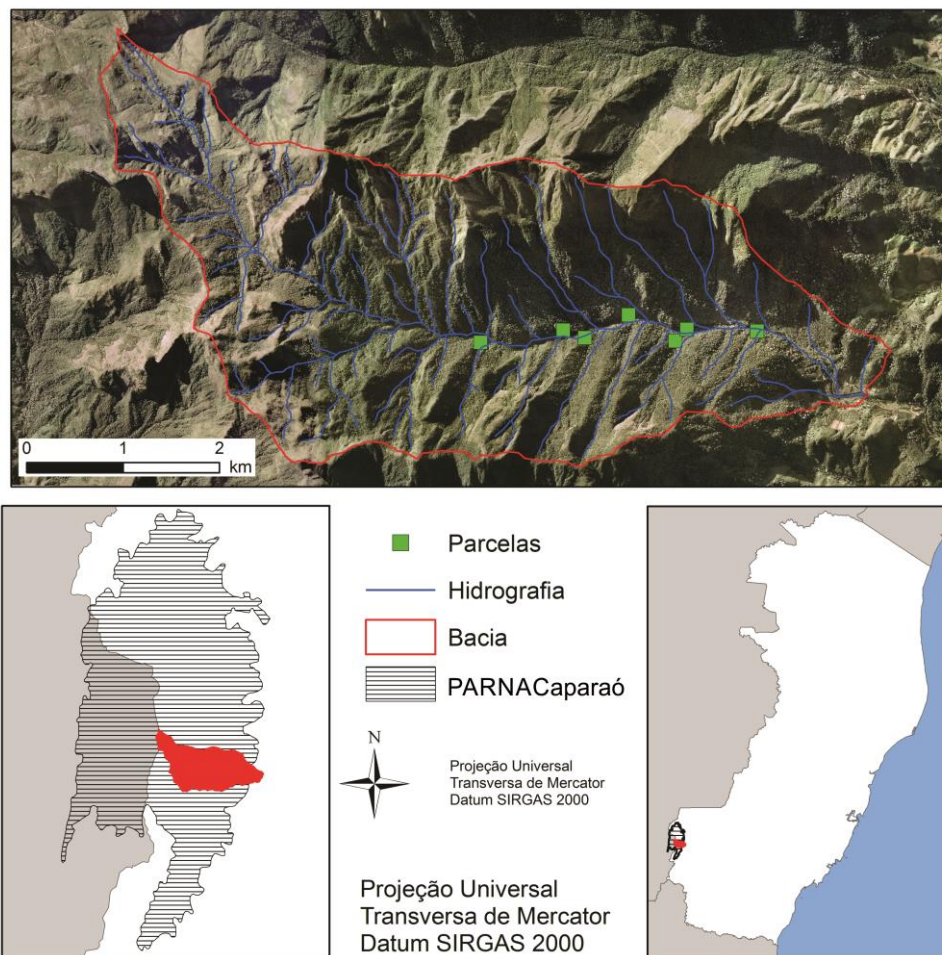


Figura 1.1 - Área de estudo da Floresta Ombrófila Densa Montana no Parque Nacional do Caparaó: microbacia, hidrografia, e posição das parcelas.

Fonte: Castro (2014).

A área de estudo encontra-se no distrito de Santa Marta, distante 2 km do município de Ibitirama, sendo delimitada em uma microbacia localizada na porção sul do Parque inserida dentro do estado do Espírito Santo (Figura 1.3) e as coletas de solo foram realizadas em sete parcelas de 20x50 m demarcadas anteriormente para pesquisas de Castro (2014) (Tabela 1). O Parque está situado na província biogeográfica da Floresta Pluvial do e pertence ao Domínio Atlântico, ou Mata Atlântica (IBDF, 1981).

Tabela 1- Distribuição altitudinal, declividade e face de exposição das parcelas utilizadas para o estudo dos atributos químicos na Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó, ES.

Parcela	Altitude (m)	Declividade Média (%)	Declividade Média (°)	Face De Exposição	Distância Entre Parcelas (m)	
					Parcelas	Distância
P1	1.112	69,55	34,82	N / L	1-2	683,13
P2	1.219	58,29	30,24	L / SE	2-3	164,5
P3	1.302	75,00	36,87	NE	3-4	528,57
P4	1.319	75,00	36,87	L	4-5	485,39
P5	1.391	48,24	25,75	N	5-6	226,66
P6	1.420	73,39	36,27	S / SE	6-7	813,38
P7	1.550	127,73	51,94	NE	7-1	2.708

Fonte: Adaptado de Castro (2014); \*N=Norte, L=Leste, SE=Sudeste, S=Sul e NE=Nordeste.

O clima da região enquadra-se no tipo Cwb, clima tropical de altitude/subtropical (ALVARES et al., 2013). A temperatura média anual varia entre 19°C a 22°C, com temperaturas máximas atingindo 25°C e em cotas acima de 2000 m de altitude as mínimas registradas podem ser de até -4°C. A pluviosidade média varia entre 1.000 a 1.500 mm anuais, atingindo até 1.750 mm, sendo mal distribuídas ao longo do ano, concentradas principalmente durante o verão (IBDF, 1981). Os dados de precipitação e temperatura para o período da realização deste estudo foram obtidos na estação meteorológica de Caparaó, MG, estação meteorológica mais próxima da área de estudo (Figura1.2).

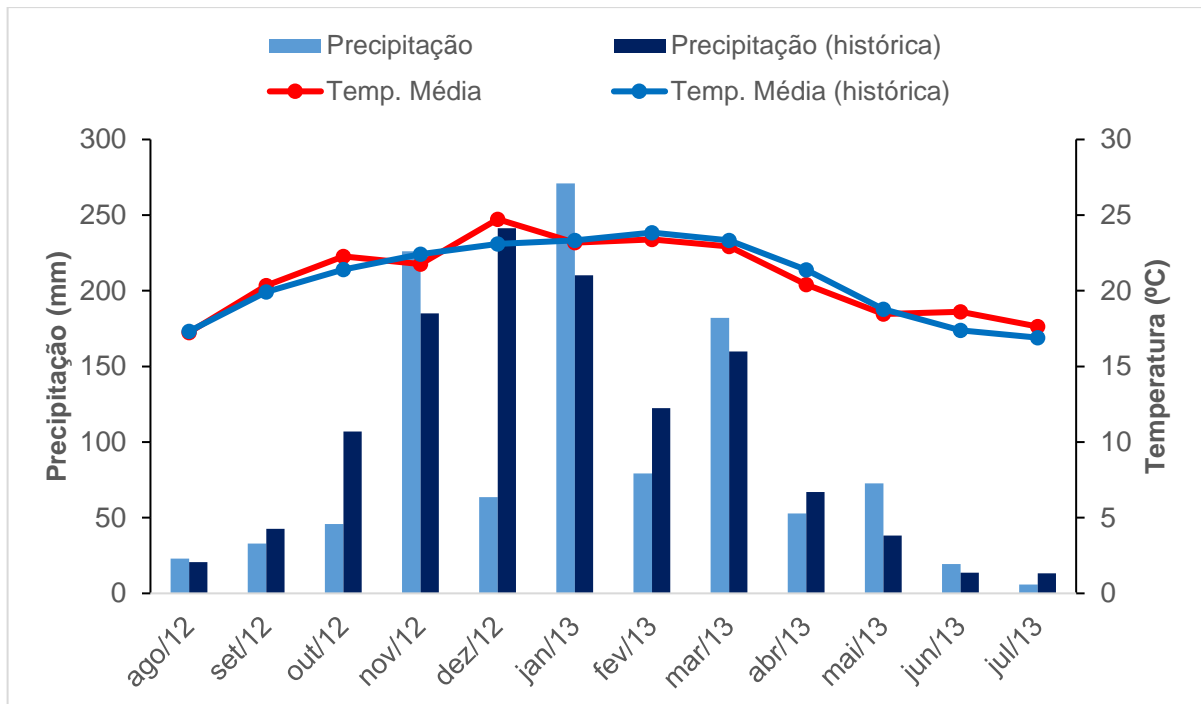


Figura 1.2 - Precipitação mensal acumulada, precipitação histórica, temperatura média e temperatura média para o município de Caparaó, MG (estação meteorológica mais próxima da área de estudo).

Fonte: INMET (2016).

O Parque Nacional do Caparaó possui relevo que varia entre fortemente ondulado a montanhosa, com solos em sua maioria de baixa e média fertilidade, podem ser observadas as classes: Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, Latossolo Vermelho Distrófico; Argissolo Vermelho Amarelo, Neossolo litólico Húmico, Cambissolo Húmico, Latossolo Amarelo distrófico húmico, Neossolo Regolítico Húmico e Organossolo Hístico (IBDF, 1981; RODRIGUES, 2011).

Na Figura 1.3 é representada a delimitação da microbacia, hidrografia, relevo, representação das parcelas e suas declividades, distribuição das parcelas na face de exposição.

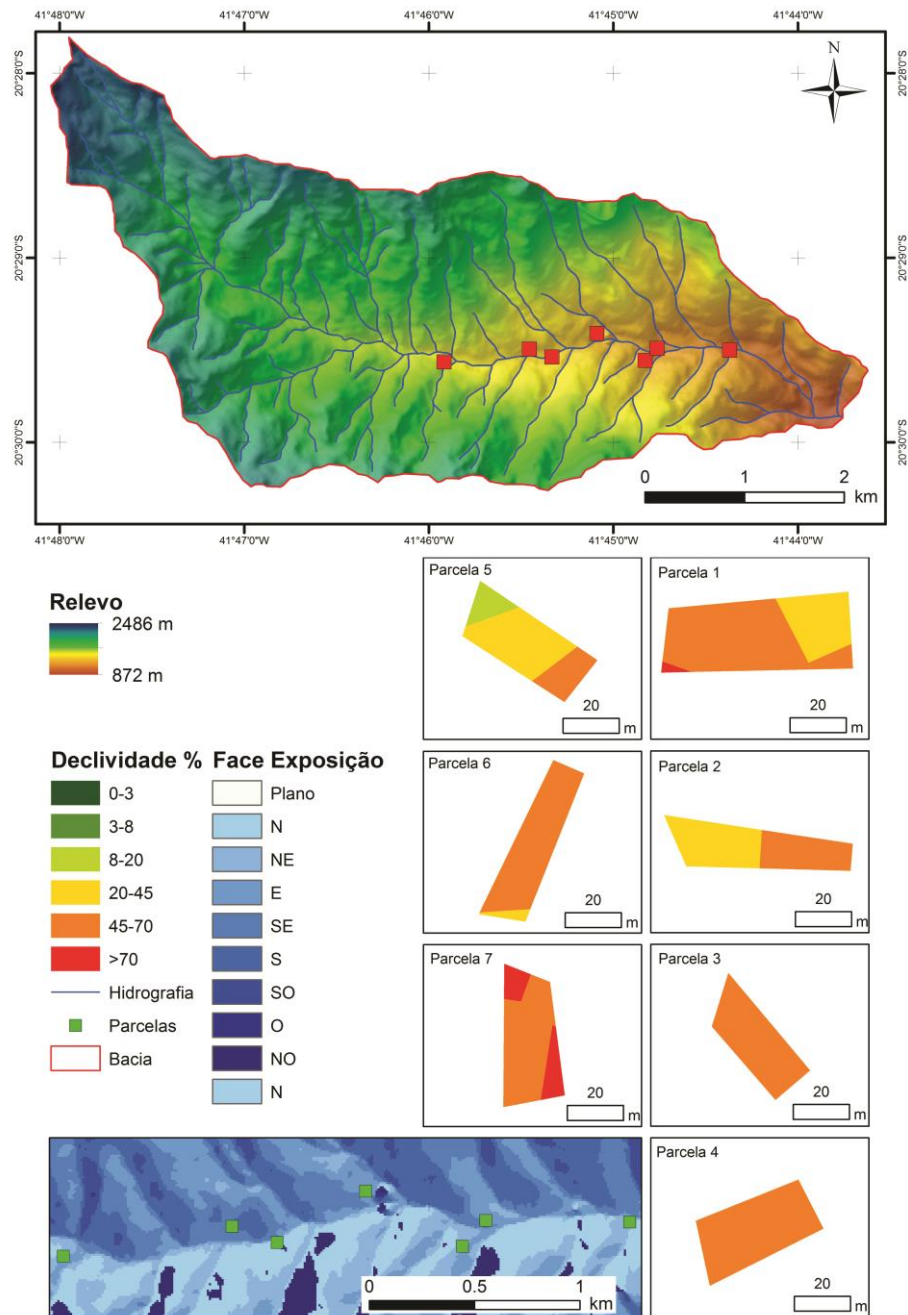


Figura 1.3 - Área de Estudo na Floresta Ombrófila Densa Montana no PARNA do Caparaó, ES: delimitação da microbacia, hidrografia, relevo, representação das parcelas e suas declividades, distribuição das parcelas na face de exposição.

Fonte: Castro (2014).

### 3.2 Estudo dos atributos químicos do solo

Para o estudo dos atributos químicos do solo foram coletadas quatro camadas distintas: de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm nas sete parcelas amostrais em julho de 2013. Para a obtenção de amostras representativas, foram coletadas 12 sub-amostras de forma aleatória em cada parcela, posteriormente, as 12 sub-amostras nas respectivas profundidades foram depositadas em baldes e homogeneizadas, sendo retirada uma amostra composta por parcela, totalizando 21 amostras por camada estudada. Para as camadas mais superficiais (0-5 e 5-10 cm) utilizou-se uma pá para a retirada das sub-amostras, nas camadas de 10-20 e 20-40 cm foram retiradas com a utilização de trado.

As amostras foram encaminhadas para o laboratório de solos da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e após o procedimento para a obtenção da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) as análises químicas de rotina foram realizadas seguindo metodologia proposta pela EMBRAPA (1997). As análises de pH foram realizadas pelo método do pH em H<sub>2</sub>O 1:2,5, o Alumínio trocável, ou acidez trocável, foi extraído com solução KCl (1 mol L<sup>-1</sup>), e determinação volumétrica com solução diluída de NaOH (0,025 mol L<sup>-1</sup>) em presença de solução azul de bromotimol como indicador. Cálcio e Magnésio trocáveis foram extraídos com solução KCl (1 mol L<sup>-1</sup>) e sua determinação por espectrofotômetro de absorção atômica.

Potássio e Sódio trocáveis foram extraídos com solução de Mehlich 1 (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup>; H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>) e determinação por espectrofotometria de chama. Fósforo foi extraído com solução de Mehlich 1 (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup>; H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>), e leitura por espectrofotômetro. A acidez potencial foi extraída por solução tamponada de Acetato de Cálcio a pH 7 e determinada volumetricamente por solução de NaOH (1 mol L<sup>-1</sup>) em presença de fenolftaleína como indicador.

Por meio dos valores obtidos com as análises químicas foi calculada a Soma de Bases (SB), pela seguinte expressão:

$$SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^{+} + K^{+}$$

Em que:

SB = Soma de Bases;

Ca<sup>2+</sup> = Quantidade de Ca (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) presente no solo;

Mg<sup>2+</sup> = Quantidade de Mg (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) presente no solo;

$\text{Na}^+$  = Quantidade de Na ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) presente no solo; e

$\text{K}^+$  = Quantidade de Na ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) presente no solo

A Capacidade de troca catiônica efetiva (t) foi calculada pela seguinte expressão:

$$t = \text{SB} + \text{Al}^{3+}$$

Em que:

t = Capacidade de troca catiônica efetiva ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ );

SB = Soma de Bases (Ca+ Mg+ Na+ K) ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ); e

$\text{Al}^{3+}$  = Alumínio trocável ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ).

A Capacidade de troca catiônica potencial (T) foi calculada através da expressão:

$$T = \text{SB} + (\text{H}^+ + \text{Al}^{3+})$$

Em que:

T = Capacidade de troca catiônica ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ );

SB = Soma de bases ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+$ ) ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ); e

$\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$  = Acidez trocável ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ).

A Saturação por Bases (V) em porcentagem é calculada por meio da seguinte expressão:

$$V = 100 \cdot \text{SB} / T$$

Em que:

V = Saturação por base em porcentagem;

T = A Capacidade de troca catiônica potencial ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ); e

SB = Soma de Bases (Ca + Mg + Na + K) ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ).

### 3.3 Análise dos dados

Após a coleta de dados dos atributos químicos do solo, estes foram organizados e resumidos por meio de uma análise descritiva de dados, visando conhecer melhor as características da área estudada. Para identificar os atributos do solo mais significativos na variação dos dados, utilizou-se a técnica de análise de componentes principais (ACP) (MINGOTI, 2007). A pressuposição da normalidade da distribuição dos dados não é necessária para o uso dessa técnica, cada atributo tem um escore para cada componente que em conjunto são conhecidos como os escores dos componentes (DELARMELENA, 2015). Para cada componente toda variável tem um escore correspondente e quanto mais próximo de 1 ou -1 mais importante é a variável no componente (KENT; COKER, 1992). Para aplicar a ACP, os atributos do solo foram padronizados pelas suas respectivas médias e desvios padrões, gerando-se novas variáveis centradas em zero e com variâncias iguais a 1 (GOTELLI; ELLISON, 2011).

Posteriormente realizou-se a seleção dos atributos mais representativos em relação à variância total na ACP, uma análise de agrupamento utilizada a fim de obter grupos de parcelas mais semelhantes quanto aos atributos químicos, análises de componentes principais e análise de agrupamento foram obtidas com a utilização do programa computacional XLSTAT 2016.

Após a ACP utilizou-se a análise de agrupamento (AA) com o objetivo dividir os elementos da amostra em grupos de forma que os elementos pertencentes a um mesmo grupo sejam similares entre si em relação às variáveis que neles foram medidas, e os elementos em grupos diferentes sejam heterogêneos em relação a estas mesmas variáveis (MINGOTI, 2007). Foi utilizado uma análise de agrupamento hierárquico aglomerativo, cujo dendrograma foi obtido utilizando como medida de dissimilaridade a distância euclidiana e como método de ligação o método de Ward, que não pressupõe normalidade dos dados.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **4.1 Atributos químicos do solo na Floresta Ombrófila Densa Montana, ES**

Segundo Salgado et al. (2006) a fertilidade baixa em solo sob vegetação natural é uma condição comum nestes ambientes, podendo ocorrer devido ao maior acúmulo de nutrientes na parte aérea, raízes e ao elevado processo de intemperismo do solo.

De acordo com a classificação de Prezotti (2007) o solo das parcelas analisadas é de baixa fertilidade, em que possui acidez elevada ( $\text{pH} < 5,0$ ), caracterizando-se como solos distróficos ( $V < 50\%$ ), além disso, possuem teor de alumínio trocável muito elevado e alta saturação de alumínio ( $m > 50\%$ ).

Na foram obtidos na Tabela 2.1 os valores das medidas descritivas dos atributos químicos do solo, nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm da Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó, ES, assim como na Tabela 2.2 para os valores dos atributos químicos do solo nestas profundidades, comparando-se as parcelas da área de estudo.



Tabela 2.1 - Medidas descritivas dos atributos químicos do solo, nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm da Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó, ES.

Estatística	Camadas (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca	Mg	Al	H+Al	M.O.	t	T	S.B.	V	m	ISNa
			mg dm <sup>-3</sup>			cmolc dm <sup>-3</sup>			g kg <sup>-1</sup>	cmolc dm <sup>-3</sup>		%				
Média	0-5	4,36	9,21	65,00	10,71	0,75	0,53	2,17	46,59	166,59	3,67	48,09	1,50	3,55	59,78	0,10
	5-10	3,87	6,24	50,86	8,86	0,39	0,33	2,63	37,63	127,34	3,53	38,53	0,90	2,54	74,48	0,11
	10-20	4,21	3,14	30,57	8,14	0,15	0,16	1,81	24,62	67,12	2,23	25,04	0,42	1,86	77,51	0,16
	20-40	4,43	2,56	30,29	8,00	0,16	0,14	1,59	20,30	66,33	2,01	20,71	0,41	1,98	77,29	0,17
Mínimo	0-5	4,00	2,88	40,00	6,00	1,07	0,25	1,50	23,91	76,29	2,37	24,47	0,57	1,29	47,07	0,07
	5-10	3,5	2,95	41,00	7,00	0,16	0,19	2,00	24,74	49,33	2,90	25,25	0,51	1,41	68,13	0,07
	10-20	3,50	2,29	20,00	5,00	0,05	0,10	0,40	12,91	29,83	0,67	13,18	0,25	0,74	59,06	0,10
	20-40	4,00	1,35	20,00	5,00	0,05	0,08	0,60	13,57	35,80	0,90	13,81	0,23	1,08	66,38	0,12
Máximo	0-5	5,30	22,91	88,00	21,00	1,27	0,81	3,00	96,21	342,15	4,44	97,47	2,25	6,60	76,04	0,16
	5-10	4,20	18,97	66,00	13,00	0,48	0,45	3,00	77,88	302,76	4,00	79,00	1,11	3,68	82,81	0,15
	10-20	4,68	4,63	44,00	12,00	0,30	0,28	3,40	51,72	151,18	3,78	52,11	0,73	2,79	89,78	0,26
	20-40	4,70	3,53	47,00	12,00	0,37	0,30	2,27	25,27	106,22	3,08	25,51	0,83	3,44	90,38	0,32
S <sup>1</sup>	0-5	0,37	5,19	10,00	3,59	0,27	0,14	0,42	17,03	67,49	0,63	17,17	0,38	1,21	9,47	0,02
	5-10	0,18	3,64	5,84	1,55	0,09	0,08	0,31	11,50	52,38	0,36	11,56	0,15	0,58	4,69	0,02
	10-20	0,35	0,61	5,22	1,63	0,06	0,04	0,87	8,57	27,57	0,96	8,67	0,10	0,38	7,76	0,04
	20-40	0,25	0,54	5,55	1,71	0,08	0,05	0,66	3,53	15,90	0,74	3,61	0,13	0,44	8,27	0,04
CV <sup>2</sup> (%)	0-5	8,43	56,31	15,38	33,52	35,96	25,92	19,55	36,55	39,15	17,06	35,70	25,53	34,02	15,84	0,24
	5-10	4,53	58,31	11,48	17,51	22,92	23,91	11,80	30,57	41,13	10,19	30,02	17,01	22,88	6,30	0,15
	10-20	8,37	19,47	17,09	20,05	38,78	23,64	48,14	34,83	41,08	42,78	34,61	23,82	20,41	10,01	0,28
	20-40	5,71	21,01	18,33	21,43	52,02	35,19	41,64	17,37	23,97	36,64	17,43	32,31	22,43	10,70	0,24

<sup>1</sup>S= Desvio padrão; <sup>2</sup>CV= Coeficiente de variação. Em que: P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Al = alumínio; H+Al = acidez potencial; MO = matéria orgânica; SB = soma de bases; t = capacidade de troca de cátions efetiva = T = capacidade de troca de cátions potencial; V = percentagem de saturação por bases; m = percentagem de saturação por alumínio; ISNa = índice de saturação de sódio.

Tabela 2.2 - Atributos químicos do solo nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, entre as parcelas de estudo na Floresta Ombrófila Densa, no Parque Nacional do Caparaó, ES.

Altitude (m)/ Parcela	Camadas (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca	Mg	Al	H+Al	M.O.	t	T	S.B.	V	m	ISNa
			mg dm <sup>-3</sup>				cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				g kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			%	
1112/P1	0-5	4,10	6,81	67,00	8,00	0,74	0,56	1,90	32,57	75,79	3,40	34,07	1,50	4,41	55,82	0,10
	05-10	3,50	3,58	49,00	7,00	0,17	0,19	2,50	24,74	59,88	3,02	25,26	0,52	2,05	82,82	0,12
	10-20	4,10	2,29	27,00	5,00	0,05	0,11	1,10	13,41	29,84	1,35	13,66	0,25	1,83	81,45	0,16
	20-40	4,30	2,37	29,00	5,00	0,05	0,09	1,15	13,58	35,81	1,39	13,82	0,24	1,72	82,84	0,16
1219/P2	0-5	4,10	4,12	88,00	6,00	1,07	0,72	2,40	28,91	112,99	4,44	30,95	2,04	6,60	54,03	0,08
	05-10	4,00	2,95	56,00	7,00	0,46	0,37	2,70	28,24	100,66	3,71	29,24	1,01	3,44	72,86	0,10
	10-20	4,30	3,54	44,00	8,00	0,30	0,28	1,90	25,57	79,57	2,63	26,31	0,73	2,79	72,13	0,13
	20-40	4,50	2,53	47,00	8,00	0,38	0,30	1,80	23,32	75,59	2,63	24,16	0,83	3,45	68,37	0,14
1302/P3	0-5	4,10	2,88	40,00	9,00	0,18	0,25	1,80	23,91	76,19	2,37	24,47	0,57	2,32	76,04	0,16
	05-10	3,80	3,93	51,00	10,00	0,46	0,44	2,30	28,16	49,33	3,38	29,23	1,08	3,68	68,13	0,15
	10-20	4,68	2,95	20,00	8,00	0,08	0,11	0,40	12,91	57,69	0,68	13,19	0,28	2,10	59,07	0,26
	20-40	4,70	3,54	25,00	12,00	0,06	0,12	0,60	16,08	61,07	0,90	16,38	0,30	1,86	66,38	0,32
1319/P4	0-5	5,30	5,02	75,00	13,00	0,90	0,40	1,50	41,73	204,89	3,06	43,29	1,56	3,60	49,08	0,13
	05-10	4,00	3,93	41,00	8,00	0,46	0,23	3,00	35,40	116,17	3,83	36,23	0,83	2,29	78,30	0,10
	10-20	4,60	2,76	27,00	10,00	0,14	0,16	1,40	20,24	54,70	1,81	20,65	0,41	1,98	77,40	0,21
	20-40	4,70	2,41	20,00	7,00	0,21	0,11	1,20	18,91	47,14	1,60	19,31	0,40	2,07	75,06	0,16
1391/P5	0-5	4,70	13,67	64,00	9,00	1,24	0,81	2,00	56,56	139,25	4,25	58,81	2,25	3,82	47,07	0,07
	05-10	4,20	5,14	66,00	9,00	0,42	0,30	2,00	36,57	131,29	2,93	37,50	0,93	2,47	68,31	0,10
	10-20	4,50	3,38	34,00	8,00	0,17	0,16	1,30	26,57	61,07	1,75	27,02	0,45	1,66	74,30	0,13
	20-40	4,70	1,36	33,00	9,00	0,18	0,16	1,10	24,24	106,22	1,56	24,70	0,46	1,87	70,43	0,16
1420/P6	0-5	4,00	22,91	62,00	21,00	0,51	0,49	3,00	96,21	342,15	4,26	97,47	1,26	1,29	70,47	0,09
	05-10	3,70	18,98	47,00	13,00	0,48	0,46	2,90	77,89	302,76	4,02	79,00	1,12	1,41	72,19	0,07
	10-20	3,50	4,63	30,00	12,00	0,12	0,14	3,40	51,73	35,81	3,79	52,12	0,39	0,74	89,79	0,10
	20-40	4,10	3,46	29,00	9,00	0,07	0,09	2,60	25,24	72,81	2,88	25,52	0,28	1,08	90,38	0,15
1550/P7	0-5	4,20	9,07	59,00	9,00	0,64	0,51	2,60	169,50	46,55	3,94	47,57	1,34	2,82	65,98	0,08
	05-10	3,90	5,18	46,00	8,00	0,30	0,35	3,00	32,40	131,29	3,81	33,21	0,81	2,44	78,75	0,10
	10-20	3,80	2,41	32,00	6,00	0,17	0,14	3,20	21,91	151,18	3,62	22,33	0,42	1,87	88,44	0,12
	20-40	4,00	2,25	29,00	6,00	0,16	0,12	2,70	20,74	65,64	3,08	21,12	0,38	1,81	87,59	0,12

Em que: P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Al = alumínio; H+Al = acidez potencial; MO = matéria orgânica; SB = soma de bases; t = capacidade de troca de cátions efetiva = T = capacidade de troca de cátions potencial; V = percentagem de saturação por bases; m = percentagem de saturação por alumínio; ISNa = índice de saturação de sódio.

Segundo a classificação de Prezotti (2007), apenas a camada de 0-5 cm da P4 possui acidez média ( $\text{pH} > 5,00$ ), todas as demais parcelas possuem acidez elevada ( $\text{pH} < 5,00$ ). A acidez elevada das parcelas pode ser explicada pela lixiviação de bases ou pela presença da matéria orgânica no solo, em que esta contribui para o aumento da capacidade de troca catiônica e soma de bases, evitando assim a lixiviação de elementos e liberando  $\text{CO}_2$  no solo, conseqüentemente aumentando sua acidez e este processo pode ser intensificado em ambientes que a pluviosidade é alta, a exemplo da área deste estudo (PEREIRA et al., 2000; MAFRA et al. 2008; CASTRO, 2014). Para Souza et al., (2007), em áreas naturais a acidez do solo também pode ser consequência do material de origem, assim como as diversas maneiras de intemperismo nestes locais.

Estudos realizados por Feitosa (2004), Barreto et al., (2006) em áreas de vegetação nativa evidenciam resultados similares ao do presente estudo, em que indicam a predominância de solos ácidos. Embora este padrão evidenciado em outros estudos, Cardoso et al., (2011) trabalhando em diferentes fisionomias florestais em solos do Pantanal Sul-Mato-grossense observaram resultados de pH mais elevados, estes de até 6,4, valores superiores ao deste estudo, indicando que os solos de florestas nativas não são exclusivamente ácidos.

Como consequência do alumínio e menor pH, os cátions cálcio e magnésio podem se tornar menos disponíveis e conseqüentemente possuir baixa soma de bases, saturação de bases (Tabela 2.1). Para os valores de alumínio o solo possui de maneira geral para todas as profundidades alto teor ( $> 1,0 \text{ cmolc/dm}^3$ ), exceto na P3 nas camadas de 10-20, 20-40 cm que obtiveram classificação média ( $0,3 - 1,0 \text{ cmolc/dm}^3$ ).

A presença de alto teor de alumínio nestes solos pode ser altamente prejudicial a vegetação, visto que o alumínio é tóxico a estes organismos, comprometendo o desenvolvimento e o crescimento destes e conseqüentemente a produção de biomassa (SÁ et al., 2001). Embora haja correlação positiva entre os atributos matéria orgânica e alumínio, o elevado teor deste não causa toxidez à vegetação, visto que a presença da camada orgânica superficial do solo possibilita a formação de complexos entre os sistemas radiculares dos vegetais atrelado ao horizonte orgânico e cria um eficiente sistema de absorção dos nutrientes, amenizando perdas por lixiviação (SCHEER et al., 2011).

Para a acidez potencial observou-se um padrão, cujo os maiores teores estão nas camadas superficiais e decrescem de acordo com o aumento da profundidade para todas as parcelas de estudo. Tal fato pode estar associado com a menor influência da matéria orgânica nas camadas mais profundas. Estudos realizado por Cardoso et al. (2011) em variadas formações nativas em solos do Pantanal Sul-Matogrossense, evidenciaram valores de 1,7 a 3,1  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , estes inferiores ao do presente estudo (12,5 a 96,21  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ). Em estudos de Castro (2014) em solos de Floresta Ombrófila Densa, o valor mais elevado de acidez potencial foi 78,30  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  para a camada de 5-10 cm, em que o menor valor 15,64  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  na maior profundidade (20-40 cm).

A matéria orgânica teve padrão similar aos teores de alumínio e acidez potencial, em que os teores também decresceram com o aumento da profundidade, mostrando assim associação entre estes atributos. Alexander et al, (1997) afirmam que a matéria orgânica auxilia no aumento da acidez do ambiente por meio da liberação de íons  $\text{H}^+$  de ácidos orgânicos, principalmente de grupamentos carboxílicos e fenólicos, porém, esse aumento também pode ocorrer por lixiviação de bases ou absorção da vegetação (CRESSE, 1995; ZECH et al., 1997).

O padrão de maior teor de matéria orgânica nas camadas superficiais pode evidenciar a importância destas camadas do solo para a ciclagem de nutrientes, visto que é onde ocorre o contato direto com a serapilheira em que esta da origem à matéria orgânica do solo (ZANELLA et al., 2011). Este maior conteúdo de matéria orgânica no solo também atua como fonte de nutrientes para os vegetais, aumentando a capacidade de troca de cátions, assim como, forma complexos com o alumínio, consequentemente deixa os nutrientes mais disponíveis aos vegetais (FONTANA et al., 2011; GUPPY et al., 2005).

O maior teor de matéria orgânica observado foi de 342,15  $\text{g kg}^{-1}$  na P6, camada de 0-5 cm (Tabela 2.2). Observou-se que o maior conteúdo de matéria orgânica no solo na P6 pode estar associado a influência de temperatura em cada parcela, visto que esta se encontra entre as maiores altitudes. Estudos de Costa et al. (2008) evidenciam correlação positiva entre a elevação da temperatura na camada superficial do solo e taxa de decomposição da matéria orgânica, visto que maiores temperaturas podem intensificar a atividade de decomposição no solo.

Os atributos químicos nas camadas superficiais do solo podem estar diretamente relacionados com a dinâmica florestal de produção e decomposição de

serapilheira, em que este processo é controlado principalmente aceleração do metabolismo de microrganismos decompositores relacionados com a redução e o aumento da temperatura e umidade (PONGE, 2006, MAMAN et al., 2007; PESSOA; CESÁRIO e CASTRO JUNIOR, 2012). Estudos de Sanches (2009) relacionados a decomposição de serapilheira em florestas tropicais evidenciam correlação negativa entre o acúmulo de serapilheira e as variáveis temperatura e umidade. Desta maneira, o gradiente altitudinal associado ao clima podem ser de grande influência na atividade microbiana e conseqüentemente no acúmulo de serapilheira e demais atributos químicos.

Outro fato importante para o teor de matéria orgânica no solo é que o acúmulo de serapilheira sobre o solo de Florestas Ombrófilas Densas de Altitude também pode estar relacionado ao estágio sucessional da área, em que no estágio inicial de sucessão se tem mais elevado acúmulo de biomassa em relação a florestas em estágio avançado de sucessão ou clímax, principalmente pela presença de espécies pioneiras (HINKEL; 2002).

Apesar deste resultado observado, vale destacar que a P6 encontra-se em condições desfavoráveis em relação as demais parcelas para obter maiores teores de matéria orgânica, já que esta não possui características para elevado aporte e acúmulo de serapilheira. Esta parcela está situada em orientação Sul/Sudeste, e em elevada declividade, sendo, portanto, mais propícia a retirada de matéria orgânica por água das chuvas devido à inclinação (OLIVEIRA et al., 1995; HINKEL, 2002; CALDEIRA et al., 2007).

Com o aumento da profundidade observou-se diminuição nos teores nutricionais, saturação de bases, CTC efetiva, e CTC potencial, assim como, conseqüentemente aumentou a saturação de alumínio, conforme estudos de Castro (2014) em Floresta Ombrófila Densa, no Parque Nacional do Caparaó, ES. Estes resultados podem ser explicados pela menor influência da matéria orgânica nas camadas mais profundas, ocorrendo menos correlação com a CTC efetiva e CTC potencial, promovendo a lixiviação de bases.

Observa-se redução nas concentrações dos atributos químicos analisados com o aumento da profundidade de solo coletado, exceto para pH, saturação de alumínio e índice de saturação de sódio (Tabela 2.1) em que não há padrão de distribuição entre as diferentes profundidades. Assim como nos estudos de Castro (2014) em solos de Floresta Ombrófila Densa no Espírito Santo, o teor médio de fósforo dos solos

da área do presente estudo possui valores médios mais elevados nas camadas superficiais do solo, estes entre 2,56 a 9,21 mg dm<sup>-3</sup> (Tabela 2.1).

O solo das parcelas de estudo é representado de uma maneira geral, por baixos teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e conseqüentemente soma de bases e CTC's que pode ser explicado pelo alto grau de intemperismo comum em solos tropicais (PORTUGAL; COSTA, 2010). Os baixos teores de fósforo encontrados segundo a classificação de Prezotti (2007), condizem estudos Gama-Rodrigues et al. (2008) ao avaliarem atributos químicos em fragmentos florestais secundários. O fósforo em solos tropicais geralmente possui baixo aproveitamento devido a acidez, já que elevados índices de ferro e alumínio intensificam a adsorção desse nutriente (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007).

Em relação ao valor médio de potássio para as camadas de 0-20 cm, neste estudo foi observado 48,81 mg dm<sup>-3</sup>, resultado similar aos estudos de Saraiva (2010) analisando os solos de um trecho de Floresta Ombrófila Densa Montana no estado de São Paulo (46,81 mg dm<sup>-3</sup>) e Castro (2014) em mesma tipologia florestal no Sul do estado do Espírito Santo (46,28 mg dm<sup>-3</sup>). Entretanto para estudos de Scheer et al. (2011) em floresta altomontana no estado do Paraná os valores foram superiores ao do presente estudo (234,6 mg dm<sup>-3</sup>). Assim como nos estudos de Castro (2014), neste estudo os maiores teores de potássio estão nas camadas superficiais do solo, sendo que este padrão pode ser devido a lixiviação do elemento das copas das árvores e da serapilheira acumulada sobre o solo, já que este elemento se encontra de forma iônica nas plantas (GODINHO et al., 2013).

Os solos que possuem teores de potássio mais elevados estão relacionados ao processo de intemperismo mais intenso, em que ocorre principalmente por hidrólise de micas e feldspatos, solubilizando o potássio desses minerais e transferindo para a solução do solo. Outro fator a se destacar é a elevação da temperatura ambiente e do solo junto a precipitação que favorece a absorção de potássio, desta forma a absorção desse nutriente também depende da vegetação e tamanho do sistema radicular, já que, quanto maior a área ocupada pela raiz, maior a absorção do potássio pela planta, diminuindo seus teores no solo (ERNANI; ALMEIRA; SANTOS, 2007).

Em relação ao cálcio e magnésio, estes nutrientes também decrescem de acordo com a profundidade, e os valores médios mais elevados foram observados na P5. Os valores médios para estes nutrientes neste estudo foi de 0,34 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e 0,43 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente, sendo superiores aos valores encontrados por

Saraiva (2010) em trecho de Floresta Ombrófila Densa Montana no estado de São Paulo, analisando os solos da camada de 0-20 cm em (0,32  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  e 0,16  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , respectivamente), assim como o solo possui maior acidez em relação ao presente estudo. Os teores de cálcio e magnésio estão diretamente relacionados com o pH do solo, em que solos mais ácidos geralmente apresentam menores teores destes elementos, assim como estes elementos são os que mais influenciam na saturação de bases em razão da sua maior taxa de ocupação da CTC potencial e CTC efetiva conseqüentemente (PREZOTTI, 2007).

Para o sódio e saturação de sódio não foi observado nenhum padrão de distribuição entre as parcelas, entretanto a P6 obteve valores mais expressivos em relação as demais parcelas para sódio, camada de 0-5 cm (21,00  $\text{mg dm}^{-3}$ ) em que houve diminuição de acordo com o aumento da profundidade e a média nesta camada foi de 10,71  $\text{mg dm}^{-3}$ . Assim como o maior teor de sódio na camada de 0-5 cm, o maior teor de matéria orgânica também é observado nesta, entretanto não existem na literatura muitas explicações de correlação entre estes atributos. Em estudos de Castro (2014), em Floresta Ombrófila Densa Montana o maior valor encontrado (17,00  $\text{mg dm}^{-3}$ ) foi observado na camada de 5-10 cm, entretanto não se observou influência da matéria orgânica. Entretanto o maior teor de sódio na P6 pode estar associado ao carregamento de aerossóis e posteriormente precipitação pelas chuvas, assim como pelo material de origem do solo (CASTRO, 2014).

De acordo com os resultados dos nutrientes discutidos anteriormente é possível notar que estes influenciam diretamente nos valores de CTC potencial e CTC efetiva. A CTC potencial e a CTC efetiva decrescem com a profundidade do solo e a acidez elevada influencia na diminuição de bases solúveis disponíveis, assim como aumenta a disponibilidade de alumínio, conseqüentemente a saturação por alumínio é aumentada, fazendo com que parte da CTC seja ocupada pelo alumínio trocável, assim como a matéria orgânica intensifica a geração de cargas negativas no solo (SIMAS et al., 2005).

## 4.2 Análise de Componentes Principais para os atributos químicos do solo

A partir da Análise de Componentes Principais foram obtidos autovalores, porcentagens de explicação da variância dos componentes principais e correlação entre as componentes principais (CPs) e os atributos químicos de solo originais da Floresta Ombrófila Densa, ES (Tabela 3). Os atributos mais representativos dos componentes principais, com correlação maior em valor absoluto que 0,7, estão destacadas em negrito.

Tabela 3 - Autovalores, porcentagens de explicação da variância dos componentes principais e correlação entre as componentes principais (CPs) e os atributos químicos de solo da Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó- ES.

Componentes	CP1 0-5	CP2 0-5	CP1 5-10	CP2 5-10	CP1 10-20	CP2 10-20	CP1 20-40	CP2 20-40
Autovalor	6,33	6,10	7,45	4,07	7,38	4,30	6,06	4,94
Var1(%)	39,59	38,13	46,59	25,46	46,12	26,89	37,88	30,90
Var. Acum. <sup>2</sup> (%)	39,59	77,73	46,59	72,06	46,12	73,01	37,88	68,78
Variáveis	0-5 cm		5-10 cm		10-20 cm		20-40 cm	
pH	-0,26	0,19	0,01	-0,60	<b>-0,79</b>	0,33	-0,08	<b>-0,89</b>
P	<b>0,90</b>	0,34	<b>0,93</b>	0,15	0,69	-0,09	-0,37	0,07
K	-0,29	<b>0,77</b>	-0,20	-0,71	0,54	<b>0,78</b>	<b>0,82</b>	-0,22
Na	<b>0,88</b>	-0,07	<b>0,87</b>	-0,20	0,50	-0,24	-0,07	-0,43
Ca	-0,33	<b>0,91</b>	0,58	-0,62	0,40	<b>0,90</b>	<b>0,86</b>	-0,34
Mg	-0,13	<b>0,94</b>	0,65	-0,52	0,35	<b>0,88</b>	<b>0,83</b>	-0,49
Al	<b>0,74</b>	0,28	0,40	0,66	<b>0,92</b>	-0,09	0,46	<b>0,85</b>
H+Al	<b>0,93</b>	0,30	<b>0,96</b>	0,11	<b>0,90</b>	-0,24	<b>0,78</b>	0,30
M.O.	<b>0,88</b>	0,20	<b>0,95</b>	0,16	0,21	0,40	0,63	-0,05
t	0,33	<b>0,88</b>	0,68	0,26	<b>0,94</b>	0,03	0,64	<b>0,71</b>
T	<b>0,92</b>	0,32	<b>0,96</b>	0,10	<b>0,90</b>	-0,23	<b>0,80</b>	0,28
S.B.	-0,24	<b>0,96</b>	0,67	-0,69	0,44	<b>0,87</b>	<b>0,88</b>	-0,42
V	<b>-0,77</b>	0,53	-0,51	-0,68	-0,49	<b>0,84</b>	0,64	-0,61
m	0,49	<b>-0,74</b>	-0,33	<b>0,93</b>	<b>0,73</b>	-0,30	-0,15	<b>0,96</b>
ISNa	-0,21	<b>-0,89</b>	<b>-0,72</b>	-0,37	<b>-0,85</b>	-0,11	-0,55	-0,56

<sup>1</sup> Variância explicada; <sup>2</sup> Variância acumulada. Em que: P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Al = alumínio; H+Al = acidez potencial; MO = matéria orgânica; SB = soma de bases; t = capacidade de troca de cátions efetiva = T = capacidade de troca de cátions potencial; V = porcentagem de saturação por bases; m = porcentagem de saturação por alumínio; ISNa = índice de saturação de sódio.

De acordo com a literatura a porcentagem de acúmulo para explicação dos dois eixos principais varia entre os estudos. Para Silva et al. (2010) um ou dois componentes são suficientes para representar o acúmulo de variação contida nos



atributos químicos de solo. Para Cruz e Regazzi (2001) em estudos por meio da análise de componentes principais busca-se que 70% da variação total acumulada sejam explicadas pelos dois primeiros componentes. É possível observar que as componentes principais mais importantes podem ser resumidas em duas componentes por camada de solo estudado, as quais possuem variância acumulada de 77,73; 72,06; 73,01; 68,78% para as camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, respectivamente.

De uma maneira geral nas camadas de estudo 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 cm, não se observou um comportamento padrão quanto as correlações entre os componentes principais e os atributos do solo, visto que as maiores correlações, ocorre para diferentes atributos nas camadas de estudo. No primeiro componente principal CP1 0-5 que explica 40,71% da variação, nota-se correlação positiva para os atributos pH, sódio, alumínio, acidez potencial, matéria orgânica e CTC potencial, em que se enquadram como elevada correlação positiva ( $>0,70$ ). Já saturação por base possui alta correlação negativa ( $<-0,70$ ).

A partir dos atributos químicos correlacionados com as CP1 0-5 do solo em estudo, observa-se que em menor saturação de alumínio e índice de saturação de sódio os solos tendem a ser mais férteis, ocorrendo maior concentração de potássio, cálcio, magnésio e conseqüentemente os valores de soma de bases e CTC efetiva. Observa-se que nas camadas mais superficiais (0-5, 5-10 cm) ocorre correlação positiva nas CP1 0-5, CP2 0-5, CP1 5-10, CP2 5-10 entre teor de fósforo e conteúdo de matéria orgânica, por outro lado a correlação se torna inversa com o aumento da profundidade, nas camadas de 10-20, 20-40 cm.

Em relação a CP1 0-5, CP2 0-5, CP1 5-10, CP2 5-10 pode-se inferir que o aumento da matéria orgânica elevou a concentração de fósforo, CTC potencial, alumínio e conseqüentemente acidez potencial (Tabela 1.6). Já na CP1 10-20, CP2 10-20, CP1 20-40, CP2 20-40 com o aumento de matéria orgânica ocorre diminuição na concentração de fósforo, porém ocorre correlação positiva com potássio, cálcio, magnésio e conseqüentemente soma de bases.

Observa-se que as componentes principais obtiveram padrões diferentes para as quatro camadas de solo estudadas na Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó, ES visto que os coeficientes de correlação entre as componentes principais e variáveis de solo em geral possuem valores mais elevados para diferentes atributos químicos entre as camadas de solo.

As correlações entre os atributos químicos nas quatro camadas de solo e parcelas de estudo com as componentes principais mais representativas são representadas nos gráficos da Figura 2.1 A (0-5 cm), B (5-10 cm), C (10-20 cm) e D (20-40 cm).

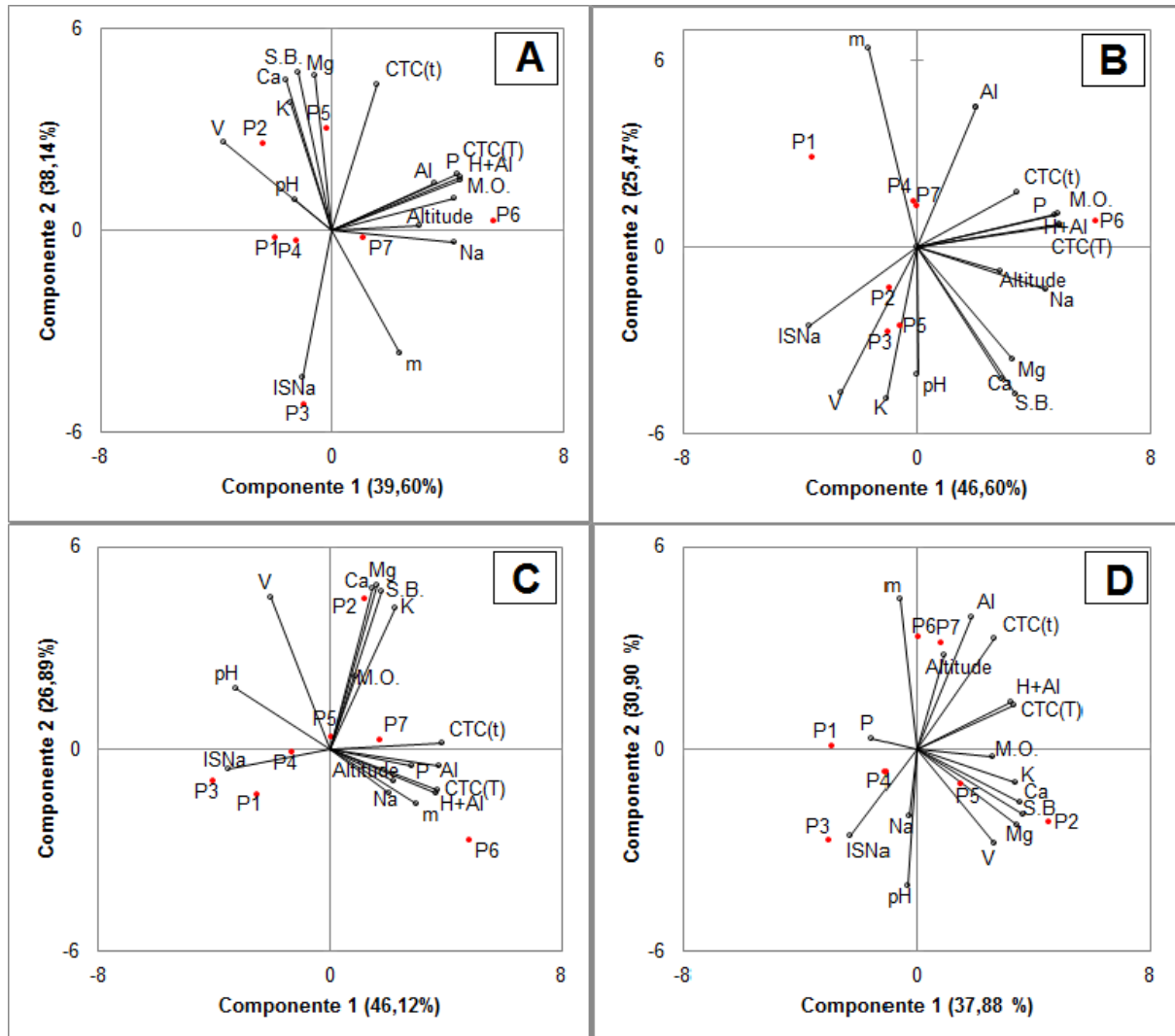


Figura 2.1. A (0-5 cm), B (5-10 cm), C (10-20 cm) e D (20-40 cm) - Projeções dos atributos químicos de solo da Floresta Ombrófila Densa Montana, ES no plano principal entre as Componentes Principais (CPs) 1 e 2, para as camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm. Em que: P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Al = alumínio; H+Al = acidez potencial; MO = matéria orgânica; SB = soma de bases; t = capacidade de troca de cátions efetiva = T = capacidade de troca de cátions potencial; V = percentagem de saturação por bases; m = percentagem de saturação por alumínio; ISNa = índice de saturação de sódio.

Os atributos representados na Figura 2.1 A (0-5 cm), B (5-10 cm), C (10-20 cm) e D (20-40 cm), que estão mais afastados da origem são os mais representativos na

variação dos dados dos atributos químicos, sendo que os atributos mais afastados da origem no sentido horizontal representam a componente principal 1 (CP1) e as mais afastadas da origem no sentido vertical representam a componente principal 2 (CP2).

Analisando a Figura 2.1 A B, C, D, os atributos que possuem maior representatividade para a camada de 0-5 cm são: fósforo, acidez potencial, CTC potencial, soma de bases, índice de saturação por sódio. Para esta camada a maior representatividade para parcela P5 pelos atributos: magnésio, cálcio, potássio e conseqüentemente soma de bases, por outro lado forte correlação oposta pela saturação de alumínio. Observa-se o isolamento da P6 em relação as demais, visto sua maior correlação com o sódio, acidez potencial, fósforo, matéria orgânica, alumínio, CTC potencial.

Para a camada de 5-10 cm os atributos mais representativos foram saturação de alumínio e saturação de bases, potássio, CTC potencial, potássio. Nota-se a menor representatividade da P1, em que aparece isolada (Figura 2.1 B), assim como elevada correlação da P6 com a acidez potencial, matéria orgânica, fósforo. Para as camadas de 10-20 e 20-40 cm a representatividade entre os atributos foi similar para cada profundidade, entretanto observa-se para as camadas de 10-20 e 20-40 cm (Figura 2.1 C, D) ocorre maior representatividade da P2 pelos atributos que indicam maior fertilidade como: cálcio, magnésio, potássio e soma de bases conseqüentemente. Tal fato pode ser explicado pela menor acidez nestas camadas, diminuindo a lixiviação destes nutrientes.

É possível observar correlação positiva entre a matéria orgânica e o teor de fósforo nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, entretanto para as camadas de 10-20, 20-40 cm observa-se um padrão inverso. A correlação entre matéria orgânica e adsorção de fósforo no solo tem sido debatida em vários estudos, que evidenciam que a capacidade do solo em adsorver o fósforo pode aumentar ou diminuir de acordo com o conteúdo de matéria orgânica. A presença de maiores concentrações de fósforo nas camadas mais superficiais pode ser explicada pelo processo de ciclagem de nutrientes, visto que a disponibilidade de nutrientes no horizonte mais superficial pode estar diretamente relacionada com a produção e decomposição de serapilheira (PESSOA; PONGE, 2006, ZANELLA, 2011).

Para Sanyal e De Datta (1991) o caráter aniônico da matéria orgânica atua na formação de pontes catiônicas com o alumínio, ferro e cálcio a ela adsorvidos, desta maneira o fósforo pode ser adsorvido no solo por meio destas pontes. Entretanto

estudos de Silva et al. (1997) e Aquino (2004) mostram que a ação do ácido carbônico produzido pela matéria orgânica pode influenciar na redução da adsorção de fósforo no solo. Estudo de Delarmelina (2015) mostram que a redução da concentração de fósforo no solo também pode estar associada a fatores além da matéria orgânica, como os atributos físicos do solo, em que observou em solos tropicais menores valores de fósforo remanescente em concentrações maiores de argila.

Outro aspecto importante que pode ser visto nas camadas mais superficiais (Figura 2.1 A, B), é a correlação da matéria orgânica a presença de alumínio, conseqüentemente saturação de alumínio. Supõe-se que o cátion H<sup>+</sup> proveniente dos compostos orgânicos influencie para o aumento da acidez do solo nestas camadas principalmente, visto que são as que possuem maiores teores (Tabela 2.1). Por outro lado, ocorre a diminuição desta correlação com o aumento da profundidade, visto a menor influência da matéria orgânica nas camadas mais profundas (Figura 2.1 C, D), pode ser interpretada como o efeito da elevação do pH do solo na diminuição da acidez potencial e no aumento da saturação de bases.

Os maiores teores de matéria orgânica observado na P6 e P7 para a camada de 0-5 cm, respectivamente, pode estar associado a influência de temperatura em cada parcela, já que estas se encontram em maiores altitudes em relação as demais, o que sugere menores temperaturas. Apesar deste resultado observado, vale destacar que a P6 se encontra em condições desfavoráveis em relação as demais parcelas para obter maiores teores de matéria orgânica, já que esta não possui características para elevado aporte e acúmulo de serapilheira. Esta parcela está situada em orientação Sul/Sudeste, o que sugere menor entrada de radiação solar e menor produção de biomassa, assim como está em maior declividade, sendo, portanto, mais propícia a retirada de matéria orgânica por água das chuvas devido à inclinação (OLIVEIRA et al., 1995; HINKEL, 2002; CALDEIRA et al., 2007).

Afim de confirmar os grupos de parcelas formados com base na variação de todos os atributos químicos do solo, adotou-se a análise de agrupamento (AA) para todas as camadas de solo, utilizando-se os atributos analisados. As análises de agrupamentos forneceram dendrogramas por meio do método de ligação de Ward (Figura 2.2 - A (0-5 cm), B (5-10 cm), C (10-20 cm), D (20-40 cm)).

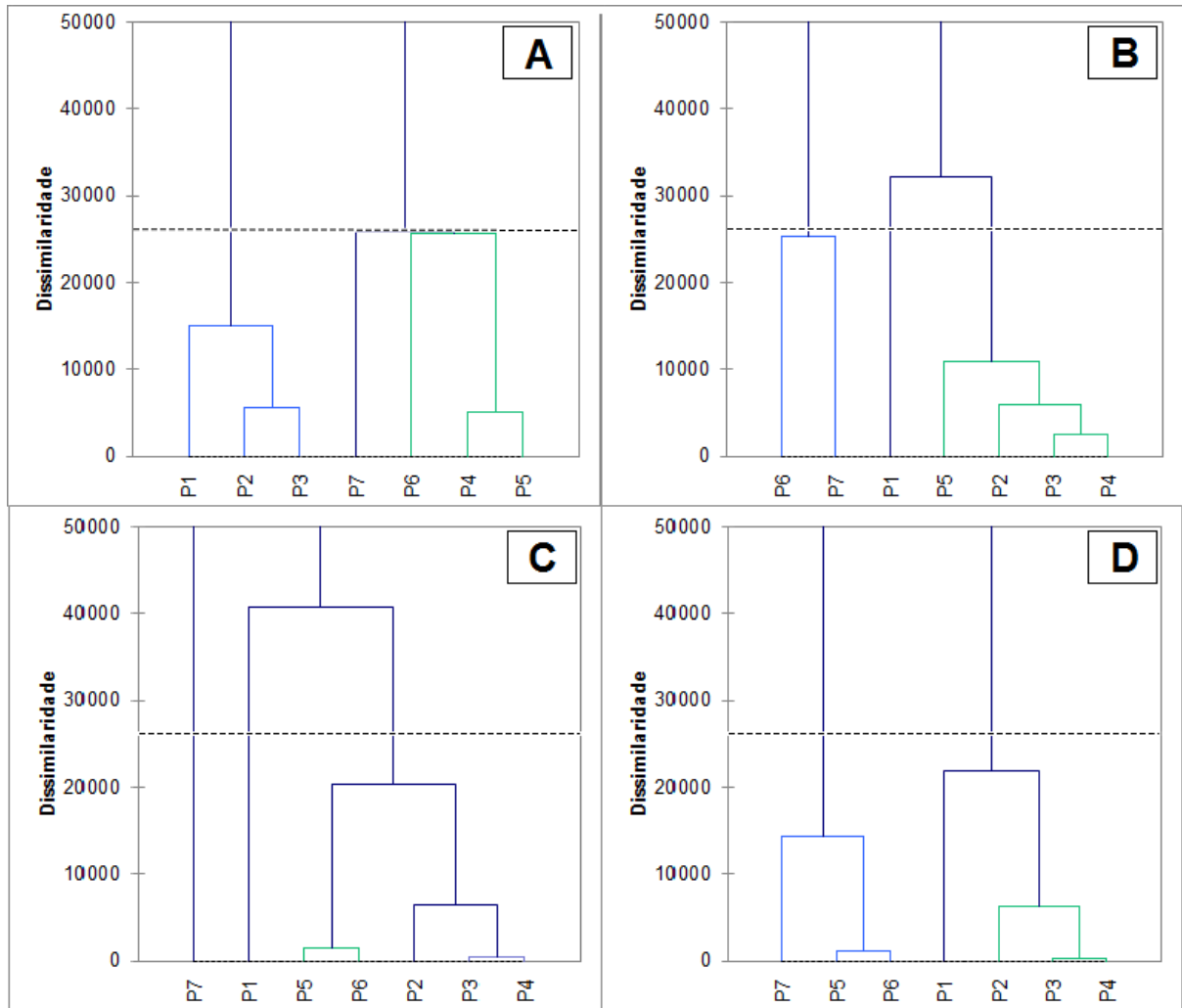


Figura 2.2. A (0-5 cm), B (5-10 cm), C (10-20 cm), D (20-40 cm) - Dendrograma de agrupamento das parcelas da Floresta Ombrófila Densa Montana, ES, pelos atributos químicos do solo para as camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm.

A partir do dendrograma de agrupamento das parcelas em relação a camada de 0-5 cm, é possível visualizar a formação de três grupos de maior similaridade entre as parcelas, cujo o grupo I é composto pela P1, P2 e P3, assim como o grupo II pela parcela P7 e o grupo III pela P4, P5 e P6. Com a formação desses grupos observa-se a influência do gradiente altitudinal associado a temperatura e umidade, em que as parcelas de altitude mais próximas possuem maior similaridade. Segundo Castro (2014) o aumento da altitude em área de Floresta Ombrófila Densa pode aumentar a umidade do solo, devido a presença de chuvas mais frequentes e constante neblina, assim como, ocorre diminuição gradativa da temperatura e uma maior concentração de  $Al^{3+}$ , que podem reduzir as taxas de decomposição da matéria orgânica. Tal fato

pode ser evidenciado com o isolamento da P7, que possui maior altitude em relação as demais.

Nota-se que as parcelas P1 e P3 compõem o mesmo grupo de similaridade para os atributos químicos na camada de 0-5 cm, podendo estar associado a localização destas, visto que estas se assemelham na face de exposição solar, parcialmente voltadas para o Norte (Tabela 1). Estas parcelas podem ser influenciadas pelo processo de decomposição de serapilheira e ciclagem de nutrientes de forma similar, visto condições similares entrada de energia solar e desenvolvimento e crescimento dos vegetais.

Segundo Castro (2014) a face norte recebe os primeiros e os últimos raios solares do dia, possibilitando a maior entrada de radiação solar na área, já a face sul tem maior deposição de orvalho durante o dia e maior sombreamento, possuindo conseqüentemente maior umidade. Entretanto, com o aumento da profundidade, estas parcelas possuem menos semelhança entre si, tal fato pode estar associado a menor influência da matéria orgânica nas camadas mais profundas.

Para a camada de 5-10 cm observa-se a formação de grupo de similaridade composto pelas parcelas P6 e P7, sendo este formado pelas parcelas de maiores altitudes do estudo (Tabela 1), tal fato pode estar associado a influência desta variável na temperatura e processo de decomposição da matéria orgânica. Além da altitude, estas parcelas possuem os maiores teores de matéria orgânica em relação as demais, conseqüentemente possuem alta correlação negativa para saturação de bases, apresentando menor fertilidade em relação as demais. Segundo estudos de Godinho et al. (2014) áreas de maiores altitudes podem proporcionar condições de menor fertilidade e maior acidez (Figura 2.1 A, B, C, D).

Outro fator para menor declividade, pode estar associado a declividade acentuada nestas parcelas, associada a altitude elevada. Os solos desenvolvidos em áreas mais íngremes tendem a ser menos profundos em relação a áreas planas, assim áreas de encosta que geralmente possuem sombreamento maior, podem apresentar maior teor de matéria orgânica, além da velocidade da água se tornar maior em encostas e os processos erosivos mais acentuados. (GUERRA; BOTELHO, 1996). Desta forma pode haver perdas de nutrientes mais expressivas em áreas mais declivosas. Para Lima et al., (2007) em relevos inclinados, grande parte da água escorre pela superfície, favorecendo processos erosivos e dificultando a formação do

solo, sendo áreas ocupadas, predominantemente, desta maneira, em relevos muito inclinados os solos são mais rasos em decorrência da perda de materiais por erosão.

A partir do dendrograma de similaridade de 10-20 cm nota-se o isolamento das parcelas P7 e P1 em dois grupos distintos, evidenciando a forte correlação negativa com atributos químicos do solo relacionados a fertilidade P1 e baixa correlação positiva para P7, mostrando a baixa fertilidade destas parcelas, observados na ACP 10-20 cm. Nota-se para esta camada o surgimento de um maior número grupos, cinco grupos distintos, visto que o aumento da profundidade interfere no teor da matéria orgânica do solo e influencia para a diminuição da fertilidade do solo, assim como em estudos de Santos et al. (2008) em um Latossolo Vermelho distrófico típico sob um fragmento de floresta subtropical. Este fato pode ser confirmado com a ACP das camadas de 10-20 cm.

As parcelas P7 e P6 representados por solos ácidos e com presença elevada de alumínio, conseqüentemente saturação de alumínio, assim como, possuem baixa fertilidade em relação as demais parcelas (Figura 2.1 D). A consequência da menor fertilidade nestas parcelas é refletida em uma paisagem de vegetação de menor porte, biomassa em relação as outras parcelas. Estudos de Morel, (2014) analisando a relação entre a vegetação arbórea e atributos do solo ao longo de um gradiente altitudinal em floresta nativa no Sul de Minas Gerais, verificou diferenças significativas nos atributos químicos dos solos nos diferentes patamares, observando assim como neste estudo, menor fertilidade em áreas de maiores altitudes.

## 5. CONCLUSÃO

O solo do fragmento da floresta em estudo no geral possui elevados teores de alumínio e matéria orgânica, assim como possui caráter ácido e baixa fertilidade, comum em áreas tropicais. A acidez e fertilidade foi inferior em comparação a outras tipologias florestais e maior em outras.

O gradiente altitudinal associado a temperatura e umidade foram as variáveis mais expressivas para os teores dos atributos químicos do solo, entretanto, a face de exposição solar, declividade, sucessão ecológica, vegetação, material de origem e outras variáveis não analisadas em conjunto também são importantes para a determinação destes.

Com o aumento da altitude os solos possuem de maneira geral menor fertilidade em relação as de menores altitudes.

A matéria orgânica foi o atributo químico de maior influência para a fertilidade e acidez do solo, sendo de maior relevância nas camadas superficiais do solo e menos expressiva nas camadas mais profundas, influenciando principalmente os teores de alumínio e soma de bases.



## 6. REFERÊNCIAS

- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C., GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 1-18, 2013.
- ALVES, R.A.; SOUTO, S.J.; SOUTO, P.C. Aporte e decomposição de serapilheira em área de caatinga, na Paraíba. **Revista Biologia e Ciência da Terra**, Campina Grande, v 6, n. 2, p. 194-203, 2006.
- ARAÚJO, R.S. PIÑA RODRIGUES, F.C.M.; MACHADO, M.R.; PEREIRA, M.G.; FRAZÃO, F.J. Aporte de serapilheira e nutrientes ao solo em três modelos de revegetação na Reserva Biológica de Poço das Antas, Silva Jardim, RJ. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 12, n. 2, p. 16-24, 2006.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=27&idMenu=816&idConteudo=1473>>. Acesso em 16/09/2009.
- BRUN, E.J.; SCHUMACHER, M.V.; VACCARO, S.; SPATHELF, P. 2001. Relação entre a produção de serapilheira e variáveis meteorológicas em três fases sucessionais de uma floresta estacional decidual no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 1, p. 277-285, 2001.
- CALDEIRA, M.V.W.; MARQUES, R.; SOARES, R.V.; BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes – Floresta Ombrófila Mista Montana – Paraná. **Revista Acadêmica**, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 101-116, 2007.
- CALDEIRA, M.V.W.; VITORINO, M.D.; SCHAADT, S.S.; MORAES, E.; BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa. **Semina: Ciências Agrárias** (Online), Londrina, v. 29, p. 53-68, 2008.
- CALÓ, L.O. Atributos químicos e biológico do solo em áreas de restauração florestal. **Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)**. Universidade federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. p.36-55, 2015.
- CÂMARA, I. G. Breve história da conservação da Mata Atlântica. In: GALINDO LEAL, C.; CÂMARA, I.G. (Eds.). **Mata Atlântica: biodiversidade, ameaças e perspectivas**. São Paulo: Fundação SOS Mata atlântica & Conservação Internacional, 2005. p.31-42.
- CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D.; REIS, E.F.; PEREIRA, H.S. & AZEVEDO, W.R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, 33:147-157, 2009.
- CASTRO, K.C. Serapilheira e estoque de carbono ao longo de um gradiente altitudinal na Floresta Ombrófila Densa, no Parque Nacional do Caparaó, ES. **Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)**. Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. p.24-47, 2014.
- classification of húmus forms. **For. Sci. Monogr.**, 29:1-48, 1993.
- CORREIA, M. E. F.; ANDRADE, A. G. Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria**

**orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** Porto Alegre, Genesis, cap. 13, p. 197-225, 1999.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento** CUNHA, G.M.; GAMA-RODRIGUES, C.A.; GAMA-RODRIGUES, F.; VELLOSO, A.C.X. Biomassa e estoque de carbono e nutrientes em Florestas Montana da Mata Atlântica na região norte do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 33, p. 1157-1185, 2009.

DAMASCENO, A. C. F.; GANDARA, F. B. Macrofauna Edáfica em Áreas restauradas com Diferentes Idades no Pontal do Paranapanema.. In: VI Simpósio Nacional e Congresso Latino-americano Recuperação de Áreas Degradadas, 2005, Curitiba. **Anais**. Curitiba, p. 25-33, 2005.

DELARMELINA, W, M. Fertilidade, estoque de carbono orgânica no solo e serapilheira em uma Floresta Estacional Semidecidual Submontana. **Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)**. Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. p.20-54, 2015.

DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, SSSA, 1994. p.1-20.

DUCATTI, F. **Fauna edáfica em fragmentos florestais e em áreas reflorestadas com espécie da Mata Atlântica**. 2002 70 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo – USP. Piracicaba, 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manual de métodos de análise de solo**. 2ed. EMBRAPA-CNPQ, Rio de Janeiro, Brasil, 1997.

Estacional Semidecidual. **Ecologia e Nutrição Florestal**, v.1, n.3, p. 97-109, 2013.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. **Mata Atlântica**. Disponível em: < <http://www.sosma.org.br/nossa-causa/a-mata-atlantica/>>. Acesso em: 21 de Abril 2013.

GALLON, M.M.P. Um estudo sobre a dinâmica de sistemas complexo a partir de séries temporais de dados microclimáticos para uma floresta de transição no Noroeste do Mato Grosso. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)** - Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, MT. 115f, 2004.

GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F.; COMERFORD, N.B. Biomass and nutrient cycling in pure and mixed stands of native tree species in Southeastern Bahia, **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, n. 31, p. 287-298, 2007.

GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F.; COMERFORD, N.B. Biomass and nutrient cycling in pure and mixed stands of native tree species in Southeastern Bahia, **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, n. 31, p. 287-298, 2007.

GODINHO, T. de O.; CALDEIRA, M. V. W.; CALIMAN, J. P.; PREZOTTI, L. C.; WATZLAWICK, L. F.; AZEVEDO, H. C. A.; ROCHA, J. H. T.. Biomassa, macronutrientes e carbono Orgânico na serapilheira depositada em trecho de floresta Estacional Semidecidual Submontana, ES. **Scientia Forestalis** (IPEF), v. 41, p. 131-144, 2013.

- GODINHO, T. de O. G.; CALDEIRA, M. V. W.; ROCHA, J. H. T.; CALIMAN, J. P.; TRAZZI, P. A. Quantificação de biomassa e nutrientes na serapilheira acumulada em trecho de Floresta Estacional Semidecidual Submontana, ES. **Cerne**, v. 20, n. 1, p. 11-20, 2014.
- GOLLEY, F.B. Nutrient cycling and nutrient conservation. In: Tropical forest ecosystems: structure and function. **Elsevier**; Amsterdam, p. 137-156, 1983.
- GONZALEZ, M. I. M.; GALLARDO, J. F. El efecto hojarasca: una revisión. **Anales de Edafología y Agrobiología**, v.41, n.5/6, p.1129-1157, 1982.
- GREEN, R. N; TROWBRIDGE, R. L. e KLINKA, K. Towards a taxonomic INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL (IBDF). **Plano de Manejo para o Parque Nacional do Caparaó**. Fundação Brasileira para a Conservação da Natureza. Doc. Tec. n. 8. Brasília, 1981. 139p.
- JORGE, J.A. Solo: manejo e adubação. **Nobel**, São Paulo, SP, v.2, n.2, p 293-307.
- KLIPPEL, V.H., **Avaliação de métodos de restauração florestal de mata atlântica de tabuleiros**, 2011, 85f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, Brasil.
- KOLM, L.; POGGIANI, F. Ciclagem de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus grandis* submetidos à prática de desbastes progressivos. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 63, p. 79-93. 2003.
- MAFRA, A. L.; GUEDES, S. de F. F.; FILHO, O. K.; SANTOS, J. C. P.; ALMEIDA, J. A. de A.; ROSA, J. D. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 32, n. 2, p. 217-224, 2008.
- MAMAN, A. P. de; SILVA, C. J da; SGUAREZI, E. de M.; BLEICH, M. E. Produção e acúmulo de serapilheira e decomposição foliar em mata de galeria e cerradão no sudoeste de Mato Grosso. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v. 5, n. 1, p. 71- 84, 2007.
- MANTOVANI, W. 2003. Delimitação do bioma Mata Atlântica: implicações legais e conservacionistas. **Ecossistemas Brasileiros: Manejo e Conservação**. 1º ed. Expressão Gráfica e Editora, Fortaleza, p.287-295.
- MAZINE, F.F.; SOUZA, V.C. Myrtaceae dos campos de altitude do Parque Nacional do Caparaó – Espírito Santo/Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia**, Piracicaba, v. 59, n. 1, p. 57-74, 2008.
- MENDES, F. G.; MELLONI, E. G.; MELLONI, R. Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, em Itajubá/MG. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 211-220, 2006.
- MINGOTI, S. A. Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada. Belo Horizonte, MG: Ed. UFMG, 2007. 297 p.
- MITTERMEIER, R.A.; MEYERS, N.; GIL, P.R.; MITTERMEIER, C.G. **Hotspots: earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions**. Mexico City. CEMEX, 1999. 430p.

MORAES, R.M. Ciclagem de nutrientes na floresta do PEFI: produção e decomposição da serapilheira. No Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, unidade de conservação que resiste à urbanização de São Paulo. (D. Bicudo, M. Forti & C. Bicudo, eds). **Secretaria de Estado do Meio Ambiente**, São Paulo, p.133-142. 2002.

OLIVEIRA, R. R.; LACERDA, L. D. Produção de serapilheira em estágios sucessionais de Floresta Atlântica na Ilha Grande, RJ. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.28, n.1, p.93-99. 1999.

PEREIRA, W. L. M.; VELOSO, C. A. C.; GAMA, J. R. N. F. Propriedades químicas de um latossolo amarelo cultivado com pastagens na Amazônia oriental. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 3, p. 531-537, jul./set. 2000

PRAGANA, R.B.; RIBEIRO, M.R.; NÓBREGA, J.C.A.; RIBEIRO FILHO, M.R.; COSTA, J.A. Qualidade física de Latossolos Amarelos sob plantio direto na região do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1591-1600, 2012.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA J. A. **Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo – 5ª aproximação**. Vitória: SEEA/INCAPER/ CEDAGRO, 2007. 305p.

RICKLEFS, R.E. Species diversity: an introduction to the problem. In **Species diversity in ecological communities: historical and geographical perspectives** (R.E. Ricklefs & D. Schluter, eds.). University of Chicago Press, Chicago, p.1-10.

RODRIGUES, A. B. C.; SCARAMUZZA, W. L. M. P.; SCARAMUZZA, J. F.; ROCHA, F. Atributos químicos em solo sob floresta nativa e capoeira. **Uniciências**, v.14, n.1, p.23-38, 2010.

RODRIGUES, K.R. Geoambientes e solos em ambientes altimontanos nos Parque Nacionais de Itatiaia e Caparaó-MG. 2011, 132f. **Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa**, Viçosa, Brasil.

RODRIGUES, K.R. Geoambientes e solos em ambientes altimontanos nos Parque Nacionais de Itatiaia e Caparaó-MG. 2011, 132f. **Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa**, Viçosa, Brasil.

SANCHES, Luciana; VALENTINI, Carla M. A.; BIUDES, Marcelo S. and NOGUEIRA, José de S..Dinâmica sazonal da produção e decomposição de serrapilheira em floresta tropical de transição. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental. bras. eng. agríc. ambient.** [online].2009,vol.13,n.2, pp.183, 2009.-189. ISSN14154366. <http://dx.doi.org/10.1590/S141543662009000200012>.

SARAIVA, A.C.R. Influência das variações micro-ambientais na comunidade de Palmeiras da Floresta Ombrófila Densa Montana, núcleo Santa Vigínia, Parque Estadual da Serra do Mar – SP. **Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais)**. Universidade de Taubaté, Taubaté, SP. p.36-42, 2010.

SERI - Society for Ecological Restoration International e Policy Working Group. The SER International Primer on Ecological Restoration. [www.ser.org](http://www.ser.org) e Tucson: **Society for Ecological Restoration International**, 2004.

SKORUPA, A.L.A.; GUILHERME, L.R.G.; CURI, N.; SILVA, C.P.C.; SCOLFORO, J.R.S.; MARQUES, J.J.G.S.M. Propriedades de solos sob vegetação nativa em Minas Gerais: distribuição por fitofisionomia, hidrografia e variabilidade espacial. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v. 36, p. 11-22, 2012.

SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F. et al., (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 205-274.

SWITZER, G.L.; NELSON, L.E. Nutrient accumulation and cycling in Loblolly Pine (*Pinus taeda*) plantation ecosystems: The first 20 years. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 36, p. 143-147, 1972.

TEIXEIRA, W.; FAIRCHID, T. R.; TOLEDO, M.C.M. de; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: IBEP Editora Nacional-Conrad, 2009. 600p.

TRAZZI, P. A. Quantificação de biomassa e nutrientes na serapilheira acumulada em Trecho de Floresta Estacional Semidecidual Submontana, ES. **Cerne**, v. 20, n. 1, p.

VARELLA, C.A.A. 2008. Análise de Componentes Principais. Rio de Janeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, p. 1-12. Disponível em: <http://www.ufrjr.br/institutos/it/deng/varella/Downloads>. Acesso em: 18/06/2008.

VIANA, V.M. 1995. Conservação da biodiversidade de fragmentos de florestas tropicais em paisagens intensamente cultivadas. In: **Abordagens interdisciplinares para a conservação da biodiversidade e dinâmica do uso da terra no novo mundo**. Gainesville: Conservation International do Brasil/Universidade Federal de Minas Gerais/University of Florida, p. 135-154.

VITAL, A.R.T. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma Floresta Estacional Semidecidual em Zona Ripária. **Revista Árvore**, Viçosa v. 28, n. 6, p. 793-800, 2004.

VITOUSEK, P.M.; SANFORD JR., R.L. Nutrient cycling in moist tropical forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v.17, p.137-167, 1986.

WARING, R. H.; SCHLESINGER, W. H. Forest ecosystems: Concepts and management. St Louis: **Academic Press**, 1985. 340p.

WEDDERBURN, M.E.; CARTER, J. Litter decomposition by four functional tree types for use in silvopastoral systems. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 31, p. 455–461, 1999.

WILSON, E. O. A situação atual da diversidade biológica. In: WILSON, E. O. (Ed.). **Biodiversidade**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, p. 3-24. 1997.