

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**

**TALMO HENRIQUE DOS SANTOS SILVA**

**PARÂMETROS FÍSICOS DE SOLOS COESOS SOB CULTIVO DE  
EUCALIPTO EM TOPOSSEQUÊNCIA NA ZONA DA MATA  
NORDESTINA**

**RECIFE-PE**

**2021**



**Talmo Henrique dos Santos Silva**  
**Engenheiro Agrônomo**

**Parâmetros físicos de solos coesos sob cultivo de eucalipto em topossequência na zona da  
mata nordestina**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Brivaldo Gomes de Almeida

Coorientadores: Prof<sup>ª</sup> Dra. Maria Betânia G. S. Freire

Dr. Douglas Monteiro Cavalcante

Dr. José Coelho de Araújo Filho

**Recife, PE**

**2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo (a) autor (a)

---

- S586p Silva, Talmo Henrique dos Santos  
Parâmetros físicos de solos coesos sob cultivo de eucalipto em topossequência na zona da mata nordestina / Talmo Henrique dos Santos Silva. - 2021.  
106 f. : il.
- Orientador: Brivaldo Gomes de Almeida.  
Coorientadora: Maria Betania Galvao dos Santos Freire.  
Inclui referências e anexo(s).
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Recife, 2021.
1. Caráter coeso. 2. Tabuleiros Costeiros. 3. Silvicultura. 4. Variações topográficas. 5. Índice de qualidade do solo.
- I. Almeida, Brivaldo Gomes de, orient. II. Freire, Maria Betania Galvao dos Santos, coorient. III. Título

CDD 631.4

---

TALMO HENRIQUE DOS SANTOS SILVA

**Parâmetros físicos de solos coesos sob cultivo de eucalipto em topossequência na zona da mata nordestina**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Aprovada em 26 de Fevereiro de 2021

---

Prof. Dr. Brivaldo Gomes de Almeida  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Presidente da Banca Examinadora

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Ademir de Oliveira Ferreira  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero  
Universidade Federal do Ceará



## DEDICATÓRIA

À Deus, aos meus familiares, em especial a minha mãe, Rosemary, a minha noiva, Nairlânia, e a minha falecida avó, Dona Maria de Lourdes dos Santos Silva





## **AGRADECIMENTOS**

À Deus pela sua bondade e cuidado;

À toda minha família, por todo incentivo e compreensão, em especial a minha mãe por toda dedicação e esforço, por todo incentivo aos estudos, por todos os conselhos de vida e cuidados.

À minha falecida avó, Maria de Lourdes dos Santos Silva, por todos cuidados, dedicação, conselhos, puxões de orelha e por todo amor transmitido.

Ao meu irmão, Rafaelly Enio, por toda motivação, força e cuidados.

Aos meus sobrinhos, Ananda Rafaelly, Otavio Avelino e Luiz Fernando.

À minha noiva (esposa), Nairlânia Odara, por toda dedicação, companheirismo, cuidados, incentivos e conselhos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Brivaldo Gomes de Almeida, pela dedicação, esforço, conhecimentos compartilhados e todo auxílio para conclusão dessa pesquisa.

Aos meus coorientadores Prof<sup>ra</sup> Dra. Maria Betânia G. S. Freire, Dr. Douglas Monteiro Cavalcante e Dr. José Coelho de Araújo Filho, por toda dedicação, conhecimentos compartilhados e toda ajuda na realização dessa pesquisa.

Aos meus amigos, Gabii, Carol, Emerson Lima, Allison, Mauro, Danielson, Lucas Lima, Patryk, Henrique, Eudes, Steffany, Neura, Marlon, Monalisa, Ana, Aglair, Danillo, Fagna e Tamires pelo companheirismo, momentos de descontração, ajuda e incentivo.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE

À Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo – UFRPE

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão da bolsa de estudo.



## **Parâmetros físicos de solos coesos sob cultivo de eucalipto em topossequência na zona da mata nordestina**

### **RESUMO**

Os solos dos Tabuleiros Costeiros podem apresentar a ocorrência de caráter coeso, que limita a profundidade efetiva para dinâmica de água, aeração do solo e crescimento radicular. As mudanças na topografia e a forma do relevo podem promover variações dos atributos morfológicos, físicos, químicos, mineralógicos e biológicos do solo, afetando o desenvolvimento, crescimento e a produtividade das culturas, o que justifica estudos ao longo de topossequência. O plantio de eucalipto possibilita a utilização de áreas de encostas que são inviáveis ao plantio de outras culturas, devido sua maior declividade; aliado a isso, há uma grande diversidade no mercado para sua exploração. Entretanto, nessas áreas, o cultivo de eucalipto tem apresentado problemas de produtividade, em consequência das alterações das propriedades do solo em função da sua posição na paisagem. Neste contexto, o objetivo da pesquisa foi avaliar se há limitações na produção de eucalipto em função dos atributos físicos do solo em uma topossequência, caracterizando sua variabilidade conforme posição na paisagem e identificar aquela com piores condições de uso. A pesquisa foi realizada em área experimental situada na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas, com povoamentos clonais de *Eucalyptus* sp. As glebas utilizadas no experimento foram: 0 ano (T0), quando é retirada a cana-de-açúcar e realizado o plantio de eucalipto; 6 anos (T6), que é idade de corte; além de uma área de floresta nativa de Mata Atlântica conservada, considerada como topossequência de referência (TR). Assim, nas três topossequências selecionadas (T0, T6 e TR), definiu-se as posições de paisagem: topo ou terço superior da encosta (TSE); terço médio da encosta (TME); e terço inferior da encosta (TIE). Nessas, foram estudados dois horizontes: um com caráter coeso (HC); e outro sem, localizado abaixo desse, definido como horizonte selecionado (HS). Para cada topossequências foram abertos três trincheiras em cada posição na paisagem, totalizando nove trincheiras por topossequência (3 posições × 3 trincheiras), onde foram realizadas as coletas das amostras: estruturadas (anéis volumétricos e agregados) e não estruturadas. O total de amostras coletas em todas as áreas de estudo foi 432 amostras: 16 por trincheira, sendo 8 por horizonte, tendo-se HC e HS, resultando em 48 amostras por posição de paisagem e, totalizando 144 amostras por topossequência (48 amostras × 3 posições). Nas respectivas amostras foram realizados os ensaios de: distribuição das frações granulométricas; porosidade total e sua distribuição por tamanho de poros (macro, meso, microporos estruturais e biológicos, microporos texturais); densidade do solo; índices de estabilidade de agregados; resistência tênsil dos agregados; simulação da resistência do solo à penetração de raízes; condutividade hidráulica saturada. De posse dos resultados foram elaborados os índices de qualidade do solo (IQS), definindo-se a função que os atributos exercem no solo, do ponto de vista ambiental ou agrícola. A análise estatística dos dados ao longo das topossequências revelaram que, o TSE apresentou os melhores resultados, como observado na área sob cultivo com eucalipto, há seis anos (T6) no HS, e com menos de 1 ano (T0) no HC, sendo as piores condições encostradas no TME da área T6 dos HC e no TIE da área TR dos HS. Esses resultados estão de acordo com os obtidos pelas análises dos atributos via IQS, demonstrando a eficácia desse método para avaliação da qualidade do solo sob diferentes manejos.

**Palavras-chave:** Silvicultura. Variações topográficas. Tabuleiros costeiros. Índice de qualidade do solo. Caráter coeso.



## Physical parameters of cohesive soils under eucalyptus cultivation in toposequence in the northeastern forest zone

### ABSTRACT

The soils of Coastal Tablelands may present a cohesive character, which limits the effective depth for water dynamics, soil aeration, and root growth. Changes in topography and the shape of the relief can promote variations in the morphological, physical, chemical, mineralogical, and biological attributes of the soil, affecting the development, growth, and productivity of crops, which justifies studies along toposequence. The planting of eucalyptus makes it possible to use slope areas that are not feasible to plant other crops, due to its greater slope; allied to that, there is a great diversity in the market for its exploration. However, in these areas, eucalyptus cultivation has shown productivity problems, as a result of changes in soil properties due to its position in the landscape. In this context, the objective of the research was to evaluate if there are limitations in the production of eucalyptus due to the physical attributes of the soil in a toposequence, characterizing its variability according to the position in the landscape and identifying the one with the worst use conditions. The research was carried out in an experimental area located in the Coastal Tablelands region of Alagoas, with clonal stands of *Eucalyptus* sp. The plots used in the experiment were: 0 year (T0), when sugar cane is removed and eucalyptus planted; 6 years (T6), which is the harvest age; in addition to an area of native forest of conserved Atlantic Forest, considered as reference toposequence (TR). Thus, in the three selected toposequences (T0, T6, and TR), the landscape positions were defined: top or upper third of the slope (TSE); the middle third of the slope (TME); and lower third of the slope (TIE). In these, two horizons were studied: one with a cohesive character (HC); and one without, located below that, defined as the selected horizon (HS). For each toposequences, three soil profiles were opened in each position in the landscape, totaling nine profiles per toposequence (3 positions  $\times$  3 trenches), where the samples were collected: structured (soil cores and aggregated) and unstructured. The total of samples collected in all study areas was 432 samples: 16 per profile, 8 per horizon, with HC and HS, resulting in 48 samples per landscape position and, totaling 144 samples per toposequence (48 samples  $\times$  3 positions). In the respective samples, the following tests were carried out: distribution of particle size fractions; total porosity and its pore size distribution (macro, meso, structural and biological micropores, textural micropores); bulk density; aggregate stability indexes; tensile strength of aggregates; simulation of soil resistance to root penetration; saturated hydraulic conductivity. Soil quality indexes (IQS) were elaborated, defining the role that attributes have in the soil, from an environmental or agricultural point of view. The statistical analysis of the data along the toposequences revealed that the TSE presented the best results, as observed in the area under cultivation with eucalyptus, six years ago (T6) in the HS, and with less than one year (T0) in the HC, being the worst conditions found in the TME of the T6 area of HC and the TIE of the TR area of HS. These results are according to those obtained by the analysis of the attributes by IQS, demonstrating the effectiveness of this method for assessing soil quality under different managements.

Keywords: Forestry. Topographic variations. Coastal Tablelands. Soil quality index. Cohesive character.



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Desenho esquemático meramente ilustrativo da distribuição das trincheiras (perfis) e processo de amostragem ao longo das topossequências. .... 33
- Figura 2** – Curva característica de retenção de água do solo da área com eucaliptos com menos de um ano (T0) para os horizontes coesos (HC) e horizontes selecionados (HS), levando em consideração o log das tensões de 0, 10, 60 e 100 cca. .... 47
- Figura 3** - Curva característica de retenção de água do solo da área com eucaliptos de 6 anos (T6) para os horizontes coesos (HC) e horizontes selecionados (HS), levando em consideração o log das tensões de 0, 10, 60 e 100 cca. .... 49
- Figura 4** - Curva característica de retenção de água do solo da área de mata nativa (TR) para os horizontes coesos (HC) e horizontes selecionados (HS), levando em consideração o log das tensões de 0, 10, 60 e 100 cca. .... 50
- Figura 5** – Resistência à penetração de raízes (RP) na área T0 (zero ano) em cada posição da topossequência relacionada a umidade volumétrica ( $\theta$ ) nos horizontes coesos e horizontes selecionados. .... 53
- Figura 6** – Resistência à penetração de raízes (RP) na área T6 (6 anos) em cada posição da topossequência relacionada a umidade volumétrica ( $\theta$ ) nos horizontes coesos e horizontes selecionados. .... 54
- Figura 7** – Resistência à penetração de raízes (RP) na área TR (mata nativa) em cada posição da topossequência relacionada a umidade volumétrica ( $\theta$ ) nos horizontes coesos e horizontes selecionados. .... 55
- Figura 8** – Índice de qualidade do solo (IQS) para os horizontes coesos (HC), RT- resistência tênsil, Me – mesoporosidade, T6- área cultivada com eucalipto de seis anos, T0 – área com eucalipto com menos de 1 ano, TR – área de mata nativa, TSE – terço superior da encosta, TME – terço médio da encosta, TIE – terço inferior da encosta. .... 58
- Figura 9** – Índice de qualidade do solo (IQS) para os horizontes selecionados (HS), RP- resistência a penetração de raízes, Ds- densidade do solo, Me – mesoporosidade, Mi – microporosidade estrutural e biológica, T6- área cultivada com eucalipto de seis anos, T0 – área com eucalipto com menos de 1 ano, TR – área de mata nativa, TSE – terço superior da encosta, TME– terço médio da encosta, TEI – terço inferior da encosta. .... 59
- Figura 10** – LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso petroplúntico argissólico (T0-TSE) e vista da paisagem do topo da topossequência. .... 82
- Figura 11** – ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso latossólico (T0-TME) e vista da paisagem do terço médio da encosta alto. .... 85
- Figura 12** - ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso latossólico (T0-TIE) e vista da paisagem do terço médio da encosta baixa. .... 88
- Figura 13** - LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso típico (T6-TSE) e vista da paisagem do topo da topossequência. .... 91

<b>Figura 14</b> - ARGISSOLO VERMELHO Distrófico típico (T6-TME) e vista da encosta. ....	94
<b>Figura 15</b> - ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrocoeso (T6-TIE) e rocha representativa do solo do (TME e TIE). ....	97
<b>Figura 16</b> - ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrocoeso petroplântico (TR-TSE) e vista da paisagem do topo da topossequência .....	100
<b>Figura 17</b> - LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso típico (TR-TME) e vista da paisagem do terço médio da encosta. ....	103
<b>Figura 18</b> - LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso típico (TR-TIE) e vista da paisagem do terço inferior da encosta. ....	106



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Classificação dos horizontes estudados (coesos-HC e selecionados-HS) nas topossequências sob tempo zero ano de cultivo (T0), tempo seis anos de cultivo (T6) e área sob mata nativa, assumida como referência (TR) .....	34
<b>Tabela 2</b> – Análise granulométrica e pH dos perfis da topossequência da área com eucalipto com menos de um ano (T0).....	36
<b>Tabela 3</b> – Análise granulométrica e pH dos perfis da topossequência da área com eucalipto com 6 anos (T6).....	37
<b>Tabela 4</b> – Análise granulométrica e pH dos perfis da topossequência da área de mata nativa (TR)..	38
<b>Tabela 5</b> – Valores médios dos atributos físicos do solo para as áreas (T0, T6 e TR), as posições (TSE, TME e TIE) e os horizontes dos solos estudados (HC e HS).....	46
<b>Tabela 6</b> - Correlação de Person para todos os atributos físicos dos solos. ....	57
<b>Tabela 7</b> – Valores de incremento médio anual de madeira da área com eucaliptos de 6 anos (T6)..	60
<b>Tabela 8</b> – Resumo ANOVA: Tukey (HSD) 5%. ....	79



## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	19
1.1 Hipóteses .....	21
1.2 Objetivo geral .....	21
1.3 Objetivos específicos .....	21
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	23
2.1. Características e tipos de solos dos Tabuleiros Costeiros .....	23
2.2. Atributos físicos e sua variabilidade em topossequência .....	24
2.3. Eucaliptocultura .....	27
2.4. Atributos físicos x Eucalipto .....	29
2.5. Índice de qualidade do solo (IQS) .....	30
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	32
3.1. Caracterização da área experimental .....	32
3.2. Descrição dos perfis nas topossequências .....	32
3.3. Coleta das amostras e caracterização física dos solos .....	33
3.4. Análises físicas de caracterização dos solos estudados .....	35
3.4.1. Análise granulométrica .....	35
3.4.2. Distribuição de tamanho de poros via curva de retenção de água no solo .....	39
3.4.3. Densidade do solo .....	40
3.4.4. Estabilidade de agregados .....	40
3.4.5. Resistência tênil de agregados e resistência do solo à penetração de raízes .....	41
3.4.6. Condutividade hidráulica saturada .....	42
3.5. Elaboração do índice de qualidade do solo .....	43
3.6. Análise Estatística .....	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	45
4.1. Distribuição de tamanho de poros e CCRAS .....	45
4.2. Densidade do solo, condutividade hidráulica saturada, resistência do solo à penetração de raízes e resistência tênil de agregados .....	50

4.3. Índice de estabilidade de agregados, porcentagem de agregados maiores que 2 mm, diâmetro médio ponderado e diâmetro médio geométrico. ....	55
4.4. Correlação de Person e índice de qualidade do solo .....	56
5. CONCLUSÕES.....	61
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	62
ANEXO A – Tabela de Resumo da ANOVA .....	79
ANEXO B - LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso petroplúntico argissólico. ....	80
ANEXO C - ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso latossólico.....	83
ANEXO D - ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso latossólico .....	86
ANEXO E - LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso típico .....	89
ANEXO F - ARGISSOLO VERMELHO Distrófico típico .....	92
ANEXO G - ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrocoeso latossólico.....	95
ANEXO H - ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrocoeso petroplúntico.....	98
ANEXO I - LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso típico .....	101
ANEXO J – LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso típico .....	104

## 1. INTRODUÇÃO

Em todo o mundo é contabilizado cerca de 20 milhões de hectares plantados com eucaliptos (BOOTH, 2013), dos quais 7,6 milhões de hectares estão no Brasil, em áreas que antes eram utilizadas para cultivos agrícolas como pastagem, cana-de-açúcar, dentre outros. A Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVS) verificou em 2019 que 4867 municípios tinham feito registro na produção primária florestal, onde juntos apresentaram um valor da produção de 20,0 bilhões, tendo o Nordeste uma contribuição de 11 % desse total (IBGE, 2019).

No estado de Alagoas é crescente a implantação de florestas energéticas devido ao potencial da região, com intuito de gerar energia renovável e limpa, aumentar a diversidade, ter crescimento na oferta de empregos e economia, com consequente desenvolvimento da região. O plantio de eucalipto no estado está sendo realizado por parte de fornecedores de cana-de-açúcar, indústrias açucareiras e de cerâmicas, que buscam substituir os canaviais em áreas de encostas que necessitam de elevado investimento. A eucaliptocultura em Alagoas, na sua maioria, foi implantada em 2013, sendo plantados em dois anos 7.997 hectares, com abrangência de 24 municípios alagoanos, sendo a empresa Caetex Florestal uma das grandes investidoras do estado, com meta de 13.500 hectares plantados com eucaliptos (BEAL, 2015).

O plantio de eucalipto possibilita a utilização de áreas de encostas que são inviáveis ao plantio de cana-de-açúcar, devido sua maior declividade; aliado a isso, há grande diversidade de mercado para sua exploração. Além do mais, a eucaliptocultura em Alagoas tem sido opção como áreas de preservação, serve como alternativa para recuperar áreas desmatadas, gera créditos de carbono e tem fácil escoamento da produção, especialmente pela localização geográfica do estado (MOTTA; DINIZ; FERNANDES, 2010; ABRAF, 2013; GOMES, 2014).

O estado de Alagoas é uma das regiões relacionados a sedimentos continentais denominados de Formação Barreiras, que podem dar origem aos Tabuleiros Costeiros. Os solos encontrados nessa região tendem a ter baixo teor de ferro e geralmente horizontes subsuperficiais com caráter coeso, como no caso de Argissolos e Latossolos amarelos (CINTRA et al., 2009; CORRÊA et al., 2008b; DUARTE et al., 2000; SANTANA et al., 2006). Na região dos Tabuleiros Costeiros, é possível encontrar depressões que influenciam no tipo de solos e nas características dos solos presentes (CORRÊA et al., 2008b).

O caráter coeso é um problema comum dos solos da região dos Tabuleiros Costeiros, pois, os horizontes com essa característica quando secos, tendem a ter elevada resistência à

penetração de raízes no solo, que afeta o desenvolvimento radicular, que conseqüentemente afeta a absorção de nutrientes, com mudanças na relação entre a quantidade de ar e o teor de água no solo (CINTRA et al., 2009; REZENDE, 2000).

O relevo é um dos fatores que afetam o crescimento e desenvolvimento das plantas, pois interfere na umidade e temperatura do solo, além de influenciar no fluxo de água no solo, podendo modificar suas características físicas, químicas e biológicas, promovendo alterações em diferentes escalas nos atributos do solo, que por sua vez pode afetar o desenvolvimento das culturas (SILVA et al., 2001; MEIRELES et al., 2012; ESPINDOLA, 2017; PINHEIRO JUNIOR et al., 2018).

Assim, o conjunto de atributos do solo como densidade, distribuição do tamanho de poros, temperatura, aeração, compactação, entre outros, afetam a funcionalidade das raízes das plantas (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003). Estudos realizados com *Eucalyptus grandis*, comprovam que o crescimento pode ser restringido dependendo da quantidade de água disponível que as plantas conseguem acessar (STAPE; BINKLEY; RYAN, 2004; ALMEIDA et al., 2007). Neste sentido, é necessária a avaliação da dinâmica e a interação entre vegetação, topografia e propriedades do solo, principalmente em solos com variabilidade espacial no relevo, que pode ajudar no melhor entendimento do sistema como um todo (HAWTHORNE; MINIAT, 2018).

Desse modo, o conjunto dessas interações interfere no movimento de água no solo, que altera tanto o ambiente físico, como as condições químicas do solo, podendo ser modificado ao longo do tempo, afetando o crescimento das plantas, causando modificações na transpiração, absorção de CO<sub>2</sub>, taxa fotossintética e conseqüentemente na produção (ASGARZADEH et al., 2014; VAN LIER, 2010). Para Nascimento et al. (2014) os atributos do solo que melhor detectam as modificações pelos diferentes usos podem ser determinados e monitorados para avaliar a sustentabilidade, produtividade e melhoria dos solos.

Contudo, pesquisas têm gerado informações sobre a redução dos problemas apresentados por solos que possuem horizontes com caráter coeso, os quais afetam as propriedades desses horizontes e daqueles subsequentes a ele (MELO et al., 2014; MARCELO et al., 2016). Segundo Park e Burt (2002) estudos que utilizem as variações topográficas são de extrema importância, sendo indicadores da variação das propriedades do solo. Balieiro et al. (2008) destacam que o crescimento e desenvolvimento do eucalipto é afetado pela distribuição dos nutrientes em topossequência.

Assim, esta pesquisa pretende identificar os atributos físicos do solo relacionados à diminuição da produção de eucalipto, avaliar aqueles mais sensíveis à variação do ambiente estudado e fornecer respostas do potencial de impacto no uso do solo sob eucaliptocultura em relação a floresta nativa.

### **1.1 Hipóteses**

- A presença do caráter coeso na região de Tabuleiros Costeiros altera os valores de alguns atributos físicos do solo, limitando a produção de eucalipto.
- A variabilidade nos atributos físicos dos solos em áreas cultivadas com eucalipto depende da posição do solo na paisagem ao longo de uma topossequência (terço superior da encosta, terço médio da encosta e terço inferior da encosta), tendo o terço inferior da encosta a pior condição.

### **1.2 Objetivo geral**

Avaliar se há limitações na produção de eucalipto em função dos atributos físicos do solo em uma topossequência, caracterizando sua variabilidade em função da posição na paisagem.

### **1.3 Objetivos específicos**

- Determinar os atributos físicos dos solos das áreas de estudo (cultivadas com eucalipto, em idades distintas: inicial, no plantio; e corte aos 6 anos; e mata nativa, referência), avaliando: análise granulométrica; densidade do solo; porosidade total e sua distribuição de tamanho de poros; estabilidade de agregados (diâmetro médio ponderado-DMP, diâmetro médio geométrico-DMG, porcentagem de agregados maiores que 2 mm-AGRI, índice de estabilidade de agregados-IEA); resistência tênsil dos agregados; resistência do solo à penetração de raízes e condutividade hidráulica saturada;
- Selecionar os atributos físicos do solo para elaboração dos índices de qualidade dos solos (IQS) das áreas de estudo;

- Avaliar e identificar os atributos físicos do solo das áreas de estudo que podem estar limitando a produção de eucalipto ao longo da topossequência, identificando aqueles que são mais sensíveis às variações do relevo;
- Avaliar e identificar os atributos físicos do solo que explicam os IQS das áreas sob eucalipto comparando-os com os da área de referência (mata nativa);
- Comparar os IQS das áreas sob cultivo com eucalipto e associá-los com a limitação da sua produtividade.



## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Características e tipos de solos dos Tabuleiros Costeiros**

Os Tabuleiros Costeiros é uma unidade de paisagem que possui relevo de forma tabular, em sua maioria, e suavemente ondulada, em menor expressão, em toda sua extensão; estando localizado nas proximidades do litoral. São caracterizados como unidades geomorfológicas, abrangendo os estados do Amapá até o Rio de Janeiro, onde os estados da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará possuem cerca de 16% da área total ocupada por este ecossistema (SOUZA; SOUZA; CALDAS, 2001; PEREIRA; CESTARO, 2012).

A depender da localidade pode ocorrer uma variação climática e variação na elevação dos Tabuleiros Costeiros de 30 a 150 m acima do nível do mar (SOBRAL et al., 2002). Com ampla exploração agrícola, os Tabuleiros Costeiros vêm sendo utilizados para plantio de grãos, pastagens, monocultura, além do uso como áreas florestais.

Dentre as classes de solos que prevalecem em áreas de Tabuleiros Costeiros estão os Latossolos e Argissolos, podendo ser encontrados em menores proporções os Neossolos Quartzarênicos, Plintossolos e Espodossolos (JACOMINE, 1996; CORRÊA et al., 2008; VIEIRA et al.; 2012). Em alguns desses solos ocorrem uma diferença marcante de granulometria entre seus horizontes, podendo apresentar horizontes superficiais com maior quantidade de areia e nos subsuperficiais com maiores valores de argila (SILVA; CABEDA; LIMA, 2005).

Os solos dos Tabuleiros Costeiros podem apresentar a ocorrência do caráter coeso, que limita a profundidade efetiva para dinâmica de água, aeração do solo e crescimento radicular (REZENDE, 2000). O caráter coeso nos horizontes pode ser de origem natural, seja por obstrução de poros, cimentação de compostos orgânicos, adensamento com conseqüente mudança na estrutura, mudanças nos ciclos de secagem e umedecimento, que vão influenciar em diversos processos e reações no solo (GIAROLA; SILVA, 2002; VIEIRA et al., 2012).

Solos com essa característica de coesão, quando secos, apresentam consistência variando de muito dura a extremamente dura, com elevada resistência à penetração de faca ou martelo pedológico, sendo uma barreira física ao desenvolvimento vegetal. Horizontes coesos quanto presentes no perfil do solo, influenciam a dinâmica da água desses solos, fazendo com que neles a infiltração e condutividade hidráulica sejam reduzidas, quando comparados a

horizontes que não possuem tal caráter (LIMA NETO et al., 2009). Sua presença também afeta o crescimento das raízes das plantas, atuando como uma barreira física, limitando o desenvolvimento radicular e passagem de água (DEMATTE; MAZZA; DEMATTE, 1996).

Nos solos dos Tabuleiros Costeiros é comum ocorrer horizontes coesos com duas outras feições morfológicas: fragipã e duripã, sendo o caráter coeso o mais comum entre os três, exigindo-se desse modo a correta identificação dos mesmos (GIAROLA, 2002). Esses horizontes coesos possuem alta densidade do solo, baixa permeabilidade de água e elevada resistência do solo à penetração de raízes, quando comparados aos horizontes adjacentes (LIMA et al., 2015b). O caráter coeso foi inserido no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), nas classes dos Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos e Acinzentados. Quanto a posição no perfil, pode ocorrer na profundidade entre 30 a 70 cm ou até mais de 100 cm, em horizontes transicionais AB e/ou BA, podendo atingir o Bw ou coincidir com o Bt (EMBRAPA, 2013).

Alguns atributos físicos são utilizados para identificação dos horizontes coesos, como: densidade do solo, com valores entre 1,5 e 1,8 kg dm<sup>-3</sup>; porosidade total; distribuição de tamanho de poros; argila dispersa em água; condutividade hidráulica; curva de retenção de água e resistência do solo à penetração de raízes, que nesse tipo de horizonte excedem o valor de 3 MPa (GIAROLA; SILVA, 2002; LIMA et al., 2004; ARAÚJO FILHO et al., 2001; VIEIRA et al., 2012).

## **2.2. Atributos físicos e sua variabilidade em topossequência**

Topossequência ou catena pode ser definida como uma sequência de solos observados ao longo de uma vertente, sobre o mesmo material de origem e clima (MILNE, 1935; JENNY, 1941; BOCQUIER, 1973). As propriedades do solo tendem a ser fortemente influenciadas pelo relevo, junto aos outros fatores de formação, e têm papel fundamental para ocorrência das várias classes de solo, onde cada fator possui sua proporção de contribuição para tal fato (MEIRELES et al., 2012; CAMPOS, 2012; SCHAETZL, 2013).

A avaliação dos solos em topossequência é de elevada importância para entendimento das relações solo-água com as plantas, tendo as características topográficas forte contribuição na variação das propriedades do solo (JUHÁSZ, et al., 2006; PARK; BURT, 2002).

Relevos ondulados possibilitam o transporte de sedimentos antes no topo e encosta, para posições inferiores (baixada) no relevo, ocasionando modificações, perdas e deslocamento no solo (LIMA; SALCEDO; FRAGA, 2008). A respeito disso, Silva, Cabeda e Lima (2005), trabalhando com Argissolo Amarelo, observaram maiores valores de densidade do solo em profundidade de 40 a 80 cm, tendo menores valores de porosidade e de argila nas camadas mais superficiais, com aumento no teor de argila em camadas de 20-40 cm e 40-80 cm. Os autores também destacam que o aumento de argila em profundidade, pode levar ao aumento da coesão dos solos e adensamento das camadas mais profundas.

Outros autores comentam sobre a dinâmica de solutos em função da posição que o solo se encontra na paisagem. Neste sentido, Brehm (2010), encontrou maiores teores de areia na posição de baixada, em relação aos teores encontrados em posições superiores do relevo. Silva et al. (2018), analisando teores de argila em diferentes posições no relevo, observaram menores teores no topo ou terço superior do relevo, destacando que a forma da encosta possui influência nos atributos físicos e químicos do solo, mesmo quando se tem a mesma classe textural.

Sanchez et al. (2009) observaram que a forma do relevo tem maior influência na variabilidade dos atributos dos solos que a erosão. A respeito disso, Camargo, Marques Júnior e Pereira (2010) e Barbieri et al. (2009) constataram que há relação entre os atributos físicos e as formas e curvaturas do relevo e tipo de argila. Corroborando os estudos desses autores, Montanari et al. (2005), avaliando as formas de relevo em topossequências, verificaram que, nos locais côncavos na paisagem, se têm maiores variabilidades nos atributos do solo e planta quando comparados às formas de relevos lineares, não importando o histórico de manejo utilizado. Desse modo, as diferentes declividades do relevo têm influências no tipo de cultura a ser utilizada, pois a topografia modifica a absorção de água pelas plantas, como o armazenamento dessa água no solo, bem como o tipo de solo do local (LIMA et al., 2015a).

Segundo Pan et al. (2015) a textura do solo está relacionada com a retenção da água no solo, onde a aeração, capacidade de armazenamento de água e sua disponibilidade para as plantas têm grande importância para avaliação da condição do solo, estando esses e outros atributos ligados à capacidade produtiva e de qualidade do solo (BOGNOLA et al., 2010). Por outro lado, as propriedades físicas do solo são influenciadas pelo tipo de vegetação, quantidade e intensidade de chuva, topografia, onde incluem gradiente de inclinação e declividade (FANG et al., 2016; LIU et al., 2015; YANG; CHEN; WEI, 2015).

A variação espacial ao longo do relevo tende a modificar a intensidade do déficit hídrico sobre a vegetação, onde a encosta possui maior variabilidade da umidade ao longo de sua extensão, sobretudo em camadas mais superficiais (HAWTHORNE; MINIAT, 2018; MITCHELL; BENYON; LANE, 2012), tendo como um fator importante na contribuição dessa variação, o tempo e intensidade de chuva que ocorre na área ou região (IVANOV et al., 2010). Reichert et al. (2011) destacam que é necessário ter solos com boa retenção e disponibilidade de água, para que as plantas possam ter ótimo desenvolvimento e produção.

De acordo com Silva et al. (2018), a variação hídrica no solo nem sempre está relacionada ao relevo, visto que em um dos seus estudos foi observado que as características físico-hídricas se relacionam mais com a granulometria do solo do que a posição na paisagem. Dymond et al. (2017) por sua vez observaram que a topografia não se relacionava de forma significativa com a água disponível para as plantas, avaliando uma posição de baixo relevo, sendo obtido uma relação da água disponível com a textura, cobertura do solo e o tempo.

A modificação dos atributos físicos no perfil do solo afeta a dinâmica da água, distribuição e estabilidade do solo ao longo do tempo, onde atributos como densidade do solo, sua resistência à penetração de raízes, entre outros, tem relação direta com a produção (BRAIDA, 2011; CAMPOS et al., 2015). A compressão que ocorre no solo em áreas florestais devido a maquinários, pisoteio de animais, crescimento de raízes, expansão e contração das massas de solo, pode causar compactação em camadas mais profundas (REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007), onde vários atributos têm sido usados para avaliar o impacto do cultivo nos atributos físicos do solo.

Dentre os atributos utilizados para tal diagnóstico, a resistência do solo à penetração de raízes (RP) tem recebido maior destaque nos últimos anos. Neste sentido, Argenton et al. (2005), estudando a RP, observaram valores acima de 2,0 MPa em camadas mais profundas do solo, com indicativo de compactação, sendo um fator limitante para crescimento de raízes e desenvolvimento de culturas como a do eucalipto, que apresenta maior desenvolvimento do sistema radicular em profundidade, podendo chegar cerca de três metros. Martins et al. (2002) também constataram maiores valores de RP em área plantada com eucalipto e mata nativa, na profundidade de 20-40 cm, com valores entre 1,6 e 6,7 MPa.

O conhecimento da variação dos atributos do solo em relação a posição na paisagem ao longo do tempo é de extrema importância para o manejo do solo, podendo-se entender e identificar locais com diferentes desempenhos agrícolas, buscando melhores formas de

correção e culturas a serem utilizadas (SOUZA; MARQUES JÚNIOR; PEREIRA, 2004; MARASCA et al., 2017), e, conforme abordado em Bravo e Andreu (2011), os atributos físicos do solo estão em mudanças contínuas, ocorrendo variações no perfil do solo tanto em posição horizontal como vertical.

Mudanças nas propriedades físicas afetam o desenvolvimento das plantas, e nos plantios florestais a produtividade se relaciona com o relevo, pois influencia na formação do solo e suas características, afetando a disponibilidade e quantidade de recursos para o desenvolvimento das plantas (ARATANI et al., 2009; BALIEIRO et al., 2008).

Gatto et al. (2003) ao avaliarem o preparo do solo com textura argilosa observaram que a área com preparo mais intenso do solo apresentou maior desenvolvimento das árvores. Assim, o mesmo tipo de solo pode apresentar diferenças significativas das suas propriedades dentro de cada posição topográfica, sabendo-se que em uma topossequência ocorre uma heterogeneidade dos atributos do solo (MARTINI et al., 2015).

O conhecimento e determinação dos atributos do solo auxiliam na maior compreensão para escolhas de manejos adequados e conseqüente melhoria na produtividade (BAPTISTA; LEVIEN, 2010; ORTIZ et al., 2006). De acordo com Freitas et al. (2015) a redução da cobertura vegetal tem provocado a degradação dos recursos naturais e redução da qualidade do solo.

### **2.3. Eucaliptocultura**

O primeiro estudo da cultura de eucalipto para fins econômicos no Brasil data de 1904, na região Sudeste, sendo utilizado como lenha (SANTAROSA et al., 2014). O eucalipto obteve fácil adaptação devido ao clima favorável ao seu desenvolvimento. Por meio do melhoramento genético, investimentos no setor, aliado a melhor utilização de técnicas silviculturais, foi possível ter maior desempenho em características desejáveis para maior e melhor produção dessa cultura, como: aumento da produção de madeira; maior resistência a fatores adversos; maior taxa de crescimento em menor tempo, entre outros, buscando-se assim a otimização da produção e aumento das áreas para seu plantio (IBÁ, 2016).

Sendo o Brasil um dos países com destaque na produção comercial de eucalipto, com investimentos que se iniciaram na década de sessenta, tendo incentivos fiscais por parte do governo, foi possível obter maior competitividade no setor florestal, tornando-se assim um dos países que mais investiu na eucaliptocultura (DRUMOND et al., 2016; IBÁ, 2016).

Produtos derivados de madeira vêm apresentando maior demanda devido a necessidade de melhor aproveitamento desses recursos e do seu uso racional para que seja mantida as funções ecológicas do sistema. Assim, o eucalipto é a espécie com maior destaque em plantações florestais para uso na indústria brasileira (REICHERT et al., 2017; SILVA et al., 2013; IBÁ, 2015).

Os produtos derivados de florestas com eucalipto têm grande variabilidade, desde lenha, carvão, madeira, celulose, papel, cremes, entre outros, que podem ser utilizados pela indústria. Destes produtos, mais de 60% do material é destinado a celulose e papel (IBÁ, 2016), onde o eucalipto é amplamente utilizado por ter espécies que possuem grande adaptabilidade, rápido crescimento com menor tempo e potencial para vários fins (SANTAROSA et al., 2014).

O avanço tecnológico aliado ao melhoramento genético, possibilitou uma maior resistência ao ataque de pragas, resultando em rápido crescimento, melhoria no aporte de madeira e melhor uniformidade no crescimento de espécies florestais como o eucalipto; com ampla contribuição ambiental, social e econômica para as regiões de implantação da cultura (GONÇALVES et al., 2008; IAN, 2001; LACLAU et al., 2010).

O eucalipto em muitas regiões vem sendo utilizado como forma de redução da erosão do solo, por conseguir minimizar a energia de escoamento a longo prazo (KORNER, 2018; MCCABE et al., 2017; VALENTE et al., 2020). Vale destacar que o plantio do eucalipto vem sendo realizado em vários tipos de solos, mesmo em solos arenosos que possuem menor capacidade de retenção de água, fertilidade e maior susceptibilidade a erosão (REICHERT et al., 2016).

Vários estudos relatam fatores que influenciam no crescimento e no desenvolvimento do eucalipto, dentre eles estão: a transpiração; a temperatura da região; características físicas, químicas, biológicas e topográficas do solo; competição entre plantas e ataque de pragas e doenças (FORRESTER et al., 2010; LIMA; GARCIA, 2011; ENCINAS; SILVA; PINTO, 2005). Corroborando esses autores Silva et al. (2002), identificaram que solos compactados tendem a ter influência na produção de matéria seca do eucalipto, também afetando o movimento de difusão dos elementos e causando limitação no crescimento das raízes. Avaliando a biomassa de eucaliptos no Brasil, Santana et al. (2008) observaram que a biomassa tem relação positiva com a disponibilidade de água no solo, com a temperatura e com a idade do eucalipto.

Diante do exposto, e considerando a atual situação, onde há a necessidade de aumentar a produção de culturas como a do eucalipto, tem-se observado um interesse crescente em pesquisas que visam a qualidade de solos e que comprovem a sua real condição para produção agrícola, com menor impacto ambiental (SILVA et al., 2014; ALENCAR et al., 2015).

#### **2.4. Atributos físicos x Eucalipto**

Os atributos físicos do solo, podem ser grandes limitadores de crescimento de espécies florestais como o eucalipto, principalmente em áreas com utilização de mecanização. Atividades como: colheita; preparo do solo; plantio; entre outras que podem ser mecanizadas, tendem a alterar a estrutura do solo, fazendo com que alguns atributos físicos sejam limitadores do desenvolvimento e crescimento das espécies florestais (DEDECEK; GAVA, 2005).

Um dos atributos físicos com grande destaque é a resistência do solo à penetração de raízes, Misra e Gibbons (1996) observaram que as raízes primárias e laterais de eucalipto apresentaram uma redução de 71 e 31%, respectivamente, em seus comprimentos, devido ao aumento na resistência do solo à penetração de 0,4 a 4,2 MPa. A densidade do solo também pode ser um limitador do crescimento radicular, ao passar de 0,7 a 0,9 Mg m<sup>-3</sup>, fez com que os pesos das raízes de *Eucalyptus regnans* apresentassem reduções de 18% (RAB, 1996). Tais observações reforçam a importância da avaliação desses atributos para a cultura do eucalipto.

Conforme já relatado por Gonçalves, Demattê e Couto (1990) e Rigatto, Dedeczek e Matos (2004) a capacidade produtiva dos sítios florestais estão relacionados com os atributos físicos do solo, que podem afetar de forma significativa a qualidade da madeira produzida. Corroborando esses autores, Lima et al. (2010) observaram que a resistência do solo à penetração de raízes possui relação negativa com a produção de madeira. E que menores valores de densidade do solo e resistência do solo à penetração de raízes, associado a maiores valores de porosidade total, macroporosidade e disponibilidade de água, tendem a beneficiar as taxas de crescimento mais elevadas em sítios florestais (THEODOROU; CAMERON; BOWEN, 1991; BRADY; WEIL, 1996).

Solos naturalmente adensados ou compactados, tendem a ter menor condutividade hidráulica, além de dificultar o crescimento radicular dos eucaliptos, o que afeta de forma marcante a qualidade dos sítios florestais, podendo apresentar redução na disponibilidade hídrica (PEREIRA; KER; ALMEIDA, 2012).

Áreas plantadas com eucaliptos com sistema radicular bem desenvolvido, tendem a apresentar boa estruturação dos solos, Suzuki et al. (2014) avaliando a estrutura e armazenamento de água em argissolo, observaram que a área cultivada com eucalipto com 20 anos apresentou o maior diâmetro médio ponderado entre todas as áreas avaliadas. Rosa et al. (2018) estudando diversos espaçamentos em eucaliptos, observaram que na camada de 0,20-0,40 m, ocorreu uma redução da macroporosidade e consequente aumento na microporosidade, eles ressaltam que o aumento da quantidade de microporos até certos limites é benéfico, visto que são poros responsáveis pela retenção de água no solo.

Conforme relatado, os atributos físicos possuem forte influência no desenvolvimento e crescimento do eucalipto, podendo ser limitantes ou contribuir para melhor produção florestal, como observado por Martins et al. (2002) a densidade do solo, resistência à penetração de raízes, permeabilidade do solo, estabilidade de agregados, entre outros, podem ser utilizados para avaliar e monitorar a qualidade do solo e consequentemente a prevenção de perdas de produtividade.

## **2.5. Índice de qualidade do solo (IQS)**

O índice de qualidade do solo (IQS) deve ser representado por aqueles atributos que melhor apresentem o estado em que o solo se encontra; não necessariamente deve ser um conjunto de informações, podendo ser expresso por um dado individual (SICHE et al., 2007). A maior quantidade de atributos, sejam eles físicos, químicos ou biológicos, tendem a tornar o índice mais confiável; tendo a capacidade de refletir a condição atual do solo, ranqueando-os de acordo com a avaliação dos seus atributos, podendo-se prever o impacto e qualidade das propriedades estudadas (CONCEIÇÃO et al., 2005; BARRIOS; COUTINHO; MEDEIROS, 2012).

A qualidade do solo é uma medida muito complexa, seja em um ambiente agrícola, florestal ou natural, tendo que ser mensurada por meio de indicadores apropriados. A qualidade do solo deve levar em consideração valores considerados de referências, ou seja, ideais para cada condição, de preferência com o mínimo de interferência antrópica (ISLAM; WEIL, 2000; ARAÚJO et al., 2012; SILVA et al., 2015).

O índice deve ser eficaz em várias condições de campo, tendo a capacidade de avaliar a “sensibilidade” de variação dos atributos, seja essa variação por manejo diferentes, pelo clima



e tempo ou outras condições, além de ser de fácil acesso por todos os usuários (GLOVER; REGANOLD; ANDREWS, 2000; DORAN; PARKIN, 1994). Nas pesquisas atuais é levantado a importância de se identificar aqueles atributos que melhor representem a condição do solo, sendo necessário a compreensão da relação expressa em forma de índice (ARAÚJO; GOEDERT; LACERDA, 2007; MELO FILHO et al., 2009; FREITAS et al., 2015).

Os atributos que melhor refletem as alterações ambientais são aqueles mais eficazes para serem usados como indicadores de qualidade (PEZARICO et al., 2013). Nascimento et al. (2014) destacam que esses atributos podem ser determinados e monitorados para maior e melhor compreensão do sistema solo. Tais atributos devem ser amplamente utilizados, seja por cientistas ou agricultores, de forma que possam ser medidos e reproduzidos facilmente, em diferentes situações ambientais e agrícolas (GRANATSTEIN; BEZDICEK, 1992; DORAN; PARKIN, 1994; SHERWOOD; UPHOFF, 2000; GREGORICH et al., 1994; SEYBOLD et al., 1998).

Uma importante definição de qualidade do solo é citada em Doran e Parkin (1994), como sendo a capacidade do solo seja ele natural ou manejado em manter características de um ambiente sustentável. Desse modo, justificasse a grande importância de estudos sobre a qualidade do solo em diferentes manejos e sistemas, aliados ao uso de métodos cada vez mais eficientes para a melhor interpretação dos resultados obtidos (MELLONI et al., 2008; FREITAS et al., 2015).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Caracterização da área experimental

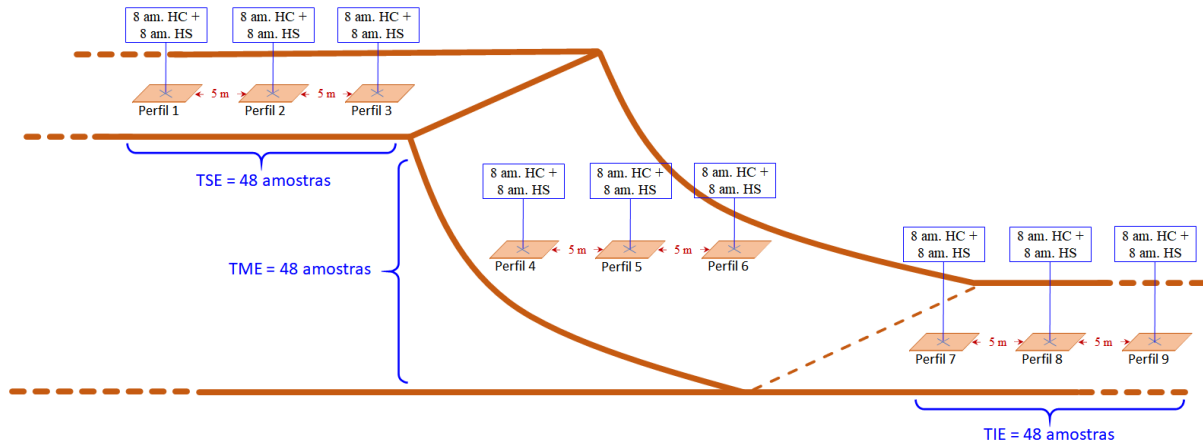
A pesquisa foi realizada na região metropolitana de Maceió, estado de Alagoas em povoamentos clonais de *Eucalyptus* sp., de propriedade da empresa Caetex Florestal (9° 26' 34.0"S, 35° 44' 01.2"W), tendo uma área com extensão de 9.345 hectares. A área está situada na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas, em solos das classes Argissolos e Latossolos (EMBRAPA, 2013), com relevo variando de plano à fortemente ondulado. O clima da região, segundo a classificação climática de Köppen, é tropical litorâneo úmido (As), com temperatura média anual de 25,6°C e precipitação anual de 1.713 mm (ALVARES et al., 2013).

A área experimental foi composta por três topossequências: uma, caracterizando o tempo zero ano de cultivo (T0), quando é retirada a cultura da cana-de-açúcar e realizado o plantio de eucalipto; outra, que representou o tempo de seis anos sob cultivo com eucalipto (T6), idade definida pela empresa Caetex Florestal para o corte da cultura; onde T0 e T6 estavam sob povoamento do híbrido *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla*; e a última, foi selecionada e definida como topossequência de referência (TR), onde os solos estão sob vegetação nativa de Mata Atlântica conservada. Em cada topossequência foram definidas três posições na paisagem, sendo: topo ou terço superior da encosta (TSE); terço médio da encosta (TME); e baixada ou terço inferior da encosta (TIE).

O manejo realizado nas áreas sob plantio de eucalipto difere em função da posição do solo na paisagem. Assim, nas áreas com zero (T0) e seis anos (T6) de cultivo o preparo do solo na posição do TSE é a subsolagem, realizada a um metro de profundidade. Por outro lado, no TME e TIE é realizada a sulcagem, que ocorre de 40 a 50 cm. Além do preparo do solo são realizadas três adubações, uma de base e duas de cobertura.

#### 3.2. Descrição dos perfis nas topossequências

Para cada topossequências (T0, T6 e TR) foram abertos três trincheiras em cada posição na paisagem (TSE, TME e TIE), totalizando nove trincheiras por topossequência (3 posições × 3 trincheiras). Em cada posição na paisagem as três trincheiras equidistaram em cinco metros entre si (Figura 1), sendo selecionada uma delas para a realização da descrição morfológica dos solos (Anexos de **1a** a **3c**), sendo os solos classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (EMBRAPA, 2018).



**Figura 1** – Desenho esquemático meramente ilustrativo da distribuição das trincheiras (perfis) e processo de amostragem ao longo das topossequências

Desse modo, na área da topossequência com zero ano de cultivo (T0) os solos foram classificados como: Latossolo Amarelo Distrocoeso petroplúntico argissólico, no TSE (Anexo B, Figura 13); Argissolo Amarelo Distrocoeso latossólico, no TME (Anexo C, Figura 14); e Argissolo Amarelo Distrocoeso latossólico, no TIE (Anexo D, Figura 15).

Para a área da topossequência com seis anos de cultivo (T6) foram definidas as seguintes classes de solos: Latossolo Amarelo Distrocoeso típico, no TSE (Anexo E, Figura 16); Argissolo Vermelho Distrófico típico, no TME (Anexo F, Figura 17); e Argissolo Vermelho-Amarelo Distrocoeso, para o TIE (Anexo G, Figura 18).

Finalmente, os solos da topossequência de referência (TR), sob mata nativa, foram classificados como: Argissolo Vermelho-Amarelo Distrocoeso petroplúntico, no TSE (Anexo H, Figura 19); Latossolo Amarelo Distrocoeso típico, no TME (Anexo I, Figura 20); e Latossolo Amarelo Distrocoeso típico, para a posição do TIE (Anexo J, Figura 21).

### 3.3. Coleta das amostras e caracterização física dos solos

Em cada trincheira aberta ao longo das topossequências foram coletadas amostras em estrutura não deformada (anel volumétrico, volume  $\cong 100 \text{ cm}^3$ ) com auxílio de um amostrador tipo Uhland, em dois horizontes, sendo um com caráter coeso, aqui referenciado como horizonte coeso (HC); e o outro selecionado abaixo do HC, denominado de horizonte selecionado (HS). A classificação para os HC e HS identificados nas posições de paisagem para cada topossequência está descrita na Tabela 1.

**Tabela 1** – Classificação dos horizontes estudados (coesos-HC e selecionados-HS) nas topossequências sob tempo zero ano de cultivo (T0), tempo seis anos de cultivo (T6) e área sob mata nativa, assumida como referência (TR)

Topossequência	Horizonte / Posição					
	Coeso (HC)			Selecionado (HS)		
	TSE	TME	TIE	TSE	TME	TIE
<b>T0</b>	BA	BA	BA	BC	Bt2	Bt2
<b>T6</b>	Bw1	AB	AB	Bw2	Bt2	Bt2
<b>TR</b>	Bt1	Bw1	Bw1	BCc	Bw2	Bw2

**BA** - Horizonte transicional entre A e B, mas com características mais parecidas com B do que A; **Bw** - horizonte mineral subsuperficial cujos constituintes evidenciam avançado estágio de intemperização explícito; **AB** - horizonte transicional entre A e B, mas com características mais parecidas com A do que B; **Bt** - um horizonte mineral subsuperficial com textura francoarenosa ou mais fina, em que houve incremento de argila; **BC** - horizonte transicional entre os horizontes B e C, com características bem mais próximas de B do que C.

Desta forma, em cada topossequência a amostragem foi realizada ao longo de nove trincheiras abertas (três para cada posição de paisagem), distribuída da seguinte forma: 16 amostras por trincheira, sendo 8 amostras por horizonte, tendo-se HC e HS, resultando em 48 amostras por posição de paisagem e, totalizando 144 amostras por topossequência (48 amostras × 3 posições), conforme ilustrado na Figura 1. Assim, como a área experimental foi composta por três topossequências (T0, T6 e TR), o total de amostras coletas para o estudo foi 432 amostras.

Paralelamente, nos mesmos locais utilizados para a amostragem em anéis volumétricos, também foram coletadas amostras em forma de torrões, que foram reservados para obtenção dos agregados. Assim, os torrões foram separados, manualmente, na sua superfície de fraqueza, sendo uma parte colocados em peneira com 7,1 mm de malha, acoplada a uma outra com 4,76 mm, obtendo-se agregados com diâmetro médio de 5,93 mm, sendo estes reservados para os ensaios de estabilidade de agregados.

A outra parte dos agregados foram passados em peneiras com 25 mm de malha, sendo retidos em peneira com 20 mm de malha, adquirindo-se agregados com diâmetro médio de 22,5 mm. Estes agregados foram reservados e destinados aos ensaios de resistência tênsil.

Para os ensaios que não exigem a manutenção da estrutura dos solos, as coletas das amostras foram realizadas na forma desestruturada, sendo destorroadas, secas ao ar e passadas em peneira com malhas de 2,0 mm, obtendo-se assim amostras em terra fina seca ao ar – TFSA (FONTANA et al., 2017). Parte dessas amostras foram destinadas aos ensaios de caracterização dos solos estudados.

### 3.4. Análises físicas de caracterização dos solos estudados

#### 3.4.1. Análise granulométrica

A distribuição das frações granulométricas (areia, silte, argila total; além de argila dispersa em água) foram determinadas nas amostras em TFSA, utilizando o método do densímetro com modificações (GEE; OR, 2002; ALMEIDA, 2008). Assim, foram pesadas 50 g de TFSA, transferidas para garrafa plástica, adicionando-se 25 mL do dispersante Calgon (hexametáfosfato de sódio + carbonato de sódio), completado-se o volume com água até obter o peso de equilíbrio, estabelecido para todas as amostras. Na sequência, os conjuntos de garrafas foram colocados no agitador tipo Wagner (MA 160/24), sendo agitadas a 50 rpm por 16 h.

Posteriormente, as amostras foram transferidas para provetas de 1 L, completando-se o volume com água para 940 mL, ficando em repouso por 24h, e assim efetuadas as leituras da suspensão de argila totalmente dispersa, utilizando-se um densímetro (modelo nº 152H). A areia total (AT) foi determinada por peso após peneiramento via úmida (peneira com malha de 53 µm) e secagem em estufa (105°C). Em seguida, a AT foi separada via seco, utilizando a peneira com malha de 212 µm como limite entre a areia fina e areia grossa. O silte foi calculado por diferença, usando a seguinte expressão:  $\text{Silte } (\%) = 100 - (\% \text{ areia total} + \% \text{ argila total})$ .

O grau de flocculação (GF), e conseqüentemente o de dispersão (GD), foi calculado com os dados da argila total e argila dispersa em água (ADA), que é obtida com os mesmos procedimentos para a determinação da argila total, exceto pela adição do Calgon. Os resultados da distribuição das frações granulométricas, e atributos calculados a partir desta, bem como o pH dos solos estudados ao longo das três topossequências, estão apresentados nas Tabelas 2, 3 e 4.

**Tabela 2** – Análise granulométrica e pH dos perfis da topossequência da área com eucalipto com menos de um ano (T0).

Horizonte	Camada (cm)	Distribuição das frações granulométrica dos solos								pH (H <sub>2</sub> O)	Classe textural	
		AG	AF	Areia Total	Argila Total	Silte	ADA	GF	GD			Silt/Arg
		g kg <sup>-1</sup>					%					
<b>Latossolo Amarelo Distrocoeso petroplúntico argissólico (T0-TSE)</b>												
Ap	0-10	433	224	657	336	7	309	8	92	0,021	4,98	Franco-argiloarenosa
AB	10-32	394	196	590	398	12	42	89	11	0,030	4,64	Argilo-arenosa
<b>BA</b> <sup>(HC)</sup>	32-55	357	181	538	453	9	0	100	0	0,020	4,54	Argilo-arenosa
Bwc	55-75	345	174	519	469	12	7	98	2	0,026	4,54	Argilo-arenosa
Bw	75-120	356	166	522	467	11	22	95	5	0,024	4,45	Argilo-arenosa
<b>BC</b> <sup>(HS)</sup>	120-170+	412	177	589	391	20	0	100	0	0,051	4,61	Argilo-arenosa
<b>Argissolo Amarelo Distrocoeso latossólico (T0-TME)</b>												
Ap	0-14	407	263	670	310	20	43	87	13	0,051	4,65	Franco-argiloarenosa
AB	14-32	411	222	633	313	54	258	18	82	0,172	4,97	Franco-argiloarenosa
<b>BA</b> <sup>(HC)</sup>	32-60	331	211	542	438	20	0	100	0	0,046	4,62	Argilo-arenosa
Bt1	60-130	364	179	543	423	34	0	100	0	0,080	4,60	Argilo-arenosa
<b>Bt2</b> <sup>(HS)</sup>	130-190+	330	180	510	462	28	7	98	2	0,061	4,49	Argilo-arenosa
<b>Argissolo Amarelo Distrocoeso latossólico (T0-TIE)</b>												
Ap	0-14	444	236	680	288	32	212	27	73	0,096	4,97	Franco-argiloarenosa
AB	14-32	365	240	605	373	22	14	96	4	0,059	4,76	Argilo-arenosa
<b>BA</b> <sup>(HC)</sup>	32-60	323	234	557	419	24	0	100	0	0,057	4,77	Argilo-arenosa
Bt1	60-120	346	208	554	420	26	0	100	0	0,062	4,72	Argilo-arenosa
<b>Bt2</b> <sup>(HS)</sup>	120-190+	346	218	564	413	23	0	100	0	0,056	4,75	Argilo-arenosa

T0- área cultivada com eucalipto com menos de um ano, TSE – topo, TME – terço médio da encosta, TIE – terço inferior da encosta, AG- areia grossa, AF- areia fina, ADA – argila dispersa em água, GF – grau de flocculação, GD – grau de dispersão, Silt/Arg – relação silte-argila, HC – horizontes coesos e HS- horizontes selecionados.

**Tabela 3** – Análise granulométrica e pH dos perfis da topossequência da área com eucalipto com 6 anos (T6)

Horizonte	Camada (cm)	Distribuição das frações granulométrica dos solos									pH (H <sub>2</sub> O)	Classe textural
		AG	AF	Areia Total	Argila Total	Silte	ADA	GF	GD	Silt/Arg		
		g kg <sup>-1</sup>					%					
<b>Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (T6-TSE)</b>												
Ap	0-13	278	175	453	480	67	440	11	89	0,102	5,15	Argilo-arenosa
AB	13-26	253	163	416	540	44	0	100	0	0,081	4,66	Argila
BA	26-44	213	147	360	622	18	47	92	8	0,029	4,59	Muito argilosa
<b>Bw1</b> <sup>(HC)</sup>	44-100	171	129	300	660	40	3	95,5	0,5	0,061	4,53	Muito argilosa
<b>Bw2</b> <sup>(HS)</sup>	100-160+	186	129	315	661	24	30	95	5	0,036	4,90	Muito argilosa
<b>Argissolo Vermelho Distrófico típico (T6-TME)</b>												
Ap	0-17	390	157	547	373	80	336	10	90	0,215	4,69	Argilo-arenosa
<b>AB</b> <sup>(HC)</sup>	17-30	361	137	498	429	73	181	58	42	0,170	4,48	Argilo-arenosa
BA	30-60	258	104	362	580	58	8	99	1	0,100	4,67	Argila
Bt1	60-100	166	67	233	659	108	24	96	4	0,164	4,95	Muito argilosa
<b>Bt2</b> <sup>(HS)</sup>	100-180+	170	67	237	551	212	24	96	4	0,385	5,00	Argila
<b>Argissolo Vermelho-Amarelo Distrocoeso latossólico (T6-TIE)</b>												
Ap	0-16	431	201	632	302	66	258	14	86	0,219	5,00	Franco-argiloarenosa
<b>AB</b> <sup>(HC)</sup>	16-35	375	166	541	404	55	378	6	94	0,136	5,48	Argilo-arenosa
BA	35-65	318	137	455	508	37	0	100	0	0,073	4,82	Argilo-arenosa
Bt1	65-120	214	91	305	609	86	24	96	4	0,141	4,92	Muito argilosa
<b>Bt2</b> <sup>(HS)</sup>	120-180+	242	102	344	530	126	23	96	4	0,238	4,85	Argila

T6- área cultivada com eucalipto de seis anos, TSE – topo, TME – terço médio da encosta, TIE – terço inferior da encosta, AG- areia grossa, AF- areia fina, ADA – argila dispersa em água, GF – grau de flocculação, GD – grau de dispersão, Silt/Arg – relação silte-argila, HC – horizontes coesos e HS- horizontes selecionados.

**Tabela 4** – Análise granulométrica e pH dos perfis da topossequência da área de mata nativa (TR)

Horizonte	Camada (cm)	Distribuição das frações granulométrica dos solos									pH (H <sub>2</sub> O)	Classe textural
		AG	AF	Areia Total	Argila Total	Silte	ADA	GF	GD	Silt/Arg		
		g kg <sup>-1</sup>					%					
<b>Argissolo Vermelho-Amarelo Distrocoeso petroplúntico (TR-TSE)</b>												
A	0-15	282	206	488	414	98	141	68	32	0,150	4,33	Argilo-arenosa
AB	15-33	234	175	409	560	31	22	96	4	0,055	4,43	Argila
<b>Bt1</b> <sup>(HC)</sup>	33-70	184	153	337	643	20	0	100	0	0,031	4,64	Muito argilosa
Bt2	70-135	190	139	329	656	15	0	100	0	0,023	4,75	Muito argilosa
<b>BCc</b> <sup>(HS)</sup>	135-180+	220	137	357	615	28	0	100	0	0,046	5,18	Muito argilosa
<b>Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (TR-TME)</b>												
A	0-15	410	221	631	344	25	301	13	88	0,073	4,09	Franco-argiloarenosa
AB	15-33	354	202	556	425	19	51	88	12	0,045	4,43	Argila-arenosa
<b>Bw1</b> <sup>(HC)</sup>	33-65	317	181	498	476	26	22	95	5	0,055	4,55	Argilo-arenosa
<b>Bw2</b> <sup>(HS)</sup>	65-130	349	165	514	448	38	21	95	5	0,085	4,67	Argilo-arenosa
BC	130-200+	302	147	449	529	22	21	96	4	0,042	4,61	Argilo-arenosa
<b>Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (TR-TIE)</b>												
A	0-18	408	214	622	336	42	22	93	7	0,125	3,95	Franco-argiloarenosa
AB	18-40	390	182	572	383	45	8	98	2	0,117	4,41	Argilo-arenosa
<b>Bw1</b> <sup>(HC)</sup>	40-80	357	172	529	450	21	0	100	0	0,048	4,76	Argilo-arenosa
<b>Bw2</b> <sup>(HS)</sup>	80-130	346	150	496	489	15	7	99	1	0,031	4,69	Argilo-arenosa
BC	130-200+	280	125	405	541	54	0	100	0	0,100	4,78	Argila

TR- área de mata nativa, TSE – topo, TME – terço médio da encosta, TIE – terço inferior da encosta, AG- areia grossa, AF- areia fina, ADA – argila dispersa em água, GF – grau de floculação, GD – grau de dispersão, Silt/Arg – relação silte-argila, HC – horizontes coesos e HS- horizontes selecionados.



### 3.4.2. Distribuição de tamanho de poros via curva de retenção de água no solo

As amostras coletadas em anéis foram também utilizadas para determinação da porosidade total (PT) e a sua distribuição por tamanho de poros (DTP). A PT foi determinada utilizando-se o método de saturação, cujos procedimentos estão disponíveis em Almeida et al. (2017a), onde o solo contido em anel volumétrico é saturado, pesado e seco em estufa (105 °C), até atingir o peso constante. Entretanto, antes da secagem em estufa, os conjuntos anel-amostra foram usados para os ensaios de DTP.

Nestes ensaios, os poros foram agrupados por classes de diâmetro equivalente dos poros ( $\varnothing_{eq.poros}$ ) a partir do uso da equação de Young-Laplace, [equação (1)], que pode ser reescrita de modo a calcular o  $\varnothing_{eq.poros}$  em função da energia potencial da água no solo [ $\varnothing_{eq.poros} (\Psi)$ ], como expresso pela equação (2).

$$\Psi = \frac{2\sigma \cos\alpha}{D_a g r_p} \quad (1)$$

$$\varnothing_{eq.poros} = \frac{4\sigma \cos\alpha}{D_a g \Psi} \quad (2)$$

sendo:  $\Psi$  – o potencial total da água no solo, que representa a energia com que a água está retida no poro do solo;  $\sigma$  - tensão superficial da água;  $\alpha$  – o ângulo de contato entre o menisco de água e a parede do poro;  $D_a$  - densidade da água;  $g$  - aceleração da gravidade;  $r_p$  - raio do poro.

Assim, foram obtidas quatro classes de tamanho de poros: 1)  $\varnothing_{eq.poros} \geq 300\mu\text{m}$ ; 2)  $50 < \varnothing_{eq.poros} (\mu\text{m}) < 300$ , que na classificação de Prevedello e Armindo (2015) são definidos como macroporos (Ma) e mesoporos (Me), respectivamente; 3)  $30 < \varnothing_{eq.poros} (\mu\text{m}) \leq 50$ , poros que nesse estudo foram definidos como microporos estruturais e biológicos (Mi); e 4)  $\varnothing_{eq.poros} \leq 30\mu\text{m}$ , aqui denominados de microporos texturais (MiT), que após a drenagem natural, retém água na capacidade de campo.

A energia utilizada para equilibrar a água nos poros das distintas classes foi aplicada via mesa de tensão, utilizando-se os seguintes  $\Psi$ : 1kPa; 6kPa; 10kPa. Após cada equilíbrio, as amostras foram pesadas, secas em estufa (105°C, 24 h), pesadas novamente, obtendo-se os dados para o cálculo das umidades volumétricas ( $\theta$ ) em função do  $\Psi$  (ROMANO; HOPMANS; DANE, 2002). Assim, a relação entre o conteúdo de água no solo e a respectiva energia com a qual ela estava retida, gerou pares de coordenadas  $\theta$  e  $\Psi$ , que permitiu a elaboração das curvas características de retenção de água do solo (CCRAS). O número de coordenadas para

construção de uma CCRAS dependerá do objetivo da pesquisa.

Neste caso, optou-se por curvas na faixa mais estreita (mais úmida), cujo comportamento reflete a distribuição por tamanho de poros que retém água até 10kPa (REINERT; REICHERT, 2006; CÁSSARO et al., 2008; DALMAGO et al., 2009), onde os poros dependem da estrutura do solo (fatores geométricos), sendo mais susceptíveis às alterações devido ao manejo do solo (REICHARDT, 1985), sendo mais adequada para esta pesquisa.

### 3.4.3. Densidade do solo

Finalizados os ensaios da DTP/CCRAS, foi possível calcular a densidade do solo, que foi determinada pelo método do anel volumétrico (ALMEIDA et al., 2017b), que se baseia na relação entre a massa de sólidos contida no anel volumétrico e o volume do solo, representado pelo volume do anel ( $\pi r^2 h$ ), conforme a equação (3).

$$D_s = \frac{\text{Massa de sólidos}}{\text{Volume do solo}} \quad (3)$$

onde:  $D_s$  - é a densidade do solo, expressa em  $\text{g cm}^{-3}$ .

### 3.4.4. Estabilidade de agregados

Os ensaios para estabilidade de agregados foram realizados por peneiramento via úmida em aparelho de oscilação vertical do tipo Yooder, proposto por Kemper e Rosenau (1986), com modificações sugeridas em Nimmo e Perkins (2002). Para o ensaio, foram utilizadas quatro subamostras de agregados (25 g) com diâmetro médio de 5,93 mm, sendo uma destinada à determinação do fator de correção de umidade (fator “f”), corrigindo o peso dos agregados secos ao ar para secos em estufa a 105°C. As três subamostras foram saturadas por capilaridade em álcool durante 10 min, para retirada do ar dentro dos agregados. Após saturação, foram levadas para o topo do conjunto de peneiras (2,00 - 1,00 - 0,5 - 0,25 - 0,125 mm) contidas nos recipientes do equipamento, sendo submetidas ao peneiramento via úmida por 15 min.

Posteriormente ao ensaio, foi quantificado a massa dos agregados retidos em cada peneira, além daqueles que passaram através da última ( $< 0,125$  mm). As classes do diâmetro dos agregados foram calculadas conforme Nimmo e Perkins (2002), em que o diâmetro médio ponderado (DMP), o diâmetro médio geométrico (DMG) e a porcentagem de agregados maiores que 2 mm (AGRI), foram obtidos por meio das equações (4), (5) e (6), respectivamente.

$$DMP = \sum_{i=1}^n (X_i W_i) \quad (4)$$

$$DMG = \text{EXP} \frac{\sum_{i=1}^N W_i \cdot \log X_i}{\sum_{i=1}^N w_i} \quad (5)$$

$$AGRI = w_i > 2 * 100 \quad (6)$$

sendo:  $X_i$  – o diâmetro médio das classes (mm);  $W_i$  – a proporção de cada classe em relação ao total;  $w_i > 2$  – a proporção de agregados maior que 2 mm.

Os cálculos para obtenção dos valores do Índice de Estabilidade de Agregados (IEA) foi realizado conforme equação (7).

$$IEA = \left[ \frac{\text{Peso da amostra seca} - w_{p\ 0,125}}{\text{Peso da amostra seca}} \right] \times 100 \quad (7)$$

em que: IEA - é expresso em %;  $w_{p\ 0,125}$  - peso dos agregados da classe < 0,125 mm.

### 3.4.5. Resistência tênsil de agregados e resistência do solo à penetração de raízes

Para os ensaios de resistência tênsil dos agregados (RT), foram utilizadas amostras de agregados com diâmetro médio de 22,5 mm, sendo suas umidades equilibradas à temperatura ambiente (28°C). A força para ruptura dos agregados foi obtida via penetrômetro de bancada, aplicando uma velocidade constante de 0,03 mm s<sup>-1</sup>, onde os dados são registrados por sistema eletrônico de aquisição. Os agregados após submetidos aos ensaios de RT foram levados para estufa (105°C, 24h) para determinação da umidade gravimétrica do solo (TOPP; FERRÉ, 2002). A RT foi obtida por meio da equação (8), conforme Dexter e Kroesbergen (1985).

$$RT = 0,576 \left( \frac{F_{\text{máx}}}{D_{\text{ef}}^2} \right) \quad (8)$$

em que: 0,576 é o valor da constante de proporcionalidade da relação entre a força compressiva aplicada e a resistência tênsil gerada no interior do agregado;  $F_{\text{máx}}$  - é a força máxima aplicada para ruptura do agregado (N), e  $D_{\text{ef}}$  - é o diâmetro efetivo (m). O  $D_{\text{ef}}$  foi calculado conforme sugerido em Watts e Dexter (1998), usando a equação (9).

$$D_{\text{ef}} = D_m \left( \frac{M}{M_0} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (9)$$

sendo:  $D_m$  - o diâmetro médio dos agregados (m), obtido pela média aritmética das malhas das peneiras usadas na sua separação;  $M$  - é a massa do agregado individual (g); e  $M_0$  - é a massa média dos agregados (g).

Os ensaios de simulação da resistência do solo à penetração de raízes (RP) foram

realizados nos conjuntos de amostras (anel-amostra) que foram equilibradas na tensão de 10 kPa, via mesa de tensão. Os ensaios foram executados por meio de um penetrômetro eletrônico de bancada, que aplica uma carga constante atingindo  $4 \text{ mm min}^{-1}$ , realizado por uma agulha com base do cone de 4 mm, ângulo de  $30^\circ$ , acoplada a uma célula de carga de 20 kg. A força necessária para penetração da agulha na amostra é registrada por um sistema de aquisição de dados, que contém um software, fornecendo os resultados em MPa. Após os ensaios de RP os conjuntos anel-amostra foram levados à estufa ( $105^\circ\text{C}$ , 24h), pesados, obtendo-se as umidades volumétricas das amostras ( $\theta$ ). Esses dados foram usados para elaboração dos gráficos que expressam a relação da RP em função da  $\theta$ .

### 3.4.6. Condutividade hidráulica saturada

Para os ensaios de condutividade hidráulica saturada ( $K_{\text{sat}}$ ) as amostras foram saturadas com água desaerada, por capilaridade durante 24h. Foi utilizado o método de laboratório via permeâmetro de carga constante (PCC), onde o equipamento utilizado foi registrado como Patente de Invenção, junto ao Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI), com o título “Permeâmetro contínuo de carga constante e decrescente para determinação de condutividade hidráulica em meios porosos”, sob o número BR1020200132024 (ALMEIDA et al., 2020).

As amostras (conjuntos anel-amostra) foram submetidas à aplicação da carga hidráulica com 1,5 cm de altura de coluna de água, que, ao entrar em equilíbrio, os volumes de água que passaram pela área da seção transversal das amostras, em um tempo prefixado, são coletados, conforme sugeridos por Reynolds e Elrick (2002). Os detalhes sobre o permeâmetro, assim como suas vantagens, procedimentos e metodologia podem ser obtidos em Santos (2020). Os cálculos para obtenção dos valores da  $K_{\text{sat}}$  pelo PCC foram realizados com base na Lei de Darcy, conforme equação (10).

$$K_{\text{sat}} = \frac{V_a}{A t} \times \frac{L}{L+h} \quad (10)$$

onde:  $K_{\text{sat}}$  - é expressa em  $\text{mm h}^{-1}$ ;  $V_a$  é o volume de água coletado ( $\text{cm}^3$ );  $L$  - é a altura do corpo de prova;  $A$  - é a área da seção transversal do anel ( $\text{cm}^2$ );  $t$  - é o tempo de fluxo da água pelo corpo de prova e  $h$  - é a coluna de água aplicada (carga hidráulica, expressa em cca).

### 3.5. Elaboração do índice de qualidade do solo

Para elaboração do índice de qualidade do solo (IQS) é importante a definição da função que os atributos exercem no solo, seja do ponto de vista ambiental ou agrícola. O IQS foi obtido segundo o procedimento proposto em Cavalcante et al. (2021), onde um conjunto mínimo de dados foi selecionado por meio de uma série de métodos estatísticos uni e multivariados; cujos detalhes são descritos a seguir.

Inicialmente, foram selecionados treze atributos físicos do solo, obtidos tanto para os horizontes coesos (HC) como para os horizontes selecionados (HS): Ds, RP, RT, PT, Ma, Me, Mi, MiT, DMP, DMG, AGRI, IEA e Ksat. Os dados foram submetidos ao teste de hipótese de normalidade de Lilliefors ( $p < 0,10$ ). Apenas as variáveis que apresentaram distribuição normal entre os tratamentos foram selecionadas. Em seguida, foi realizado o teste de multicolinearidade pelo método de análise de trilhas (CRUZ; CARNEIRO, 2006), com a eliminação das variáveis altamente correlacionadas, ou seja, para identificar a presença ou ausência de dependências entre as variáveis. O diagnóstico de multicolinearidade foi feito pelo método do fator de inflação da variância (FIV) por meio de software estatístico. A multicolinearidade foi considerada quando os valores de FIV foram maiores que 10 (HAIR et al., 2009).

A análise de componentes principais (ACP) foi usada para selecionar indicadores apropriados e como método para extrair fatores de ponderação (KARLEN; STOTT, 1994; BREJDA et al., 2000; MUKHOPADHYAY et al., 2016). Para interpretação, foram utilizados apenas os fatores com autovalores  $\geq 1,0$  em pelo menos 5% da variação dos dados (BREJDA et al., 2000; SHARMA et al., 2005; MUKHOPADHYAY et al., 2016), por explicarem mais da variação total nos dados do que um único atributo. Os fatores retidos foram submetidos à rotação varimax para maximizar a relação entre os atributos interdependentes, o que facilita a interpretação (MINGOTI, 2007). Em cada componente principal, apenas as variáveis com altas cargas fatoriais foram retidas, ou seja, aquelas com valores absolutos dentro de 10% da maior carga fatorial (ANDREWS et al., 2002). As cargas fatoriais rotacionadas dos atributos selecionados foram utilizadas no cálculo dos pesos relativos dos atributos no IQS, conforme a equação (11), sugerida em Andrade et al. (2005).

$$W_i = \frac{F_1 P_{1i} + F_2 P_{2i}}{(\sum_{j=1}^n F_1 P_{1j}) + (\sum_{j=1}^n F_2 P_{2j})} \quad (11)$$

onde:  $W_i$ : peso relativo do atributo na  $i$ -ésima variável que compõe o IQS;  $F_{1i}$  e  $F_{2i}$ : autovalor das componentes principais;  $P_i$ : carga fatorial rotacionada do atributo na  $i$ -ésima variável;

$P_j$ : carga fatorial rotacionada do atributo na  $j$ -ésima variável;  $i$  e  $j$ : índices para as variáveis;  $n$ : número de variáveis envolvidas na ACP.

Após a seleção dos indicadores, os valores foram normalizados por meio de uma padronização relativa a ser incluído no IQS, transformando-se em escores dos indicadores ( $S$ ), que variam de 0 a 1, de acordo com Liebig, Varvel e Doran (2001) e Bhardwaj et al. (2011). Os indicadores foram ranqueados em ordem ascendente ou descendente, onde o valor mais alto pode ser considerado prejudicial ou benéfico, respectivamente, a depender das funções do solo. Para os indicadores considerados “mais é melhor”, cada observação foi dividida pelo maior valor observado, sendo valor mais alto considerado um escore igual a 1,0. Para indicadores considerados “menos é melhor”, o menor valor observado (no numerador) foi dividido por cada observação (no denominador), de modo que o valor mais baixo recebeu o escore 1,0. Para aqueles indicadores onde nem mais alto é melhor nem mais baixo é melhor (“ótimo”), as observações foram pontuadas como “mais é melhor” até um valor limite e então pontuadas como “menos é melhor” acima deste valor (LIEBIG; VARVEL; DORAN, 2001). O índice de qualidade do solo (IQS) foi então determinado utilizando-se a equação (12).

$$SQI = \sum_{i=1}^n (W_i \times S_i) \quad (12)$$

onde: IQS: é um número entre 0 e 1;  $W_i$ : peso correspondente ao  $i$ -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1; e  $S_i$ : escore do  $i$ -ésimo indicador, um número entre 0 e 1. No modelo, maiores índices indicam melhor qualidade do solo ou maior desempenho da função do solo.

### 3.6. Análise Estatística

Os dados dos IQS's entre os sistemas de manejo avaliados foram submetidos à One-way ANOVA (análise de variância de classificação simples) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% ( $p < 0,05$ ). Os dados foram analisados utilizando o software para Microsoft Excel XLSTAT (versão 2020.4.1.1016) (ADDINSOFT, 2020).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Distribuição de tamanho de poros e CCRAS

Os resultados da Tabela 5 indicam que os Ma, IEA, AGRI, DMP e DMG, não apresentaram interação significativa ao longo das topossequências, suas respectivas posições na paisagem e horizontes.

Para os Me, o TSE da área T6 dos HS, apresentou o maior valor com 13,81%, onde os menores valores foram encontrados para o TIE da área T0, TSE da área TR nos HC, assim como no TME, TIE da área T6 e TIE da área TR nos HS (Tabela 5). Conforme relatado por Lima et al. (2005) avaliando propriedades físicas em horizontes coesos e não coesos, observaram que os valores de mesoporosidade tendem a ser maiores em horizontes não coesos, podendo ocorrer maior redução nessas classes de poros, para esses horizontes, quando comparados aos horizontes coesos, que naturalmente, já os possuem em valores reduzidos. Essas observações vão de encontro com o maior valor de Me encontrado no TSE da área T6 no HS, horizonte esse que apresentou significativa redução do caráter coeso (Anexo 2a).

Tais resultados podem estar relacionado ao manejo utilizado (subsolagem e sulcagem) nas áreas T0 e T6, que promovem a redistribuição de macroporos, que são convertidos em poros de menor tamanho, os mesoporos, como observado em Carvalho et al. (2015). Esses autores comentam que “diferentemente dos macroporos, que sofrem uma redução dos vazios, em muitos casos, drástica, os micros e mesoporos praticamente não se modificam diante das tensões normalmente aplicadas em solos”.

Para os Mi o TIE da área T0 e o TSE da área T6 dos HS foram as posições e as áreas que apresentaram os maiores valores com 2,91 e 2,74% respectivamente. O pior valor foi encontrado no TIE da área T6 do HS com 0,86%. Entretanto para os MiT o TME da área T6 e o TSE da área T0 dos HS foram os que apresentaram o maior e menor valor respectivamente, com 42,56 e 23,17% (Tabela 5). Esses resultados também corroboram os valores de microporosidade encontrado por Paiva et al. (2000) trabalhando em solos de uma topossequência de Tabuleiro do estado da Bahia; e Braga et al. (2015) avaliando a capacidade de suporte de carga e a suscetibilidade à compactação de solos no Rio Grande do Sul. Tendo esse estudo apresentado alguns valores superiores ao encontrado por esses autores.

**Tabela 5** – Valores médios dos atributos físicos do solo para as áreas (T0, T6 e TR), as posições (TSE, TME e TIE) e os horizontes dos solos estudados (HC e HS).

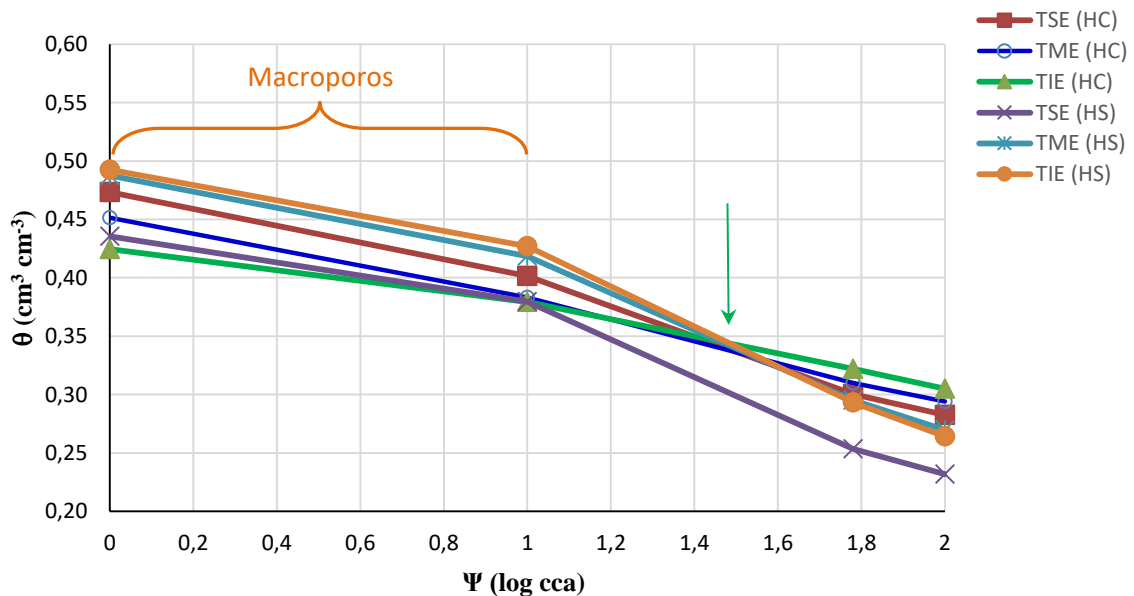
Tratamentos	RT	Ksat	RP	Ds	PT	Ma	Me	Mi	MiT	DMP	DMG	AGRI	IEA
	kPa	mm h <sup>-1</sup>	MPa	g cm <sup>-3</sup>	%	%	%	%	%	mm	mm	%	%
T6*TSE*HC	59,137 ab	1,647 bc	1,624 cdef	1,509 abcde	52,711 abc	7,628 ab	8,248 abcde	1,332 efg	35,504 cd	2,591 a	2,052 a	67,164 a	97,040 a
T6*TME *HC	<b>56,062 ab</b>	1,799 bc	<b>2,907 bc</b>	1,427 cde	51,834 abcd	6,963 ab	7,112 cde	0,950 fg	36,372 bc	2,998 a	2,669 a	83,786 a	98,605 a
T6*TIE*HC	<b>48,527 bcde</b>	<b>1,296 c</b>	<b>3,171 b</b>	1,521 abcde	47,314 cdef	6,156 ab	7,700 bcde	1,307 efg	32,288 cdefg	2,446 a	1,898 a	60,981 a	98,127 a
T0*TSE*HC	39,618 cdefg	<b>4,137 a</b>	1,556 cdef	1,512 abcde	47,346 cdef	6,177 ab	10,137 abcde	1,785 bcde	28,237 ghi	2,470 a	1,880 a	63,433 a	98,038 a
T0*TME *HC	<b>37,377 defg</b>	2,657 abc	<b>2,134 bcdef</b>	1,557 abc	45,135 def	6,810 ab	7,323 cde	1,586 defg	29,416 fghi	2,165 a	1,583 a	50,305 a	97,586 a
T0*TIE*HC	<b>37,351 defg</b>	<b>1,162 c</b>	<b>2,773 bcd</b>	<b>1,666 a</b>	<b>42,462 f</b>	4,526 b	<b>5,736 e</b>	1,711 cdef	30,489 efghi	2,340 a	1,823 a	57,944 a	97,853 a
TR*TSE*HC	<b>44,910 bcde</b>	2,339 abc	<b>2,340 bcde</b>	1,512 abcde	48,662 cdef	5,786 ab	<b>5,961 e</b>	1,560 defg	35,355 cd	2,374 a	1,876 a	58,952 a	97,333 a
TR*TME *HC	40,152 cdef	1,919 bc	1,412 def	1,501 abcde	48,074 cdef	6,103 ab	9,412 abcde	2,503 abc	31,064 efgh	2,328 a	1,988 a	58,652 a	97,839 a
TR*TIE*HC	46,315 bcde	<b>1,254 c</b>	1,828 bcdef	1,543 abcd	45,415 cdef	4,502 b	6,790 de	2,356 abcd	31,767 defg	2,621 a	2,175 a	67,845 a	99,238 a
T6*TSE*HS	26,847 fghi	2,645 abc	0,676 f	<b>1,233 f</b>	<b>58,592 a</b>	8,095 a	<b>13,810 a</b>	<b>2,736 a</b>	33,952 cde	2,110 a	1,455 a	49,974 a	95,025 ab
T6*TME *HS	<b>52,790 abc</b>	1,927 bc	<b>2,336 bcde</b>	1,365 ef	56,057 ab	5,978 ab	<b>6,322 e</b>	1,192 efg	<b>42,565 a</b>	2,415 a	1,874 a	59,375 a	96,558 a
T6*TIE*HS	<b>65,370 a</b>	1,331 bc	<b>4,918 a</b>	1,467 bcde	51,516 abcd	5,625 ab	<b>5,380 e</b>	<b>0,865 g</b>	40,463 ab	3,119 a	2,858 a	88,966 a	98,776 a
T0*TSE*HS	17,962 i	2,348 abc	1,176 ef	<b>1,603 ab</b>	43,550 ef	5,606 ab	12,592 abc	2,178 abcd	<b>23,174 j</b>	2,114 a	1,561 a	50,194 a	97,291 a
T0*TME *HS	26,920 fghi	3,463 ab	0,880 ef	1,412 cde	48,751 cdef	6,891 ab	12,349 abcd	2,558 ab	26,953 hij	2,659 a	2,145 a	70,528 a	97,927 a
T0*TIE*HS	21,338 hi	<b>4,126 a</b>	0,781 f	1,443 bcde	49,263 bcdef	6,576 ab	13,374 ab	<b>2,909 a</b>	26,405 ij	2,654 a	2,111 a	70,284 a	97,711 a
TR*TSE*HS	25,391 ghi	2,317 abc	1,747 bcdef	1,392 cdef	50,229 bcde	6,863 ab	8,707 abcde	2,240 abcd	32,419 cdefg	2,145 a	1,455 a	52,427 a	91,316 b
TR*TME *HS	34,090 efgh	2,144 abc	1,414 def	1,383 def	49,065 bcdef	7,600 ab	10,506 abcde	2,431 abc	28,529 fghi	2,122 a	1,778 a	48,739 a	97,261 a
TR*TIE*HS	48,808 bcd	<b>0,893 c</b>	1,590 cdef	1,531 abcde	48,282 cdef	6,201 ab	<b>6,325 e</b>	1,730 cdef	32,633 cdef	2,902 a	2,572 a	78,930 a	99,236 a

As médias acompanhadas das mesmas letras minúsculas não diferem estatisticamente entre si na coluna, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. T0 - área com eucalipto com menos de 1 ano, T6 - área cultivada com eucalipto com 6 anos, TR - área de referência (mata nativa), TSE - terço superior da encosta, TME - terço médio da encosta, TIE - terço inferior da encosta, RT - resistência tênsil de agregados, Ksat - condutividade hidráulica saturada, RP - resistência a penetração de raízes, Ds - densidade do solo, PT - porosidade total, Ma - macroporos, Me - mesoporos, Mi - microporos estruturais e biológicos, MiT - microporos texturais, DMP - diâmetro médio ponderado, DMG - diâmetro médio geométrico, AGRI - porcentagem de agregados maiores que 2 mm e IEA - índice de estabilidade de agregados.



Analisando os resultados de PT, o TSE da área T6 do HS foi a que se destacou com maior valor 58,59%, sendo o pior valor encontrado para o TIE da área T0 do HC, com 42,46%. Conseqüentemente, o TSE da área T6 do HS e o TIE da área T0 do HC, apresentaram a menor e maior densidade do solo, com  $1,23 \text{ g cm}^{-3}$  e  $1,67 \text{ g cm}^{-3}$  respectivamente (Tabela 5). De fato, a PT tende a ser maior com a diminuição da densidade do solo, como observado por Silva, Cabeda e Lima (2005), em estudos com Argissolo Amarelo nos Tabuleiros Costeiros em Alagoas, em área próxima da selecionada para este estudo.

Avaliando as áreas por meio da curva característica de retenção de água no solo (CCRAS), observa-se na Figura 2, que na área T0 no potencial de saturação ( $\theta_{\text{sob } 0 \text{ cca}}$ ), tem destaque para o TIE e o TME dos HS, com maior umidade inicial (portanto, maior PT, onde  $PT = \theta_{\text{sob } 0 \text{ cca}}$ ), e também maior macroporosidade (como indicado pela chave em cor laranja na Figura 2, que delimita os macroporos). Nos últimos potenciais (Figura 2, a partir da seta verde) é possível observar que o TIE, TME e TSE dos HC obtiveram maiores valores de umidade ( $\theta$ ), fato esse que coincide com a quantidade de MiT apresentada por essas posições, sendo no TIE igual a 30%; no TME, 29% e no TSE 28% (Tabela 5).



**Figura 2** – Curva característica de retenção de água do solo da área com eucaliptos com menos de um ano (T0) para os horizontes coesos (HC) e horizontes selecionados (HS), levando em consideração o log das tensões de 0, 10, 60 e 100 cca

Vale ressaltar que os valores de MiT obtidos entre as posições, refletem diretamente na relação entre o conteúdo de água no solo e a sua respectiva energia de retenção (Figura 2),

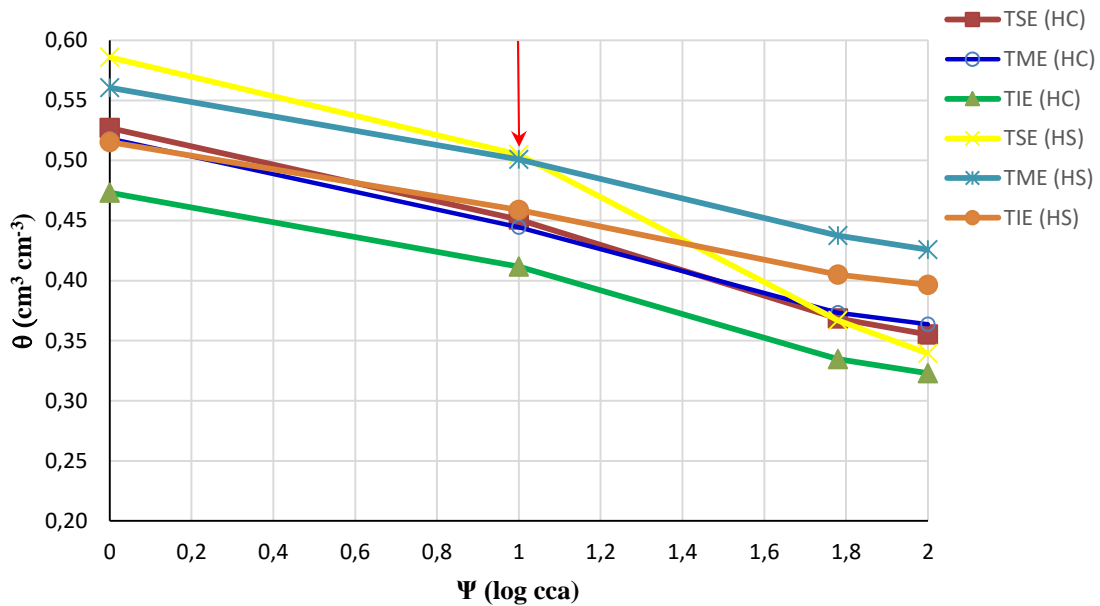
sendo esses poros aqueles responsáveis pela retenção da água (BRADY; WEIL, 2013). A esse respeito, Dantas et al. (2014), trabalhando com solos que apresentam horizontes coesos, comentam que a microporosidade tende a ser mais elevada em relação aos horizontes não coesos; comportamento também comprovados em Paiva et al. (2000).

O TSE dos HS apresentou o menor valor de umidade volumétrica ( $\theta$ ) nos últimos potenciais, conseqüentemente o menor valor de MiT dentre todas as posições e horizontes com 23% (Tabela 5) e maior valor de areia total, com 589 g kg<sup>-1</sup>, dos quais, a maioria é da classe de areia grossa, 412 g kg<sup>-1</sup> (Tabela 2). Este fato, aliado ao seu menor conteúdo de argila total (391 g kg<sup>-1</sup>), confere ao solo do TSE o menor valor de  $\theta$ .

Esses argumentos estão de acordo com a literatura, como aqueles comentados em Amaro Filho, Assis Júnior e Mota (2008). Estes autores, estudando a relação entre textura do solo e sua capacidade de retenção de água, concluíram que solos com maiores quantidades de areia tendem a ter o conteúdo de água reduzido.

Em relação a topossequência sob T6 é possível observar que, o TSE e TME dos HS foram aqueles que apresentaram as maiores  $\theta$  iniciais (equilibradas entre 0 e 10 cca). Porém, a partir deste potencial ( $\Psi > 10$  cca, como indicado pela seta vermelha na Figura 3) a curva do TSE (HS), começa a ter a maior inclinação entre as demais, tendendo à menores  $\theta$  com o aumento do  $\Psi$ ; enquanto a do TME (HS) passa a ser a curva que representa a maior retenção de umidade sob maiores  $\Psi$ , seguida pela curva do TIE dos HS. O menor valor de  $\theta$  (0,32 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>), encontrado sob o maior  $\Psi$  (100 cca), foi observado para a curva do TIE do HC (Figura 3), sugerindo que nesta posição da topossequência os solos têm menores disponibilidade de água para as plantas.

Para Corrêa et al. (2008b) a melhor compreensão da qualidade de retenção da água pelo solo é obtida por meio da CCRAS. As duas posições (TME e TIE) dos HS tiveram valores de MiT muito elevados, com 42 e 40%, respectivamente. Por outro lado, os HC sob o TIE foram os que apresentaram os menores valores de MiT entre as posições e horizontes estudados, com 32% (Tabela 5), além de maior quantidade de areia total com 541 g kg<sup>-1</sup>, sendo 375 g kg<sup>-1</sup> de areia muito grossa (Tabela 3). Essa menor disponibilidade de água na posição TIE do HC irá influir, decisivamente, na distribuição dos valores médios do incremento anual da produção de eucaliptos observada na topossequência T6, comentada mais adiante no tópico **4.4 (Correlação de Person e índice de qualidade do solo)**.

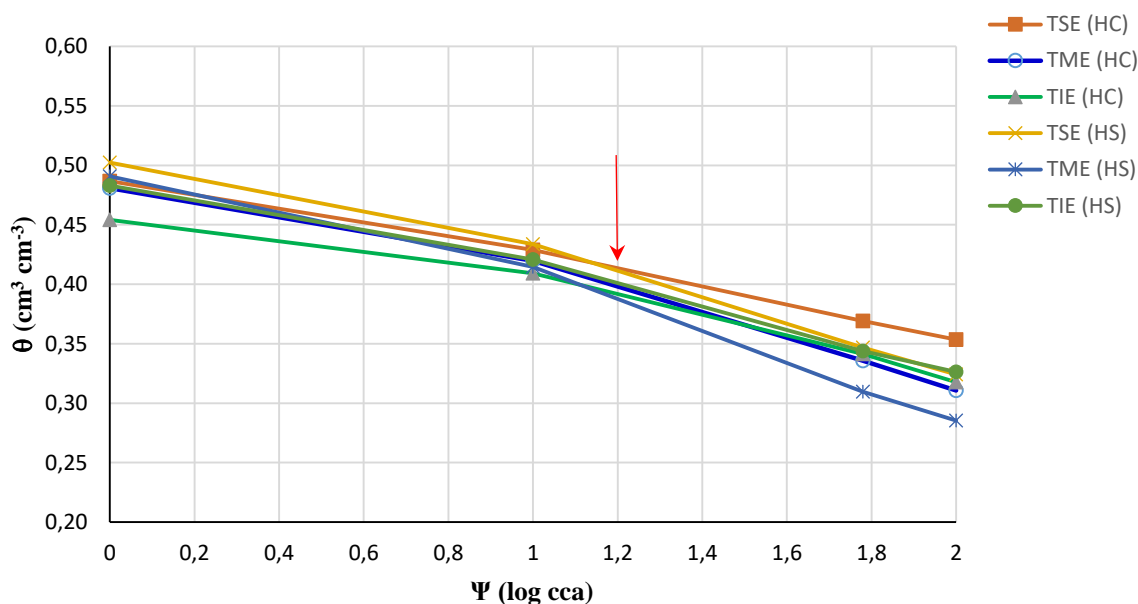


**Figura 3** - Curva característica de retenção de água do solo da área com eucaliptos de 6 anos (T6) para os horizontes coesos (HC) e horizontes selecionados (HS), levando em consideração o log das tensões de 0, 10, 60 e 100 cca

A umidade do solo é de grande importância para povoamentos florestais, visto que extraem grande quantidade de água por evapotranspiração, a depender da espécie e idade, sendo requeridas, pela cultura do eucalipto, água para maior produtividade em menor tempo (CROCKFORD; RICHARDSON, 2000; HUBER et al., 2008; FERRAZ; LIMA; RODRIGUES, 2013).

Na área de mata nativa (TR), em todas as posições e horizontes, os solos apresentaram  $\theta_{\text{saturação}}$  e  $\theta_{10 \text{ cca}}$  próximas entre si; entretanto, a partir do  $\Psi$  de 1,2 log de cca (Figura 4, seta vermelha), os HC sob TSE e HS sob TME, foram aqueles que se destacaram com maior e menor  $\theta$ , respectivamente.

Este fato está associado ao maior valor de MiT, 35% no TSE dos HC e menor valor no TME dos HS, com 28% (Tabela 5). Além disso, podemos destacar a maior quantidade de argila total apresentada pelo horizonte no TSE dos HC, com  $643 \text{ g kg}^{-1}$ , em comparação ao horizonte do TME nos HS, com  $448 \text{ g kg}^{-1}$ , bem como a maior quantidade de areia total ( $514 \text{ g kg}^{-1}$ ), apresentada pelo solo dessa posição, sendo  $349 \text{ g kg}^{-1}$  de areia muito grossa (Tabela 4).



**Figura 4** - Curva característica de retenção de água do solo da área de mata nativa (TR) para os horizontes coesos (HC) e horizontes selecionados (HS), levando em consideração o log das tensões de 0, 10, 60 e 100 cca

#### 4.2. Densidade do solo, condutividade hidráulica saturada, resistência do solo à penetração de raízes e resistência tênsil de agregados

A maior densidade do solo ( $D_s$ ), foi encontrada no TIE da área T0 no HC, com  $1,67 \text{ g cm}^{-3}$  sendo o menor valor encontrado para o TSE da área T6 no HS com  $1,23 \text{ g cm}^{-3}$  (Tabela 5). Solos coesos podem apresentar valores de  $D_s$  variando de  $1,45$  e  $1,68 \text{ g cm}^{-3}$  (LIMA NETO et al., 2009; CORRÊA et al., 2008b). Os resultados encontrados nesse estudo estão na faixa de valores encontrado por esses autores.

Maia e Ribeiro (2004) trabalhando com Argissolo Amarelo Distrocoeso no estado de Alagoas, cultivado com cana-de-açúcar durante 30 anos, observaram elevados valores de  $D_s$ , comparados a uma área de mata nativa. Esses resultados são semelhantes aos encontrados nesse estudo para área T0, sendo essa área antes cultivada com cana-de-açúcar por um longo período e, atualmente, introduzido o plantio do eucalipto.

Outro valor de  $D_s$  que chama atenção é observado no TSE, também da área T0 no HS, com  $1,60 \text{ g cm}^{-3}$ , valor este que pode estar relacionado a maior quantidade de areia apresentada pelo horizonte dessa área, com  $589 \text{ g kg}^{-1}$  (Tabela 2), podendo esse valor ser decorrente do tipo de mineral presente nessa fração areia.

Como já observado por Hillel (1998) a fração areia, em geral, é constituída por quartzo, podendo apresentar feldspatos e micas, que são minerais com densidades distintas, que podem influenciar na variação da densidade do solo. Corroborando esse resultado, Bezerra et al. (2015) encontraram valores de  $D_s$  em horizontes não coesos em torno de  $1,53 \text{ g cm}^{-3}$ , podendo alcançar  $1,59 \text{ g cm}^{-3}$ . Esses autores concluíram que a  $D_s$ , quando avaliada isoladamente, não é suficiente para caracterizar horizontes coesos e a qualidade física do solo.

O solo da área T0 apresentou os maiores valores de condutividade hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ) para o TSE, com  $4,14 \text{ mm h}^{-1}$  no HC e  $4,13 \text{ mm h}^{-1}$  para o TIE no HS. As piores condições estruturais foram encontradas para os solos sob TIE da área TR, tanto no HS como no HC, que com os menores valores de  $K_{sat}$ , sendo  $0,89 \text{ mm h}^{-1}$  e  $1,25 \text{ mm h}^{-1}$ , respectivamente; bem como no TIE da área T0 e T6 no HC, com  $1,16 \text{ mm h}^{-1}$  e  $1,30 \text{ mm h}^{-1}$ , nesta ordem (Tabela 5).

O HC sob TSE e o HS sob TIE, ambos da área T0, apresentaram valores elevados de Me, com 10,14% e 13,37%, respectivamente. Essa classe de poros, juntamente com os Ma, são os poros responsáveis pela redistribuição, infiltração e drenagem de água na matriz do solo, influenciando, portanto, diretamente os valores de  $K_{sat}$ , como observado por Marques et al. (2008). Esses autores, avaliando a condutividade hidráulica em topossequência com diferentes coberturas vegetais no baixo amazonas, comprovaram que a  $K_{sat}$  é diretamente influenciada pela variação da DTP, principalmente quando esta favorece uma maior quantidade de poros grandes. Corroborando essas afirmações é possível observar que os piores valores de  $K_{sat}$  estão relacionados à menores valores de Me, assim como  $D_s$  mais elevadas (Tabela 5).

Lima Neto et al. (2009) trabalhando com solos coesos nos Tabuleiros Costeiros no estado de Alagoas, encontraram valores de  $K_{sat}$  muito próximos de zero; como também observado por Paiva et al. (2000), que avaliaram a  $K_{sat}$  em solos de uma topossequência de Tabuleiro do estado da Bahia, o que confirma os resultados de  $K_{sat}$  obtidos nesse estudo. Vale ressaltar também que, a variação da  $K_{sat}$  e da  $D_s$  está interligada a atributos como: granulometria; distribuição de tamanho de poros; estabilidade dos agregados; entre outros (REICHARDT; TIMM, 2007; MESQUITA; MORAES, 2004).

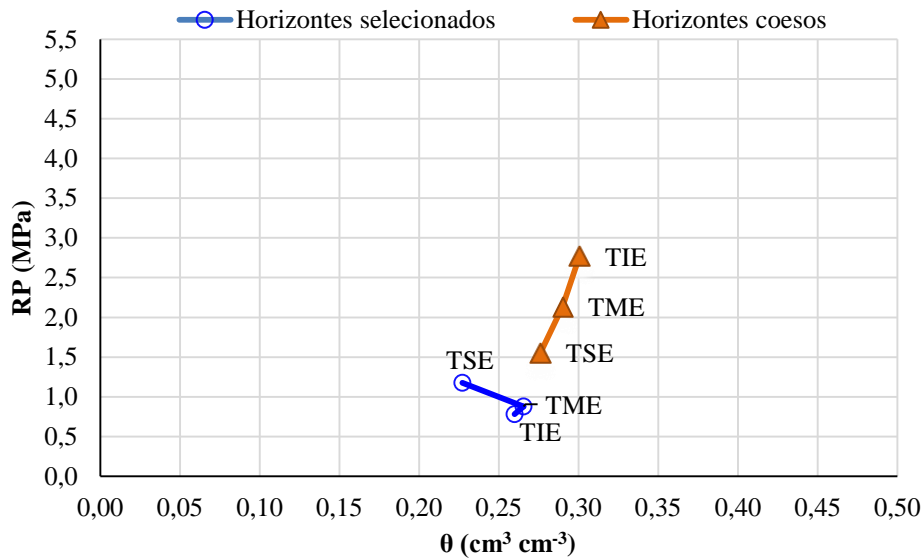
Para resistência à penetração de raízes (RP) os HC e HS sob TIE da área T6 foram os solos que apresentaram os maiores valores com 4,92 e 3,17 MPa, respectivamente. Vale a observação que, no TME da área T6 e T0, no TIE da área T0, assim como no TSE da área TR, todos dos HC apresentaram valores acima 2MPa, valor crítico indicado por Tormena, Silva, Libardi (1998); fato também verificado para o HS sob TME da área T6 (Tabela 5).

O HC sob o TIE da área T6 possui elevada argila dispersa em água (ADA) com  $378 \text{ g kg}^{-1}$  (Tabela 3). Neste contexto, Silva et al. (1998) e Corrêa et al. (2008a) relatam que a ADA contribui para entupimentos de poros, devido a processo de iluviação, com consequente adensamento de horizontes. Já o maior valor de RP observado no HS sob TIE dessa mesma área pode ser atribuído a maior agregação desse solo, confirmada pelo elevado grau de floculação (GF), com 96% (Tabela 3). O TIE da área T6, tanto dos HC como dos HS, apresentaram valores elevados de resistência tênsil (RT), com 48,53 e 65,37 kPa (Tabela 5). Estes valores estão acima daqueles encontrados por Giarola et al. (2003) que, avaliando também solos coesos, obtiveram valores de RT próximos a 37 kPa.

Para as outras áreas e posições citadas, com valores acima de 2 MPa, foi observada maior agregação, com elevados valores de GF (Tabelas 2, 3 e 4), exceto o TME da área T6 do HC, que mesmo não apresentando uma elevada agregação, possui um baixo valor de Me (7,11%) e elevada MiT (36,37%). Laclau et al. (2001) e Whalley, Kay e Whitmore (2007) relatam que os valores de RP têm relação com a porosidade, influenciando na distribuição e disponibilidade da água, além de afetar na troca de gases, podendo prejudicar o desenvolvimento radicular. Também podemos destacar os valores de RT apresentada por essas áreas e suas respectivas posições (Tabela 5).

Conforme já observado por Lima et al. (2005) horizontes com caráter coeso tendem a ter agregados mais duros com maior RT, como encontrado em nossa pesquisa. Imhoff, Silva e Dexter (2002) observaram que a elevada RT em solos com baixa umidade, tende a reduzir o crescimento das raízes. Os mesmos autores ressaltam que a diminuição na RT esta associada à destruição das ligações químicas entre as partículas, seja de natureza orgânica ou inorgânica, tornado os agregados instáveis. Em contrapartida, Guimarães et al. (2009) destacaram que plantas com sistema radicular agressivo podem contribuir com a diminuição da RT no solo.

Observando a relação entre RP e umidade volumétrica ( $\theta$ ) para a área T0 nos HC, os sob TME e TIE foram os horizontes que apresentaram maiores valores de RP sob  $\theta$  muito próximas; enquanto os HC sob TSE, mesmo com a menor  $\theta$ , apresentou o menor valor de RP, com  $\cong 1,5 \text{ MPa}$  (Figura 5). Nos HS, diferentemente do que ocorreu para os HC, aqueles sob TSE apresentaram os maiores valores de RP na menor  $\theta$ , enquanto os HC sob TME e TIE obtiveram menores valores de RP, justificados em função dos seus maiores valores de  $\theta$ .



**Figura 5** – Resistência à penetração de raízes (RP) na área T0 (zero ano) em cada posição da topossequência relacionada a umidade volumétrica ( $\theta$ ) nos horizontes coesos e horizontes selecionados

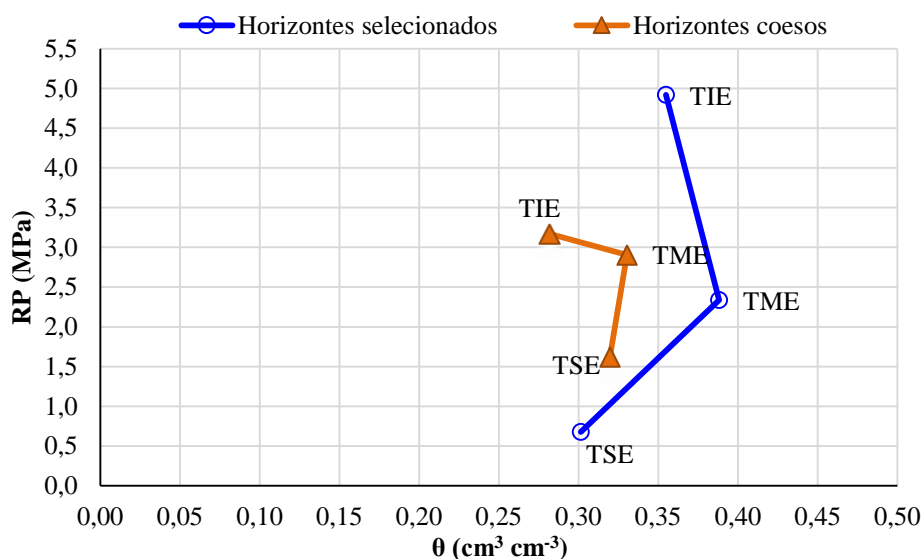
Vale ressaltar que para todas as posições os HC apresentaram os maiores valores de RP em relação aos HS, independente da  $\theta$  (Figura 5). Os resultados deste estudo corroboram os obtidos por Bezerra et al (2015), Lima et al. (2004) e (2005), onde encontraram elevados valores de RP em horizontes coesos comparados a horizontes não coesos.

Para a área T6 nos HC é possível identificar elevados valores de RP em menor  $\theta$  (0,28 cm³ cm⁻³) para o TIE (Figura 6). Resultados semelhantes foram encontrados por Silva e Carvalho (2007) que, ao avaliarem a RP relacionada à  $\theta$  em solos de Tabuleiros Costeiros, observaram que, com a diminuição da  $\theta$ , ocorreu um aumento nos valores de RP.

Outro fato que também se pode destacar é a elevada ADA dessa posição, com 378 g kg⁻¹ (Tabela 3), como já observado por Silva et al. (1998) e Corrêa et al. (2008a), onde afirmam que a ADA contribui para maior adensamento dos solos. O TSE, com  $\theta$  em torno de 0,32 cm³ cm⁻³, obteve RP mais baixa em comparação as outras posições, com 1,62 MPa e ADA de 3g kg⁻¹ (Tabela 3); no TME, mesmo com  $\theta$  de 0,33 cm³ cm⁻³, foi observada RP de 2,91 MPa para ADA de 181 g kg⁻¹ (Tabela 3).

Os maiores valores de RP foram encontrados no TIE, tanto nos HC como nos HS, mesmo com  $\theta$  de 0,35 cm³ cm⁻³; o TSE, por sua vez, apresentou o menor valor de RP, entre as três posições na paisagem analisadas, sob menor  $\theta$  (0,30 e 0,32 cm³ cm⁻³, para HS e HC respectivamente). Vale ressaltar que, o HS sob TME, embora apresentando a maior  $\theta$  entre as

três posições ( $0,39 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), o valor de RP foi intermediário entre TSE e TIE, como também observado nos HC (Figura 6).



**Figura 6** – Resistência à penetração de raízes (RP) na área T6 (6 anos) em cada posição da topossequência relacionada a umidade volumétrica ( $\theta$ ) nos horizontes coesos e horizontes selecionados.

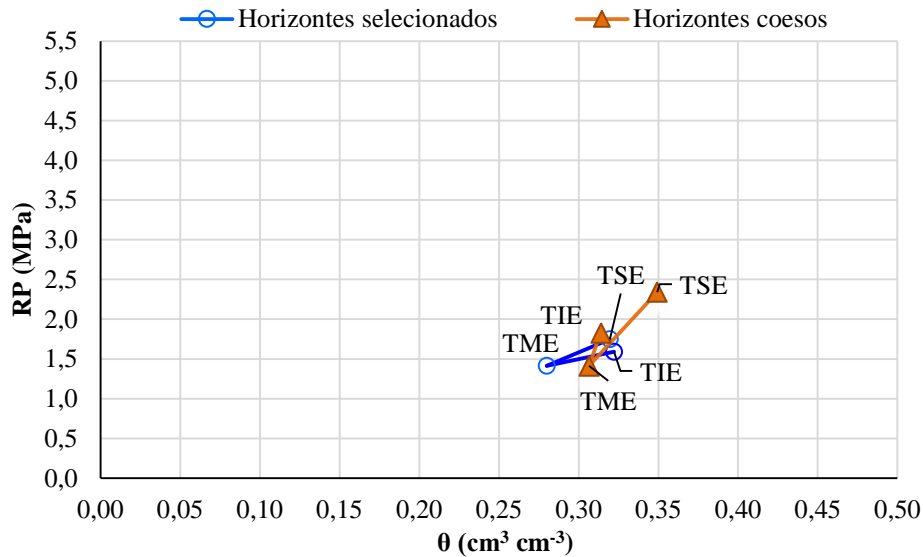
Silva e Carvalho (2007) também relatam que mesmo horizontes não coesos podem apresentar elevada RP, a depender da umidade, sendo importante a determinação de limites de plasticidade e contração do solo.

Analisando as mesmas posições para os HC e HS, foi observado que os HC sob TSE e TME obtiveram maiores valores de RP, em relação a essas mesmas posições nos HS. Por outro lado, os HS sob TIE alcançaram os maiores valores de RP, em relação ao TIE dos HC (Figura 6). Como observado por Lima et al. (2005), horizontes com menores valores de  $M_a$  e  $M_e$  mostraram efeito marcante no aumento da RP. Assim, neste estudo, quando comparados os valores de  $M_a$  e  $M_e$  dos HS sob TIE com os dos HC sob TIE, é possível identificar menores valores para os HS do TIE e, conseqüente, aumento no valor de  $M_{iT}$  (Tabela 5).

Na área sob TR para os HC, aqueles do TSE teve destaque entre as demais posições da topossequência, com maior valor de RP, ficando acima do limite crítico ( $> 2 \text{ MPa}$ ), mesmo apresentando maior umidade entre as três posições:  $0,35 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  (Figura 7). Com relação as demais posições, os HC sob o TME e o TIE apresentaram umidades muito próximas durante os ensaios de RP, mas o TIE se destacou com maior valor de RP. Nos HS, assim como nos HC, o TSE apresentou a maior RP, o TME apresentou o menor valor de umidade entre as três posições, mas obteve uma RP próxima a do TIE (Figura 7). Ao se comparar as mesmas posições nos HC



com os HS, observa-se que o TSE dos HC obteve a maior RP em relação ao TSE dos HS, os TME obtiveram valores iguais de RP tanto para o HC como para o HS, o TIE dos HC obteve o maior valor de RP em relação ao TIE dos HS, destacando os maiores valores de RP nos horizontes coesos.



**Figura 7** – Resistência à penetração de raízes (RP) na área TR (mata nativa) em cada posição da topossequência relacionada a umidade volumétrica ( $\theta$ ) nos horizontes coesos e horizontes selecionados.

#### 4.3. Índice de estabilidade de agregados, porcentagem de agregados maiores que 2 mm, diâmetro médio ponderado e diâmetro médio geométrico.

Na avaliação dos atributos relacionados a estabilidade dos agregados, não foi identificada interação significativa para os atributos nas áreas, posições e horizontes (Tabela 5). Mesmo as áreas, suas posições nas topossequências e seus respectivos horizontes não apresentando interação, pode-se fazer algumas inferências. Neste sentido, os IEA, em todas as situações, foram maiores que 91%, com DMP acima de 2 mm, o DMG variando entre 1,45 e 2,85 mm, e AGRI entre 48 e 88% (Tabela 5). Esses resultados confirmam os elevados valores de IEA e DMP encontrados para todas as áreas, independente ds posição e horizonte estudado.

De acordo com Calonego e Rosolen (2008), o efeito da agregação pode ser acelerado pelo crescimento radicular, exercendo pressão e promovendo aproximação das partículas do solo. As três áreas estudadas (T0, T6 e TR) possuem um grande aporte de raízes, o que beneficia o efeito de agregação das partículas. De acordo Zonta et al. (2006), a absorção de água pelas raízes, aumenta a força de coesão entre as partículas do solo. De fato, Tisdall e Oades (1982),

estudando os efeitos da matéria orgânica nos agregados de solos estáveis em água, ressaltaram que as raízes e matéria orgânica têm forte influência na formação de agregados maiores.

#### 4.4. Correlação de Person e índice de qualidade do solo

Os índices de agregação foram avaliados a partir das correlações de Person entre os atributos físicos dos solos (Tabela 6), onde percebe-se que as maiores correlações significativas e positivas a 1% de probabilidade foram entre o DMG e o DMP (0,971\*), AGRI e o DMP (0,997\*) e AGRI e o DMG (0,966\*). Estes resultados confirmam a relação entre os índices de estabilidade dos agregados, e, à medida que ocorre o aumento no valor de um desses atributos, o valor do outro tende a aumentar.

A RT apresentou correlação positiva e altamente significativa com MiT 0,787\* e RP 0,726\*, sendo altamente significativa e negativa com Me -0,777\* e Mi -0,824\* (Tabela 6). Giarola et al. (2003) relatam que horizontes com maior RT, apresentam partículas mais unidas entre si e, conseqüentemente, originam poros com diâmetros menores, como os MiT. A correlação positiva com os MiT, indica que dentro da PT, a classe de poros com maior influência no aumento dos valores de RT são os MiT. Este fato é confirmado ao observar os elevados valores de MiT no TME e TIE da área T6 nos HS e no TSE e TME dessa mesma área no HC, onde também apresentaram elevados valores de RT (Tabela 5).

Assim como a RT a RP apresentou correlação significativa e positiva com o MiT (0,612\*), e correlação significativa e negativa com Me e Mi, com valores de -0,762\* e -0,817\*, respectivamente. Lima et al. (2005) confirmaram que o menor volume de poros tem efeito marcante no aumento da RP. Estes resultados comprovam que a diminuição dessas classes de poros, os quais têm maiores diâmetros em relação aos MiT, contribui no aumento dos valores de RP.

Como já observado por Silva, Cabeda e Lima (2005), a Ds possui uma relação inversa com a PT, fato este comprovado por meio da correlação significativa e negativa da Ds com PT (-0,872\*), demonstrando que maiores os valores de Ds, resultam em menores os valores PT. A Ds também apresentou correlação significativa e negativa com Ma (-0,700\*). Como relatado por Lima et al. (2005), a redução nos valores de algumas classes de poros, tendem a reduzir a porosidade total; assim, o aumento nos valores de uma dessas classes, certamente culminará em maiores valores de PT.

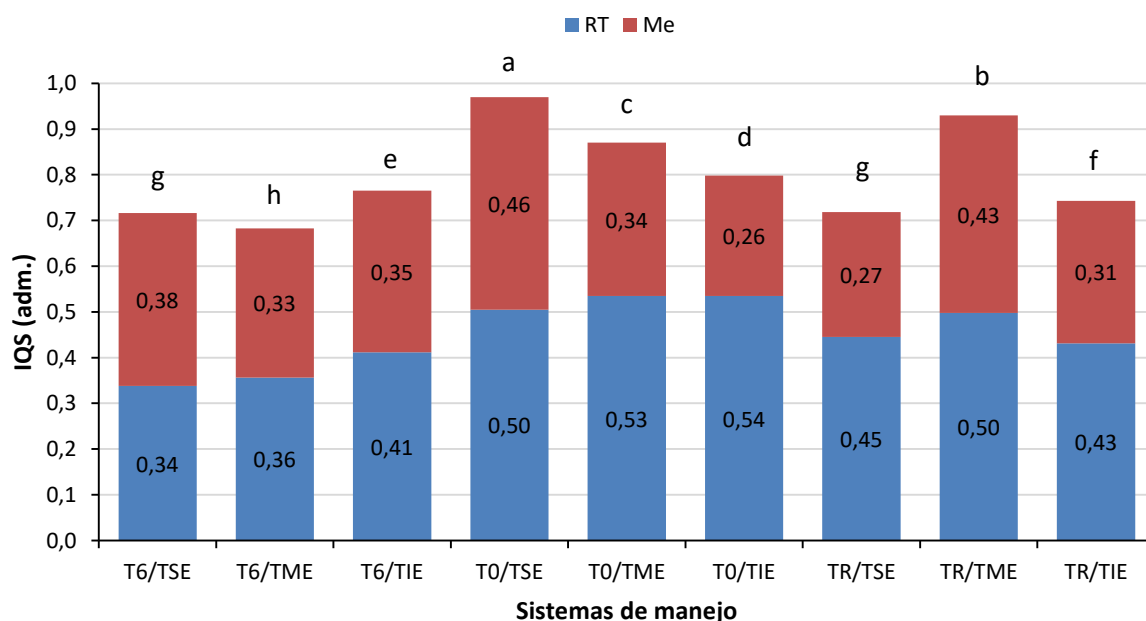
**Tabela 6** - Correlação de Person para todos os atributos físicos dos solos.

Variáveis	RT	Ksat	RP	Ds	PT	Ma	Me	Mi	MiT	DMP	DMG	AGRI	IEA
RT	<b>1</b>												
Ksat	<b>-0,593*</b>	<b>1</b>											
RP	<b>0,726*</b>	<b>-0,541**</b>	<b>1</b>										
Ds	0,113	-0,292	0,255	<b>1</b>									
PT	0,244	0,067	-0,044	<b>-0,872*</b>	<b>1</b>								
Ma	-0,159	0,347	<b>-0,401***</b>	<b>-0,700*</b>	<b>0,623*</b>	<b>1</b>							
Me	<b>-0,777*</b>	<b>0,699*</b>	<b>-0,762*</b>	<b>-0,419***</b>	0,156	<b>0,507**</b>	<b>1</b>						
Mi	<b>-0,824*</b>	<b>0,487**</b>	<b>-0,817*</b>	-0,260	-0,084	0,189	<b>0,771*</b>	<b>1</b>					
MiT	<b>0,787*</b>	<b>-0,487**</b>	<b>0,612*</b>	-0,324	<b>0,639*</b>	-0,002	<b>-0,638*</b>	<b>-0,667*</b>	<b>1</b>				
DMP	<b>0,639*</b>	-0,225	<b>0,484**</b>	0,073	0,124	-0,186	-0,382	<b>-0,460***</b>	0,400	<b>1</b>			
DMG	<b>0,666*</b>	-0,319	<b>0,510**</b>	0,101	0,074	-0,207	<b>-0,419***</b>	<b>-0,448***</b>	0,389	<b>0,971*</b>	<b>1</b>		
AGRI	<b>0,611*</b>	-0,205	<b>0,478**</b>	0,059	0,130	-0,176	-0,354	<b>-0,439***</b>	0,386	<b>0,997*</b>	<b>0,966*</b>	<b>1</b>	
IEA	<b>0,434***</b>	-0,200	0,267	<b>0,474**</b>	-0,357	<b>-0,410***</b>	-0,266	-0,267	-0,044	<b>0,580**</b>	<b>0,652*</b>	<b>0,543**</b>	<b>1</b>

sendo: \* - correlação significativa a 1%, \*\* - correlação significativa a 5%, \*\*\* - correlação significativa a 10%, RT – resistência tênsil de agregados, Ksat – condutividade hidráulica saturada, RP – resistência à penetração de raízes, Ds – densidade do solo, PT – porosidade total, Ma – macroporosidade, Me – mesoporosidade, Mi – microporosidade estrutural e biológica, MiT – microporosidade textural, DMP – diâmetro médio ponderado, DMG – diâmetro médio geométrico, AGRI – porcentagem de agregados maiores que 2 mm, IEA – índice de estabilidade de agregados.

Outra correlação que merece destaque é a correlação significativa e positiva entre  $K_{sat}$  e  $Me$  com valor de  $0,699^*$  que, segundo Marques et al. (2008), poros com maiores diâmetros, como os  $Me$ , promovem mudanças na  $K_{sat}$ . Nesse caso, essa é a classe de poros que melhor representam o aumento em seus valores.

Após os procedimentos realizados nos dados (item 3.5) e com base na avaliação dos IQS observa-se que, após todas as etapas de análise para os HC, os atributos RT e  $Me$  foram aqueles que atenderam aos critérios de seleção utilizados, sendo esses dois atributos utilizados para representaram as condições atuais de cada área e suas respectivas posições na topossequência. Nesse sentido, destaca-se a seguinte sequência, considerando o sentido do maior para o menor:  $T0/TSE (0,97 \pm 0,03)$ , que corresponde à média e desvio padrão,  $> TR/TME (0,93 \pm 0,05) > T0/TME (0,87 \pm 0,14) > T0/TIE (0,80 \pm 0,19) > T6/TIE (0,77 \pm 0,04) > TR/TIE (0,74 \pm 0,08) > T6/TSE (0,72 \pm 0,03) = TR/TSE (0,72 \pm 0,12) > T6/TME (0,68 \pm 0,02)$ , conforme verificado na Figura 8.



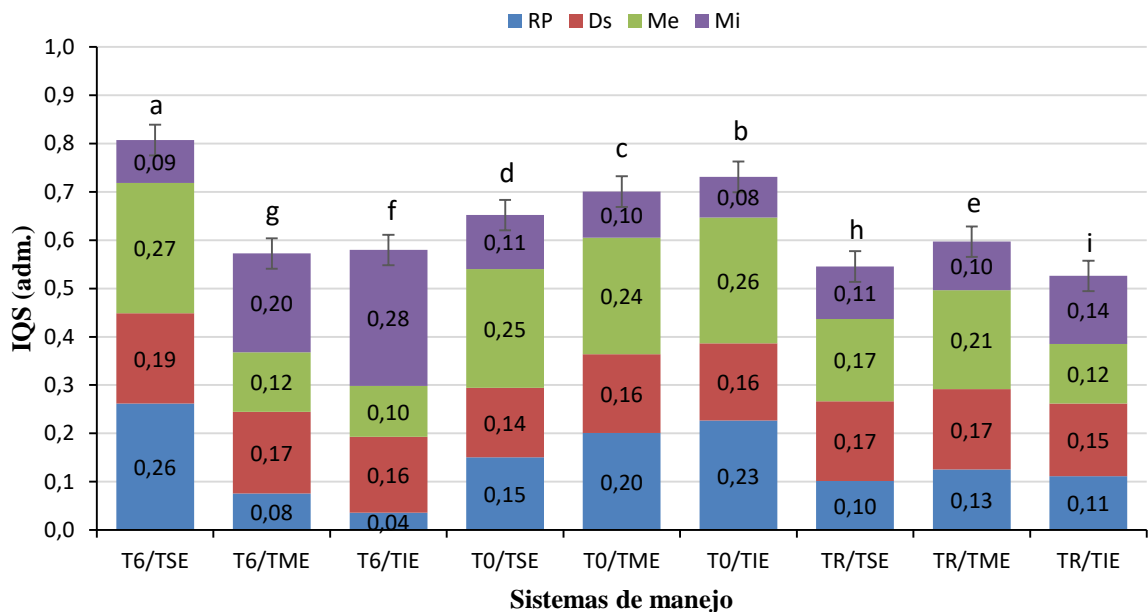
**Figura 8** – Índice de qualidade do solo (IQS) para os horizontes coesos (HC), RT- resistência tênsil, Me – mesoporosidade, T6- área cultivada com eucalipto de seis anos, T0 – área com eucalipto com menos de 1 ano, TR – área de mata nativa, TSE – terço superior da encosta, TME – terço médio da encosta, TIE – terço inferior da encosta.

Os melhores valores de IQS foram identificados no TSE e no TME da área T0 e TR respectivamente, enquanto o TME da área T6 apresentou o pior IQS. A área T0 é a área sob cultivo de eucalipto com menos de um ano, um tempo muito menor em relação a área T6, com eucaliptos de 6 anos e menor aporte de vegetação em relação a área TR de mata nativa. Porém,

vale salientar que antes a área T0 era cultivada com cana-de-açúcar e ao ser retirada foram realizados os preparos do solo, no caso do TSE a subsolagem, que pode estar refletindo no menor valor de RT e maior valor de Me, quando comparamos com o TSE da área TR, que foi o segundo melhor IQS, sendo o TME da área T6 o pior IQS (Tabela 5).

É notado a eficiência do IQS para refletir a real condição do solo, quando é avaliado os valores de outros atributos, sendo que no TSE da área T0 o que apresentou um maior valor de Ksat e menor valor de RP em relação ao TME da área T6, área essa com o pior IQS. Assim, evidencia-se a representatividade de dois atributos (RT e Me) para a identificação da qualidade do solo, uma vez que, a contribuição total da RT para o IQS é de  $4,05 \pm 0,073$ , e da Me o valor de  $3,14 \pm 0,067$ .

Nos HS, após considerar os 13 atributos avaliados, apenas a RP, Ds, Me e Mi foram aqueles que atenderam aos critérios de seleção estabelecidos para o IQS. A sequência resultante dessa análise para o HS, considerando o sentido do maior para o menor IQS, é a seguinte: T6/TSE ( $0,81 \pm 0,08$ ) > T0/TIE ( $0,73 \pm 0,08$ ) > T0/TME ( $0,70 \pm 0,06$ ) > T0/TSE ( $0,65 \pm 0,06$ ) > TR/TME ( $0,60 \pm 0,05$ ) > T6/TIE ( $0,58 \pm 0,10$ ) > T6/TME ( $0,57 \pm 0,06$ ) > TR/TSE ( $0,55 \pm 0,04$ ) > TR/TIE ( $0,53 \pm 0,02$ ), como pode ser visto na Figura 9.



**Figura 9** – Índice de qualidade do solo (IQS) para os horizontes selecionados (HS), RP- resistência a penetração de raízes, Ds- densidade do solo, Me – mesoporosidade, Mi – microporosidade estrutural e biológica, T6- área cultivada com eucalipto de seis anos, T0 – área com eucalipto com menos de 1 ano, TR – área de mata nativa, TSE – terço superior da encosta, TME– terço médio da encosta, TEI – terço inferior da encosta.

O maior IQS foi obtido pelo TSE da área T6, em contrapartida, a área T0 obteve elevados IQS para os HS, sendo o menor valor de IQS para TIE da área TR. Os resultados demonstram que o horizonte selecionado do TSE da área T6 obteve destaque com menores valores de RP e Ds, com maiores valores de PT e Me (Tabela 5), apresentando características importantes de preservação e qualidade do solo, como confirmado pelo IQS. No entanto, é importante salientar que ao se obter maiores quantidades de atributos para a análise de qualidade do solo, tem-se maior representatividade da condição do solo.

O TIE da área TR apresentou o menor valor para o IQS pelos critérios estabelecidos nesse estudo, entretanto, é de extrema importância o estabelecimento dos critérios de acordo com cada condição do solo, além de considerar critérios para cada característica dos horizontes avaliados. Mesmo não apresentando os maiores valores de Ds e RP, associado a um dos menos valores de Me (Tabela 5), o conjunto desses valores foram suficiente para que o TIE da área TR obtivesse o pior IQS.

Nesse estudo, a maior contribuição para a formação do índice de qualidade do solo (IQS) entre os atributos, foi da Me e da Ds, que tiveram as maiores representações com  $1,74 \pm 0,065$  e  $1,46 \pm 0,012$  respectivamente, seguida da RP com valor de  $1,29 \pm 0,074$  e da Mi, com valor de  $1,22 \pm 0,066$ . Esses resultados confirmam aqueles obtidos por meio da análise do IQS, sendo tais atributos de elevada importância para a detecção da condição atual do solo.

Com vistas a ratificar os resultados obtidos nessa pesquisa, observa-se os valores do incremento médio anual (IMA) de madeira da área T6. O TSE possui maior incremento médio com  $54,4 \text{ m}^3/\text{ha}$  ano, seguido do TME  $39,5 \text{ m}^3/\text{ha}$  ano, e com menor IMA, o TIE com  $26,2 \text{ m}^3/\text{ha}$  ano (Tabela 7).

**Tabela 7** – Valores de incremento médio anual de madeira da área com eucaliptos de 6 anos (T6).

Área	Topossequência		
	TSE	TME	TIE
	$\text{m}^3/\text{ha}$ ano		
<b>T6</b>	54,4	39,5	26,2

**Fonte:** Inventário técnico fornecido pela empresa Caetex Florestal.

É importante destacar que os HS sob o TIE e TME da área T6, apresentaram os maiores valores de RT, RP, Ds e MiT, além de menores valores de PT e Me, quando comparado aos HS sob TSE dessa mesma área (Tabela 5). Esses resultados podem esclarecer o menor incremento

de madeira apresentado por essas posições, que vai de acordo com os resultados encontrados por meio do IQS nos HS (Figura 9).

Por outro lado, nos HC sob oTIE e o TME da área T6 apresentaram maiores valores de RP e menores valores de PT e Me, em relação aos HC do TSE dessa mesma área. Assim, foram utilizados no IQS para os HC apenas os atributos RT e Me, atributos esses que atenderam aos critérios estabelecidos no item 3.5. Dessa forma, é possível reforçar a importância da maior representatividade do solo por meio do maior número possível de atributos, como observado no IQS dos HS.

Os resultados obtidos confirmam que a variabilidade dos atributos físicos, que ocorre entre as posições das topossequências, reflete diretamente na produtividade do eucalipto. Segundo Prevedello et al. (2013) e Suzuki et al. (2014) é de grande importância identificar os atributos do solo que afetam a produtividade do eucalipto, uma vez que, segundo Arshad e Martin (2002), a qualidade do solo pode ser alterada pelas mudanças nos valores de um ou mais atributos do solo, sendo necessário identificá-los para propor manejos mais adequados.

## 5. CONCLUSÕES

Os melhores resultados foram encontrados para terço superior da encosta (TSE), como observado na área sob cultivo com eucalipto há seis anos (T6) no HS e com menos de um ano (T0) no HC, sendo as piores condições encostradas no TME da área T6 dos HC e no TIE da área TR dos HS.

As diferentes posições da topossequência, somadas ao caráter coeso dos horizontes estudados, modificam as propriedades do solo, afetando diretamente a produtividade do eucalipto, sendo o TSE a posição que apresentou maior incremento médio anual de madeira e o TIE o menor.

De todos os atributos avaliados aqueles que melhor representam as limitações encontradas nesse estudo são: RP; Ds; RT; PT e DTP, cujos resultados foram comprovados por meio do índice de qualidade do solo (IQS), que representou de forma fiel as condições atuais do solo, sendo necessário levar em consideração os critérios para cada situação avaliada e maior número de atributos possíveis.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. **Anuário estatístico** ABRAF 2013 Ano base 2012 / ABRAF. Brasília: 2013.

ADDINSOFT (2020). XLSTAT statistical and data analysis solution. New York, USA. Disponível em: <<https://www.slstat.com>>.

ALENCAR, T. L.; CHAVES, A. F.; SANTOS, C. L. A.; JÚNIOR, R. N. A.; MOTA, J. C. A. Atributos físicos de um cambissolo cultivado e tratado com biofertilizante na chapada do Apodi, Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n.3, p. 737-749, 2015.

ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. V.; LANDSBERG, J. J.; REZENDE, G. D. Growth and water balance of Eucalyptus grandis hybrid plantations in Brazil during a rotation for pulp production. Elsevier. **Forest Ecology and Management**. v. 251, p. 10–21, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.06.009>>.

ALMEIDA, B. G. **Métodos alternativos de determinação de parâmetros Físicos do solo e uso de condicionadores químicos no estudo da qualidade do solo**. Tese Doutorado. ESALQ/USP. São Paulo, p. 105. 2008.

ALMEIDA, B. G.; ALMEIDA, C. D. G. C.; SANTOS, E. M. S.; MAIA, A. J.; SILVA, T. H. S. “**Permeâmetro contínuo de carga constante e decrescente para determinação de condutividade hidráulica em meios porosos**”, BR1020200132024, Jun 26, 2020.

ALMEIDA, B. G.; FREITAS, P. L.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M.; DONAGEMMA, G. K. Porosidade. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (eds.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3.ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2017a. p. 82-94. ISBN: 978-85-7035-771-7.

ALMEIDA, B. G.; VIANA, J. H. M.; TEIXEIRA, W. G.; DONAGEMMA, G. K. Densidade do solo. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (eds.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3.ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2017b. p. 65-75. ISBN: 978-85-7035-771-7.

ALMEIDA, B. G.; VIANA, J. H. M.; TEIXEIRA, W. G.; DONAGEMMA, G. K. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3ª edição ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, p. 66-75, 2017.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>>.

AMARO FILHO, J.; ASSIS JÚNIOR, R.N.; MOTA, J.C.A. Física do solo: **Conceitos e Aplicações**. Fortaleza: Imprensa Universitária. 2008, 290p.

ARATANI, R. G. et al. Qualidade física de um Latossolo Vermelho acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 3, p. 677-687, 2009.

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.



ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 05, p. 1099-1108, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000500025>>.

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; WILDNER, L. P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa**, v. 29, n. 3, p.425-435, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000300013>>.

ARSHAD, M. A.; MARTIN, S. 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. **Agric. Ecosyst. Environ.** v. 88, p.153–160. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00252-3](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00252-3)>.

ASGARZADEH H.; MOSADDEGHI M.; DEXTER A. R.; MAHBOUBI A. A.; NEYSHABOURI M. R. Determination of soil available water for plants: Consistency between laboratory and field measurements. **Geoderma**, v. 226-227, p. 8-20. 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.02.020>>.

BALIEIRO, F.C.; OLIVEIRA, W. C.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; PICCOLO, M. C.; JACCOUD, C. F. Fertilidade e carbono do solo e uso da água pelo eucalipto numa topossequência em Seropédica, RJ. **Revista Árvore**, v. 32, p. 153-162, 2008.

BAPTISTA, J.; LEVIEN, R. Métodos de preparo de solo e sua influência na erosão hídrica e no acúmulo de biomassa da parte aérea de Eucalyptus saligna em um Cambissolo Háplico da depressão central do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore** 2010; v. 34, p. 567-575. . Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-67622010000400001>>.

BARBIERI, D. M.; MARQUES J. J.; ALLEONI, L. R. F.; GARBUIO, F. J.; CAMARGO, L. A. Hillslope curvature, clay mineralogy, and phosphorus adsorption in an Alfisol cultivated with sugarcane. **Scientia Agrícola**, v. 66, p. 819-826, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-90162009000600015>>.

BARRIOS, E.; COUTINHO, H. L. C.; MEDEIROS, C. A. B. **InPaC-S: Participatory knowledge integration on indicators of soil quality, methodological guide**. World agroforestry, Embrapa and Centro internacional de agricultura tropical. 180p. 2012.

BEAL. Balanço Energético de Alagoas/2014. **Secretaria de Estado do Planejamento e do Desenvolvimento Econômico**. Imprensa Oficial Graciliano Ramos, Maceió-AL, 2015.

BEZERRA, C. E. E.; FERREIRA, T. O.; ROMERO, R. E.; MOTA, J. C. A.; VIEIRA, J. M.; DUARTE, L. R. S.; COOPER, M. Genesis of cohesive soil horizons from north-east Brazil: Role of argilluviation and sorting of sand. **Soil Research**, v. 53, n. 1, p. 43–55, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1071/SR13188>>.

BOCQUIER, G. **Génèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad: interprétation byogéodynamique**. Paris: ORSTOM, 1973. 350 p. (Mémoires ORSTOM, 62).

BOGNOLA, I. A.; DEDECEK, R. A.; LAVORANTI, O. J.; HIGA, A. R. Influência de propriedades físico-hídricas do solo no crescimento de Pinus taeda. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 61, p. 37-49, 2010.

BOOTH, T. H. Eucalypt plantations and climate change. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 301, p. 28-34, 2013.

BHARDWAJ, A. K., JASROTIA, P., HAMILTON, S.K., ROBERTSON, G.P., 2011. Ecological management of intensively cropped agro-ecosystems improves soil quality with sustained productivity. **Agric. Ecosyst. Environ**, v. 140, p. 419-429. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.01.005>>.

BRADY, N.C; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedade dos solos**. Traduzido por Igor Fernando Lepsch. Porto Alegre: Buckman 3.ed. 2013, 686p.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. New Jersey: Prentice Hall, 1996. 639p.

BRAIDA, J. A. Matéria Orgânica e Seu Efeito na Física do Solo. **Tópicos em ciência do solo**, Viçosa, v 7, p. 221-278, 2011.

BRAGA, F. V. A.; REICHERT, J. M.; MENTGES, M. I.; VOGELMANN, E. S. T.; PADRÓN, R. A. R. Propriedades mecânicas e permeabilidade ao ar em topossequência Argissolo-Gleissolo: variação no perfil e efeito de compressão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.1025-1035, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140724>>.

BRAVO, C.; ANDREU, E. 2011. Propiedades físicas y producción de maíz (*Zea mays* L.) en un Alfisol del estado Guárico, Venezuela, bajo dos sistemas de labranza. **Venesuelos**, v. 3, n. 2, p. 62- 68.

BREHM, M. A. da S. **Estabilidade e distribuição do tamanho de agregados em duas topossequências sob pastagem com diferentes níveis de conservação**. 2010, 44 p.il. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba. Areia. 2010.

BREJDA, J. J.; MOORMAN, T. B.; KARLEN, D. L.; DAO, T. H., 2000. Identification of regional soil quality factors and indicators: I. Central and Southern High Plains. **Soil Sci. Soc. Am. J.** v. 64, p. 2115-2124. Disponível em: <<https://doi.org/10.2136/sssaj2000.6462115x>>.

CALONEGO, J.C.; ROSOLEM, C.A. Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotação de culturas e escarificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n., p. 1399-1407, 2008.

CAMARGO, L. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Spatial variability of physical attributes of an alfisol under different hillslope curvatures. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 617-630, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000300003>>.

CAMPOS, M. C. C. Relações solo-paisagem: conceitos, evolução e aplicações. **Ambiência**, Guarapuava, v. 8, n. 3, p. 963 – 982, 2012.

CAMPOS, M. C. C.; BERGAMIN, A. C.; CUNHA, J. M.; OLIVEIRA, I. A. **Caracterização dos atributos do solo em ambiente natural e transformado na região sul do Amazonas**. ed. PUC Goiás, Goiânia, p. 218, 2015.

CARVALHO, J. C.; GITIRANA JUNIOR, G. F. N; MACHADO, S. L.; MASCARENHA, M. M. DOS A.; SILVA FILHO, F. C. **Solos não saturados no contexto geotécnico**. Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2015. 759 p. ISBN 9788567950037

CASSÁRO, F.A.M.; PIRES, L.F.; SANTOS, R.A.; GIMENEZ, D.; E REICHARDT, K. Funil de Haines modificado: Curvas de retenção de solos próximos à saturação. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 32: p. 2555-2562, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000600032>>.

CAVALCANTE, D. M.; SILVA, A. P. F.; ALMEIDA, B. G.; FREIRE, F. J.; SILVA, T. H. S.; CAVALCANTE, F. M. S. Physical soil quality indicators for environmental assessment and agricultural potential of Oxisols under different land uses in the Araripe Plateau, Brazil, **Soil and Tillage Research**, v. 209, p. 104-951, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.still.2021.104951>>.

CINTRA, F. L. D.; RESENDE, R. S.; LEAL, M. L. S.; PORTELA, J. C. Efeito de volumes de água de irrigação no regime hídrico de solo coeso dos Tabuleiros e na produção de coqueiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 33, p. 1041-1051, 2009.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Soil organic matter and other attributes as indicators to evaluate soil quality in conservation systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 5, p. 777-788. 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000500013>>.

CORRÊA, M. M.; ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; SCHAEFER, C. E. G. R.; PEREIRA, T. T. C.; ALMEIDA, C. C. Ácidos orgânicos de baixo peso molecular e ácidos húmicos e alterações em algumas propriedades físicas e químicas de Latossolos, Plintossolo e Neossolo Quartzarênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 121–131, 2008a. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100012>>.

CORRÊA, M. M.; KER, J. C.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; CURI, N.; TORRES, T. C. P. Caracterização física, química, mineralógica e micromorfológica de horizontes coesos e fragipãs de solos vermelhos e amarelos do ambiente Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32 (1), p. 297-313, 2008b. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100028>>.

CROCKFORD, R.; RICHARDSON, D.; 2000. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. **Hydrol. Process.** v. 14, p. 2903–2920. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1002/1099-1085\(200011/12\)14:16/173.O.CO;2-6](http://dx.doi.org/10.1002/1099-1085(200011/12)14:16/173.O.CO;2-6)>.

CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. 2006. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2.ed. Viçosa: Ed. UFV, v. 2, 585p

DALMAGO, G. A.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I.; KRÜGER, C. A. M. B.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Retenção e disponibilidade de água às plantas, em solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. [sn], p. 855-864, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000700007>>.

DANE, J.H.; HOPMANS, J.W. Water retention and storage. In: DANE, J.H; TOPP, G.C. (Ed). **Methods of soil analysis: Part 4 – physical methods**. Madison: American Society of America, 2002. p. 671-720.

DANTAS, J.S.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M.V.; RESENDE, J.M.A.; CAMARGO, L.A.; BARBOSA, R.S. Gênese de solos coesos do leste maranhense: Relação solo-paisagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1039-1050, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000400001>>.

DEDECEK, R. A.; GAVA, J.L. Influência da compactação do solo na produtividade da rebrota de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 29, n. 3, p. 383-390, 2005.

DEMATTE, J. L. I.; MAZZA, J. A.; DEMATTE, J. A. M. Caracterização e gênese de uma topossequência Latossolo Amarelo – Podzol originado de material da Formação Barreiras – Estado de Alagoas. **Scientia Agrícola** vol. 53, n. 1, p. 20–30, jan./abr. 1996. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-90161996000100004>>.

DEXTER, A.R.; KROESBERGEN, B. Methodology for determination of tensile strength of soil aggregates. **Journal Agricultural Engineering Research**, New York, v. 31, n. 2, p. 139-147, 1985.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. **Defining soil quality for sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America Proceedings, 1994. p. 03-21.

DUARTE, M. N.; CURI, N.; PEREZ, D. V.; KAMPF, N.; CLAESSEN, M. E. C. Mineralogia, química e micromorfologia dos solos de uma microbacia nos Tabuleiros Costeiros do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 1237-1250, 2000. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000000600021>>.

DRUMOND, M. A.; LIMA, P. C. F.; OLIVEIRA, V. R. **Competição de Espécies/Procedências de Eucaliptos no Sertão do Submédio São Francisco**. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/145213/1/OPB310.pdf>> Acesso em 19/01/2019.

DYMOND, S. F.; BRADFORD, J. B.; BOLSTAD, P. V.; KOLKA, R. K.; SEBESTYEN, S. D.; DESUTTER, T. M. Topographic, edaphic, and vegetative controls on plant-available water. **Ecohydrology**, v. 10, n. 8, p. 1–12, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/eco.1897>>.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília: EMBRAPA, 2013. 353p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. e ampl. - Brasília, DF. 2018. 356 p. ISBN: 978-85-7035-817-2

ENCINAS, J. I.; SILVA, G. F.; PINTO, J. R. R. **Idade e crescimento das árvores**. Comunicações Técnicas Florestais. Brasília: UNB, 2005, 43p, v. 7, n. 1.

ESPINDOLA, C. R. Material de origem do solo. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 38, n. 1, p. 59-70, 2017.

FANG, X.N.; ZHAO, W.; WANG, L.; FENG, Q.; DING, J.; LIU, Y.; ZHANG, X. Variations of deep soil moisture under different vegetation types and influencing factors in a watershed of the Loess Plateau, China. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 20, p. 3309-3323, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.5194/hess-20-3309-2016>>.

FERRAZ, S. F. B.; LIMA, W. P.; RODRIGUES, C. B.; 2013. Managing forest plantation landscapes for water conservation. **For. Ecol. Manage.** v. 301, p. 58–66. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.015>>.

FONTANA, A.; VIANA, J. H. M.; DONAGEMMA, G. K.; ALMEIDA, B. G.; CORREA, J. C. O.; OLIVEIRA, E. M. Preparo de amostras e separação de terra fina, cascalho e calhaus. In: **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3ª ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017, p. 21-28. ISBN: 978-85-7035-771-7.

FORRESTER, D.I.; MEDHURST, J.L.; WOOD, M.; BEADLE, C. L.; VALENCIA, J. C. Growth and physiological responses to silviculture for producing solid-wood products from Eucalyptus plantations: an Australian perspectiva. **For. Ecol. Manage.**, 2010, v. 259, p. 1819–1835. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.08.029>>.

FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, V. M. R. Atributos químicos de Latossolo vermelho submetido a diferentes manejos. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 45, n. 2, p. 229-240, 2015

GATTO, A.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; COSTA, L. M.; NEVES, J. C. L. Efeito do método de preparo do solo, em área de reforma, nas suas características, na composição mineral e na produtividade de plantações de Eucalyptus grandis. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 1-15, 2003.

GEE, G. W.; OR, D. Particle-size analysis. In: DANE, J. H.; TOPP, G. C. (Ed.). **Methods of soil analysis. Part 4. Physical methods**. Madison: SSSA Book Series No. 5, 2002. p. 255-293.

GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P. Conceitos sobre solos coesos e hardsetting. **Scientia Agricola**, v. 59, p. 613-620, 2002. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-90162002000300030>>.

GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P.; IMHOFF, S.; DEXTER, A.R. Contribution of natural soil compaction on hardsetting behavior. **Geoderma**, v. 113, p. 95-108, 2003. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(02\)00333-6](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00333-6)>.

GOMES, L. O. **Eucalipto Final**. Logestrategia. Maceió-AL. 2014. Disponível em: <[http://www.logestrategia.com.br/cms/assets/uploads/\\_PUBLICACOES/\\_PDF/f405e06001c8252b3108f5e5773d33d5\\_EUCALIPTO%20FINAL.pdf](http://www.logestrategia.com.br/cms/assets/uploads/_PUBLICACOES/_PDF/f405e06001c8252b3108f5e5773d33d5_EUCALIPTO%20FINAL.pdf)>. Acesso em 25 de setembro de 2019.

GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; LACLAU, J.P.; BOUILLET, J.P.; RANGER, J. Assessing the effects of early silvicultural management on long-term site productivity of fast-growing eucalypt plantations: the Brazilian experience. **Southern Forests**, Grahamstown, v. 70, n. 2, p. 105-118, 2008.

GONÇALVES, J.L.M.; DEMATTÊ, J.L.I.; COUTO, H.T.Z. **Relações entre a produtividade de sítios florestais de Pinus taeda e Pinus elliottii com as propriedades de alguns solos de textura arenosa e média no Estado de São Paulo**. São Paulo: IPEF, p. 24-39, 1990. (Boletim Técnico IPEF, n. 43/44)

GUIMARÃES, R.M.L.; TORMENA, C.A.; ALVES, S.J.; FIDALSKI, J. & BLAINSKI, E. Tensile strength, friability and organic carbon in an oxisol under a crop-livestock system. **Sci. Agric.**, v. 66, p. 499-505, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-90162009000400011>>.

GRANATSTEIN, D.; BEZDICEK, D.F. The need for a soil quality index: Local and regional perspectives. **Am. J. Altern. Agric.**, v. 7, p. 12-16, 1992. Disponível em: <<https://doi.org/10.1017/S0889189300004380>>.

GREGORICH, E.G.; CARTER, M.R.; ANGERS, D.A.; MONREAL, C.M.; ELLERT, B.H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. **Can. J. Soil Sci.**, v. 74, p. 367-385, 1994. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4141/cjss94-051>>.

GLOVER, J. D.; REGANOLD, J. P.; ANDREWS, P. K. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. **Agriculture, ecosystems and environment**, v. 80, n. 1, p. 29-45. 2000. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(00\)00131-6](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(00)00131-6)>.

HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6.ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688p.

HAWTHORNE, S.; MINIAT, C. F. Topography may mitigate drought effects on vegetation along a hillslope gradient. **Ecohydrology**, v. 11, n. 1825, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/eco.1825>>.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. San Diego: Academic Press, 1998. 771p.

HUBER, A.; OYARZÚN, E.; 1983. Precipitación neta e intercepción en un bosque adulto de *Pinus radiata* (D. Don). **Bosque**, v. 5, p. 13–21. Disponível em: <<https://doi.org/10.4206/bosque.1983.v5n1-02>>.

IAN, H. Above ground biomass and nutrient uptake of three tree species (*Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus grandis* and *Dalbergia sissoo*) as affected by irrigation and fertiliser, at 3 years of age, in southern India. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 144, n. 1/3, p. 189-200, 2001.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. SIDRA – Banco de tabelas estatísticas. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**. Disponível em: <[https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/74/pevs\\_2019\\_v34\\_informativo.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/74/pevs_2019_v34_informativo.pdf)>. Acesso em: 23 nov. 2020.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; DEXTER, A.R. Factors contributing to the tensile strength and friability of Oxisols. **Soil Science Society American Journal**, Amsterdam, v. 66, n. 3, p. 1656-1661, 2002.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES-IBÁ, 2015. **Relatório anual IBÁ 2015**. Disponível em: <<http://iba.org/pt/biblioteca-iba/publicacoes>>. Acesso em: 06.02.21.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES-IBÁ. **Árvores Plantadas: Agroindústria sustentável**. Ano 01. Ed. 01. Set. 2016.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 79, n. 1, p. 9- 16, 2000.

IVANOV, V. Y.; FATICHI, S.; JENERETTE, G. D.; ESPELETA, J. F.; TROCH, P. A.; HUXMAN, T. E. Hysteresis of soil moisture spatial heterogeneity and the “homogenizing” effect of vegetation. **Water Resources Research**, v. 46, n. 9, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1029/2009WR008611>>.

JACOMINE, P. K. T. Distribuição geográfica, características e classificação dos solos coesos dos tabuleiros costeiros. In.: Reunião técnica sobre solos coesos dos tabuleiros costeiros, 1., 1996. Aracaju, **Anais**. Aracaju: Embrapa Cpatc/Embrapa-Cnpmf/Agrufba/Igufba, 1996. 80 p.

JENNY, H. **Factors of soil formation**: a system of quantitative pedology. New York; London: McGraw Hill Book Company, 1941. 281p.

JUHÁSZ, C. E. P.; CURSI, P.R.; COOPER, M.; OLIVEIRA, T.C.; RODRIGUES, R. R.; Dinâmica físico-hídrica de uma topossequência de solos sob Savana Florestada (Cerradão) em Assis, SP., **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 3, 2006.

KARLEN, D.L.; STOTT, D.E.; 1994. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: Doran, J.W. et al. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Sci. Soc. Am. 53-72.

KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2. ed. American Society of Agronomy, Madison, Part 1, 1986, p. 425-442.

KORNER, C. Concepts in empirical plant ecology. **Plant Ecology & Diversity**, v. 11, p. 405-428, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/17550874.2018.1540021>>.

LACLAU, J. P.; ARNAUD, M.; BOUILLET, J. P.; RANGER, J. 2001. Spatial distribution of eucalypt roots in a deep sandy soil in the Congo: relationships with the ability of the stand to take up water and nutrients. **Tree Physiol.** v. 21, p. 129–136. DOI: Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/treephys/21.2-3.129>>.

LACLAU, J.P.; RANGER, J.; GONÇALVES, J.L.M.; MAQUERÉ, V.; KRUSCHE, A.V.; M’BOU, A.T.; NOUVELLON, Y.; LAURENT, S.A.; BOUILLET, J.P.; PICCOLO, M.C.; DELEPORTE, P. Biogeochemical cycles of nutrients in tropical Eucalyptus plantations Main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, n. 9, p. 1771-1785, 2010.

LIEBIG, M. A.; VARVEL, G. E.; DORAN, J. W.; 2001. A simple performance-based index for assessing multiple agroecosystem functions. **Agron. J.**, v. 93, p. 313-318. Disponível em: <<https://doi.org/10.2134/agronj2001.932313x>>.

LIMA NETO, J. A.; RIBEIRO, M. R.; CORRÊA, M. M.; JÚNIOR SOUZA, V. S.; LIMA, J. F. W. F.; FERREIRA, R. F. A. L. Caracterização e gênese do caráter coeso em latossolos amarelos e argissolos dos tabuleiros costeiros do estado de alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 1001–1011, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000400024>>.

LIMA, A., G.; SALCEDO, I. H.; FRAGA, V. S. **Composição botânica e cobertura do solo de pastagens de Brachiaria, em função da forma e posição no relevo**. In: Fertilidade do solo e produção de biomassa no Semi-árido. Ed. universitária da UFPE, Recife, p. 89-104, 2008.

LIMA, F. V.; SILVINO, G. S.; SOUZA MELO, R. S.; LIRA, E. C.; RIBEIRO, T. S. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em área de encosta sob processo de degradação. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 4, p. 53-63, 2015a.

LIMA, C.G.R.; CARVALHO, M.P.; NARIMATSU, K.C.P.; SILVA, M.G.; QUEIROZ, H.A. Atributos físico-químicos de um latossolo vermelho do cerrado brasileiro e sua relação com características dendrométricas do eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 163-173, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000100017>>.

LIMA, H. V.; SILVA, A. P.; JACOMINE, P. T. K.; ROMERO, R. E.; LIBARDI, P. L. Identificação e caracterização de solos coesos no estado do Ceará. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, v. 28, p. 467- 476. 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000300008>>.

LIMA, H.V.; SILVA H. P.; ROMERO R. E.; JACOMINE P. T. K. Physical behavior of a gray cohesive argisol in Ceara state. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 33–40. 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000100004>>.

LIMA, I. L.; GARCIA, J. N. Efeito do desbaste e da fertilização na porcentagem de casca e conicidade de toras de *Eucalyptus grandis*. Curitiba: **Floresta**, abr./jun. 2011, v. 41, n. 2, p. 305-312.

LIMA, R. P.; ROLIM, M. M.; OLIVEIRA, V. S.; SILVA, A. R.; PEDROSA, E. M.; FERREIRA, R. L.C. Load-bearing capacity and its relationships with the physical and mechanical attributes of cohesive soil. **Journal of Terramechanics**, v. 58, p. 51–58. 2015b. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jterra.2015.01.001>>.

LIU, X.; HE, Y.; ZHANG, T.; ZHAO X.; LI, Y.; et al. The response of infiltration depth, evaporation, and soil water replenishment to rainfall in mobile dunes in the Horqin Sandy land, Northern China. **Environmental Earth Sciences**, v. 73, p. 8699-8708, 2015.

MAIA, J. L. T.; RIBEIRO, M. R. Propriedades de um Argissolo Amarelo fragipânico de Alagoas sob cultivo contínuo da cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 79-87, 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000100012>>.

MARASCA, I.; GLADENUCCI, J.; SPADIM, E. R.; BARBOSA, R. D.; LANÇAS, K. P. 2017. Geoestatística aplicada na determinação da compactação do solo no cultivo da cana-de-açúcar. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 2, p. 49-55. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.32404/rean.v4i2.1462>>.

MARCELO, V.F.; ALMEIDA, B.G.; ARAÚJO FILHO, J.C.; SOUZA, S.L.W. Disponibilidade hídrica de solo coeso sob a ação de poliácridamida: qualidade física ambiental. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**. Rio de Janeiro, n. 42, p. 12-25, 2016.

MARQUES, J. D. O.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M.; CRUZ JUNIOR, O. F.; MARTINS, G. C. Avaliação da condutividade hidráulica do solo saturada utilizando dois métodos de laboratório numa toposequência com diferentes coberturas vegetais no baixo amazonas. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 38(2), p. 193-206, 2008.



- MARTINI, E.; WOLLSCHLÄGER, U.; KÖGLER, S.; BEHRENS, T.; DIETRICH, P.; REINSTORF, F.; SCHMIDT, K.; WEILER, M.; WERBAN, U.; ZACHARIAS, S. Spatial and Temporal Dynamics of Hillslope-Scale Soil Moisture Patterns: Characteristic States and Transition Mechanisms. **Vadose Zone Journal**, v. 14, n. 4, p. 0, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.2136/vzj2014.10.0150>>.
- MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; FERREIRA, M. M. Avaliação de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes povoamentos florestais. **Cerne**, v. 8, n. 1, p. 32-41, 2002. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=74408103>>.
- MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; ALVARENGA, M. I. N.; VIEIRA, F. B. M. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 06, p. 2461-2470, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000600023>>.
- MELO FILHO, J. F.; CARVALHO, L. L.; SILVEIRA, D. C.; SACRAMENTO, J. A. A. S.; SILVEIRA, E. C. P. Índice de qualidade em um latossolo amarelo coeso cultivado com citros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 04, p. 1168-1177, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-29452009000400034>>.
- MELO, D. V. M.; ALMEIDA, B. G.; SOUZA, E. R.; SILVA, S. S.; JACOMINE, P. K. T. Qualidade estrutural de solos coesos dos tabuleiros costeiros de Pernambuco tratados com Poliacrilamida. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 38, n. 2, p. 476-485. 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000200012>>.
- MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 963-969, 2004.
- MEIRELES, H. T.; MARQUES JÚNIOR, J.; CAMPOS, M. C. C.; PEREIRA, G. T. Relações solo-paisagem em topossequência de origem basáltica. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 129-136, 2012.
- MILNE, G. 1935. **Some suggested units of classification and mapping, particularly for east African soils**. Soil Research, v. 4, p. 183-198.
- MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada**. Belo Horizonte: UFMG, 2007. 297 p.
- MITCHELL, P.J.; BENYON, R.G.; LANE, P.N.J. Responses of evapotranspiration at different topographic positions and catchment water balance following a pronounced drought in a mixed species eucalypt forest, Australia. **Journal of Hydrology**, v. 440, p. 62- 74, 2012.
- MISRA, R.K.; GIBBONS, A.K. Growth and morphology of eucalypt seedling-roots, in relation to soil strength arising from compaction. **Plant Soil**, v. 182, p. 1-11, 1996. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/42946501>>.
- MONTANARI, R.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M. de. Forma da paisagem como critério para otimização amostral de latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 1, p. 69- 77, 2005.
- MOTTA, D.; DINIZ, E. N.; FERNANDES, W. Rentabilidade na plantação de eucalipto. In: Seminário de Excelência em Gestão e Tecnologia, **Resende**. VII SEGET, 2010.

- MUKHOPADHYAY, S.; MASTO, R. E.; YADAV, A.; GEORGE, J.; RAM, L. C.; SHUKLA, S.P.; 2016. Soil quality index for evaluation of reclaimed coal mine spoil. **Sci.Total Environ.** v. 542, p. 540–550. . Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.035>>.
- MCCABE, M. F.; RODELL, M., ALSDORF, D. E.; MIRALLES, D. G.; UIJLENHOET, R.; WAGNER, W.; LUCIEER, A.; HOUBORG, R.; VERHOEST, N.; FRANZ, T.; SHI, J.; GAO, H.; WOOD, E. F. The future of Earth observation in hydrology. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, v. 21, p. 3879-3914, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.5194/hess-2017-54>>.
- NASCIMENTO, P. C.; BISSANI, C. A.; LEVIEN, R.; LOSEKANN, M. E.; FINATO, T. Uso da terra e atributos de solos do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 9, p. 920-926, 2014.
- NIMMO, J. R.; PERKINS, K. S. Aggregate stability and size distribution. In: DANE, J. H.; TOPP, G. C. (Eds.). **Methods of soil analysis: physical methods**. Madison: Soil Science Society of America, 2002. p. 317-328.
- ORTIZ, J. L.; VETTORAZZI, C. A.; COUTO, H. T. Z.; GONÇALVES, J. L. M. Relações espaciais entre o potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e do relevo. **Scientia Forestalis**, São Paulo, 2006; v. 72: p. 67-79.
- PAIVA, A.Q.; SOUZA, L.S.; RIBEIRO A.C.; COSTA, L.M. Propriedades físico-hídricas de solos de uma topossequência de Tabuleiro do estado da Bahia. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 2295-2302, 2000.
- PAN, Y. X.; WANG, X. P.; ZHANG, Y. F.; HU, R. Spatio-temporal variability of root zone soil moisture in artificially revegetated and natural ecosystems at an arid desert area, NW China. **Ecological Engineering**. v. 9, p. 100–112, 2015.
- PARK, S. J.; BURT, T. P. Identification and characterization of pedogeomorphological processes on a hillslope. **Soil Science Society American Journal**, v. 66, n. 06, p. 1897-1910, 2002. Disponível em: <<https://doi.org/10.2136/sssaj2002.1897>>.
- PEREIRA, V. H. C.; CESTARO, L. A. A Unidade Geoambiental Tabuleiro Costeiro e o planejamento municipal: o caso de Senador Georgino Avelino/RN. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v. 3, n. 4, p. 390-401, 2012.
- PEREIRA, T. T. C.; KER, J. C.; ALMEIDA, C. C. Qualidade de solos cultivados com eucalipto na região central de Minas Gerais: atributos físicos, químicos e mineralógicos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, vol. 7, p. 706-713, 2012. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=11902545500>>.
- PEZARICO, C. R.; VITORINO, A. C. T.; MERCANTE, F. M.; DANIEL, O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista Ciências Agrárias**, Belém, v. 56, n. 1, p. 40-47, 2013.
- PINHEIRO JUNIOR, C.R.; PEREIRA, M.G.; SOUZA, J.O.; FILHO, J.B. S. Can topography affect the restoration of soil properties after deforestation in a semiarid ecosystem. **Journal of Arid Environments**, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2018.11.004>>.

PREVEDELLO, J.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; VOGELMANN, E. S.; FONTANELA, E.; REICHERT, J. M., 2013. Manejo do solo e crescimento inicial de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em argissolo. **Ciência Florestal**, v. 23, p. 129–138. Disponível em: <<https://doi.org/10.5902/198050988447>>.

PREVEDELLO, C.L.; ARMINDO, R. A. **Física do solo com problemas resolvidos - 2ª** Edição revisada e ampliada. Curitiba: C. L. Prevedello, 2015. 474p. ISBN: 8590757420.

RAB, M.A. Soil physical and hydrological properties following logging and slash burning in the *E. regnans* forest of Southern Australia. **Forestry Ecology Management**, v. 84, p. 159-176, 1996. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/0378-1127\(96\)03740-1](https://doi.org/10.1016/0378-1127(96)03740-1)>.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. 4. ed. rev. amp. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 445p.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera. Conceitos, processos e aplicações**. 1. ed. São Paulo, 2007. 203p.

REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J. A.; GUBIANI, P. I.; KAISER, D. R.; MINELLA, J. P. G.; REINERT, D. J. Hidrologia do solo, disponibilidade de água às plantas e zoneamento agroclimático. In: FILHO, O. K.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C. Ed: **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, v. 7, p. 1-54, 2011.

REICHERT, J. M.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J.; RODRIGUES, M. F.; SUZUKI, L. E. A. S. Land use effects on subtropical, sandy soil under sandization/desertification processes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 233, p. 370-380, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.09.039>>.

REICHERT, J. M.; RODRIGUES, M. F.; PELÁEZ, J. J. Z.; LANZA, R.; MINELLA, J. P. G.; ARNOLD, J. G.; CAVALCANTE, R. B. L. Water balance in paired watersheds with eucalyptus and degraded grassland in Pampa biome. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 237-238, p. 282-295, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.02.014>>.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p.1-48.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 29-48, 2003.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo: protótipos e teste. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6, p. 1931 – 1935. 2006.

REYNOLDS, W.D.; ELRICK, D.E. **Constant head well permeameter. Methods of soil analysis**. Part 4. Physical Methods (Soil Science Society of America Book Series), vol. 5 2002.

REZENDE, J. O. **Solos coesos dos tabuleiros costeiros: limitações agrícolas e manejo**. Salvador: SEAGRI-SPA, 2000. 117 p.

RIGATTO, P.A.; DEDECEK, R.A.; MATOS, J.L.M. Influência dos atributos do solo sobre a qualidade da madeira de *Pinus taeda* para produção de celulose Kraft. **Revista Árvore**, v. 28, p. 267-273, 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-67622004000200013>>.

RODOLFO JUNIOR, F.; ARAÚJO, L.G.; SOUZA, R.Q.; BATISTA, F.P.S.; OLIVEIRA, D.N.S.; LACERDA, M.P.C. Relações Solo-Paisagem em Toposequências na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal. **Nativa**, v. 3, p. 27-35, 2015.

ROMANO, N.; HOPMANS, J.W.; DANE, J.H. Suction table. In: DANE, J.H. & TOPP, G.C., eds. **Methods of soil analysis**. Madison, Soil Science Society of America, 2002. p. 692-698.

ROSA, S. F.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; FLEIG, F. D.; RODRIGUES, M. F.; GELAIN, N. S. Propriedades físicas e químicas de um argissolo sob cultivo de *Eucalyptus dunnii* maiden no pampa gaúcho. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 580-590, 2018.

SANCHEZ, R. B.; JÚNIOR, J. M.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T.; FILHO, M. V. M. Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedoformas. **Bragantia**, v. 68, p. 1095-1103, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0006-87052009000400030>>.

SANTANA, M. B.; SOUZA, L. S.; SOUZA, L. D.; FONTES, L. E. F. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 30, p. 1-12, 2006.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; LEITE, H. G.; COMERFORD, N. B.; NOVAIS, R. F. Estimativa de biomassa de plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Árvore**, v. 32, n. 4, p. 697-706, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-67622008000400011>>.

SANTAROSA, E.; SANTOS, A. F.; BELLOTE, A. F. J.; FILHO, E. P.; ANDRADE, G. C.; AUER, C. G.; QUEIROZ, D. L.; SILVA, H. D.; OLIVEIRA, E. B.; WENDLING, I.; NEVES, E. J. M.; GOULART, I. C. G. R.; IEDE, E. T. **Cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda**. EMBRAPA. Brasília DF. 2014. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/121607/1/ApostilaSerieTTEucalipto.pdf>>. Acesso em 19 de setembro 2019.

SANTOS, E.M.S. **Desenvolvimento de permeâmetro para determinação da condutividade hidráulica de solos em laboratório**. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, p. 51. 2020.

SEYBOLD, C.A.; MAUSBACH, M.J.; KARLEN, D.L. & ROGERS, H.H. Quantification of soil quality. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLET, R.F. & STEWART, B.A., eds. Soil processes and the carbon cycle. Boca Raton, **CRC Press**, 1998. p. 387-404.

SCHAETZL, R. J. Catenas and Soils. **Treatise on Geomorphology**, v. 4, p. 145-158, 2013

SILVA, A. J. N.; RIBEIRO, M. R.; MERMUT, A. R.; BENKE, M. B. Influência do cultivo contínuo da cana-de-açúcar em Latossolos Amarelos coesos do Estado de Alagoas: propriedades micromorfológicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 515-525, 1998.

SILVA, M. B.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; NASCIMENTO, R. A. M. Estudo de topossequência da Baixada Litorânea Fluminense: efeitos do material de origem e posição topográfica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 965-976, 2001.

SILVA, S. R.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; PEREIRA, P. R. G. Eficiência Nutricional De Potássio E Crescimento De Eucalipto Influenciados Pela Compactação Do Solo. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, n. 1, p. 1001–1010, 2002. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000400018>>.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V.; LIMA, J. F. W. F. Efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um argissolo amarelo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 833-842, 2005.

SILVA, A. J. N. DA.; CARVALHO, F. G. DE. Coesão e resistência ao cisalhamento relacionadas a atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 853–862, 2007. . Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000500003>>.

SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F.; LIBARDI, P. L.; GONÇALVES, A. N.; 2013. Fertilizer management of eucalypt plantations on sandy soil in Brazil: initial growth and nutrient cycling. **For. Ecol. Manag.** v. 301, p. 67–78. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.033>>.

SILVA, R. L.; MATIAS, S. S. R.; LOBATO, M.G. R.; NÓBREGA, J. C. A. Atributos físicos do solo em diferentes coberturas vegetais na região sul do Piauí. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 3, p. 160-168, 2014.

SILVA, M. Z. F.; FREITAS, E. P.; MESSIAS, R. M.; SOUSA, C. F.; NASCIMENTO, M. A. Análise sobre um perfil do solo no município de Taboleiro Grande/RN. **Revista do Ceres**, Natal, v. 1, n. 2, p. 62-68, 2015.

SILVA, A. J.; CUNHA, F. F.; ROQUE, C. G.; SILVA, M. D. T.; RIBEIRO, D. O.; CARBALLAL, M. R. Replacement of liming and NPK fertilization with Turkey litter in degraded areas grown with *Urochloa decumbens*. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 39, n. 2, p. 467–475, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2018v39n2p467>>.

SICHE, R.; AGOSTINHO, F.; ORTEGA, E.; ROMEIRO, A. Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. **Ambiente e Sociedade**, Campinas, v. X, n. 2, p. 137-148. 2007.

SOBRAL, L.F.; IVO, W.M.P.M.; RANGEL, J.H.A.; CINTRA, F.L.D. Avaliação Crítica da História de Uso dos Solos nos Tabuleiros Costeiros do Nordeste do Brasil. In: ARAUJO, Quintino Reis (Org.). **500 Anos de Uso do Solo no Brasil**. Ilheus, BA: Editus, 2002. 605 p.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T. 2004. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 937-944. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000600001>>.

SOUZA, L.S.; SOUZA, L.D.; CALDAS, R.C. Identificação da coesão com base em atributos físicos convencionais em solos dos Tabuleiros Costeiros. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS. Aracaju, 2001. **Anais**: Aracaju: EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 2001, p. 169-190.

SUZUKI, L. E. A. S.; LIMA, C. L. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; PILLON, C. N. Estrutura e armazenamento de água em um Argissolo sob pastagem cultivada, floresta nativa e povoamento de eucalipto no Rio Grande do Sul. **Rev. Brasil. Ciência Solo**. v. 38, p. 94–106, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000100009>>.

SHARMA, K. L.; MANDAL, U. K.; SRINIVAS, K.; VITTAL, K. P. R.; MANDAL, B.; GRACE, J. K.; RAMESH, V. 2005. Long-term soil management effects on crop yield and soil quality in a dry land alfisol. **Soil Tillage Res.** v. 83, p. 246–259. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2004.08.002>>.

SHERWOOD, S.; UPHOFF, N. Soil health: Research, practice and policy for a more regenerative agriculture. **Appl. Soil Ecol.**, v. 15, p. 85-97, 2000. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00074-3](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00074-3)>.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M.G. Eucalyptus production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. **For. Ecol. Manage**, 2004, v. 193, p. 17–31. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.01.020>>.

THEODOROU, C.; CAMERON, J.N.; BOWEN, G.D. Growth of roots of different Pinus radiata genotypes at different strength and aeration. **Australian Forestry Resources**, v. 54, p. 52-59, 1991. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/00049158.1991.10674556>>.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **European Journal of Soil Science**, v. 33, n. 2, p. 141-161, jun. 1982. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1982.tb01755.x>>.

TOPP, G. C.; FERRÉ, P. A. Water content. In J. H. Dane e G. C. Topp (Eds.), SSSA book series: 5. **Methods of soil analysis Part 4-Physical methods** (pp.417-446). Madison, WI: Soil Science Society of America Inc. 2002.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. (1998). Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 22, p. 573-581. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s0100-06831998000400002>>.

VALENTE, M. L.; REICHERT, J. M.; LEGOUT, C.; TIECHER, T.; CAVALCANTE, R. B. L.; EVRARD, O. Quantification of sediment source contributions in two paired catchments of the Brazilian Pampa using conventional and alternative fingerprinting approaches. **Hydrological Processes**, v. 34, p. 2965-2986, 2020. . Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/hyp.13768>>.

VAN GENUCHTEN, M. T. A. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.

VAN LIER, Q. J. Disponibilidade de água às plantas. In: DE JONG VAN LIER, Q. (Ed.). Física do Solo. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 283-298, 2010.

VIEIRA, J. M.; ROMERO, R. E.; FERREIRA, T. O.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Contribuição de material amorfo na gênese de horizontes coesos em Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**. Fortaleza, v. 43, n. 4, p. 623-632, out/dez. 2012.

WHALLEY, W. R. TO, J.; KAY, B. D.; WHITMORE, A. P.; 2007. Prediction of the penetrometer resistance of soils with models with few parameters. **Geoderma**, v. 137, p. 370–377. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.08.029>>.

WATTS, C.W.; DEXTER, A. R. Soil friability: Theory, measurement and the effects of management and organic carbon content. **European Journal of Soil Science**, v. 49, p. 73-84, 1998. . Disponível em: <<https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.1998.00129.x>>.

YANG, L.; CHEN, L.D.; WEI, W. Effects of vegetation restoration on the spatial distribution of soil moisture at the hillslope scale in semi-arid regions. **Catena**, v. 124, p. 138-146, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.09.014>>.

ZONTA, E.; BRASIL, F.; GOI, S.R.; ROSA, M.M.T. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: FERNANDES, M.S., ed. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 7-52.

## **ANEXOS**



## ANEXO A – Tabela de Resumo da ANOVA

**Tabela 8** – Resumo ANOVA: Tukey (HSD) 5%.

	RT	Ksat	RP	Ds	PT	Ma	Me	Mi	MiT	DMP	DMG	AGRI	IEA
R <sup>2</sup>	0,918	0,721	0,864	0,822	0,803	0,519	0,759	0,884	0,945	0,343	0,423	0,331	0,668
F	23,769	5,472	13,427	9,785	8,637	2,283	6,660	16,173	36,530	1,103	1,552	1,046	4,261
Pr > F	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0,018	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0,388	0,132	0,438	0,000
Área	89,925	17,116	24,410	18,655	39,513	1,808	8,681	44,424	205,881	0,980	1,198	0,879	0,957
	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0,178	0,001	< 0.0001	< 0.0001	0,385	0,313	0,424	0,394
Posição	16,156	7,716	19,394	12,556	7,367	6,041	7,283	1,608	2,973	2,548	4,118	2,179	12,483
	< 0.0001	0,002	< 0.0001	< 0.0001	0,002	0,005	0,002	0,214	0,064	0,092	0,025	0,128	< 0.0001
Horizonte	58,915	2,990	12,610	46,778	20,333	3,113	21,217	32,356	0,995	0,006	0,010	0,000	8,104
	< 0.0001	0,092	0,001	< 0.0001	< 0.0001	0,086	< 0.0001	< 0.0001	0,325	0,941	0,920	0,994	0,007
Área*Posição	5,432	0,391	18,705	2,276	3,025	2,018	5,577	16,601	17,572	0,510	0,492	0,436	3,881
	0,002	0,814	< 0.0001	0,080	0,030	0,113	0,001	< 0.0001	< 0.0001	0,729	0,742	0,781	0,010
Área*Horizonte	5,503	1,172	8,387	0,950	2,040	2,888	7,236	11,515	40,835	0,365	0,426	0,363	1,997
	0,008	0,321	0,001	0,396	0,145	0,069	0,002	0,000	< 0.0001	0,697	0,656	0,698	0,150
Posição*Horizonte	33,915	3,022	1,366	0,060	2,293	0,822	1,565	9,580	14,634	2,730	3,855	2,600	4,947
	< 0.0001	0,061	0,268	0,942	0,116	0,448	0,223	0,000	< 0.0001	0,079	0,030	0,088	0,013
Área*Posição*Horizonte	8,107	7,604	8,428	11,504	2,993	1,128	5,043	10,481	5,272	0,865	1,300	0,998	2,011
	< 0.0001	0,000	< 0.0001	< 0.0001	0,031	0,359	0,002	< 0.0001	0,002	0,494	0,288	0,421	0,114

RT – resistência tênsil de agregados, Ksat – condutividade hidráulica saturada, RP – resistência a penetração de raízes, Ds – densidade do solo, PT – porosidade total, Ma – macroporosidade, Me – mesoporosidade, Mi – microporosidade estrutural e biológica, MiT – microporosidade textural, DMP – diâmetro médio ponderado, DMG – diâmetro médio geométrico, AGRI – porcentagem de agregados maiores que 2 mm, IEA – índice de estabilidade de agregados.

## **ANEXO B - LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso petroplântico argissólico.**

### **A - DISCRIÇÃO GERAL**

#### **Perfil: T0 - Topo**

DATA: 12/03/2020

CLASSIFICAÇÃO – LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso petroplântico argissólico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Saindo da Usina Caeté-Maceió/AL, passando na ponte do Rio Mirim, segue sentido a São Luis do Quintude por 2,6 km, pegando uma estrada vicinal a direita sentido Fazenda Edwiges, após 4,7 km pega a direita, depois de 1 km inicia a topossequência. Coordenadas: 09° 27,165'S e 35° 41,06'W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Topo plano à suave ondulado

ALTITUDE - +/- 83 m

LITOLOGIA E CRONOLOGIA – Sedimentos do Grupo Barreiras do Período Paleogeno.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de alteração dos sedimentos supracitados.

PEDREGOSIDADE – Endopedregosa (concrecionária).

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL – Plano e suave ondulado.

EROSÃO – Laminar ligeira.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta subperenifólia.

USO ATUAL – Eucalipto com menos de 1 ano de idade.

CLIMA DESCRITO E COLETADO POR – José Coelho, Talmo Henrique, Fagna Maria e Tamires Leal.

## **B - DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

Ap 0 – 10 cm, (10 YR 4/3, úmida), (10 YR 5/3, seca); franco-argiloarenosa; fraca à moderada, pequena à média, blocos subangulares e granular; ligeiramente dura à dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; plana e clara.

AB 10 – 32 cm, (10 YR 5/4, úmida), (10 YR 6/4, seca); argilo-arenosa; fraca, pequena à média, blocos angulares e partes maciças; muito dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa; plana e gradual.

BA 32– 55 cm, (10 YR 6/6, úmida), (10 YR 7/4, seca); argilo-arenosa; fraca, pequena à média, blocos angulares e partes maciças; muito dura, friável à firme, plástica e pegajosa; plana e clara.

Bwc 55 – 75 cm, (7,5 YR 6/6, úmida); argilo-arenosa; fraca, pequena á média, blocos subangulares e angulares; dura, friável à firma, plástica e pegajosa; plana e clara.

Bw 75 – 120 cm, (7,5 YR 6/6, úmida); argilo-arenosa; fraca, pequena à média, blocos subangulares e angulares; ligeiramente dura à dura, friável, plástica e pegajosa; plana e difusa.

BC 120 – 170+ cm, (2,5 YR 6/6, úmida); abundante, grande, distinto, (7,5 YR 5/4); argilo-arenosa; fraca, pequena à média, blocos subangulares e angulares; ligeiramente dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa.

RAÍZES – Poucas finas no Ap e raras finas no AB, BA, Bwc e Bw e BC.

### **OBSERVAÇÕES:**

- Poros comuns, pequenos e poucos médios no Ap e AB, muitos poros muitos pequenos no BA, muitos poros muitos pequenos e poucos pequenos nos Bwc, Bw e BC;
- Camada concrecionária (30 – 50% de concreções) com espessura de 15 a 25 cm numa profundidade média de 65 cm, ocorrem concreções ferruginosas em um volume inferior a 5% no horizonte Bw;
- Interpenetração de matéria orgânica em poros de atividade biológica e de raízes;
- O horizonte com carácter coeso está representado pelo BA, porém inicia no AB.



**Figura 10** – LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso petroplântico argissólico (T0-TSE) e vista da paisagem do topo da topossequência.

## **ANEXO C - ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso latossólico**

### **A - DISCRIÇÃO GERAL**

#### **Perfil: T0 – Terço Médio Encosta (Alto)**

DATA: 12/03/2020

CLASSIFICAÇÃO – ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso latossólico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Saindo da Usina Caeté-Maceió/AL, passando na ponte do Rio Mirim, segue sentido a São Luis do Quintude por 2,6 km, pegando uma estrada vicinal a direita sentido Fazenda Edwiges, após 4,7 km pega a direita, depois de 1 km inicia a topossequência. Coordenadas: 09° 27,180'S e 35° 40,983'W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Terço médio da encosta com declividade de 15 – 20 %.

ALTITUDE - +/- 72 m

LITOLOGIA E CRONOLOGIA – Sedimentos do Grupo Barreiras do Período Paleogeno.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produtos de alteração dos sedimentos supracitados.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Ondulado.

RELEVO REGIONAL – Ondulado e forte ondulado.

EROSÃO – Laminar ligeira e moderada.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta subperenifólia.

USO ATUAL – Eucalipto com menos de 1 ano de idade.

CLIMA DESCRITO E COLETADO POR – José Coelho, Talmo Henrique, Fagna Maria e Tamires Leal.

## B - DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap 0 – 14 cm, (10 YR 3/3, úmida), (10 YR 5/3, seca); franco-argiloarenosa; fraca à moderada, pequena à média, blocos subangulares, granular e grãos simples; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; plana e clara.

AB 14 – 32 cm, (10 YR 4/3, úmida), (10 YR 6/3, seca); franco-argiloarenosa; fraca, pequena à média, blocos subangulares e angulares; ligeiramente dura e dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa; plana e gradual.

BA 32– 60 cm, (10 YR 5/4, úmida), (10 YR 6/4, seca); argilo-arenosa; fraca, pequena à média, blocos subangulares, angulares e partes maciças; muito dura, friável à firme, plástica e pegajosa; plana e gradual.

Bt1 60 – 130 cm, (10 YR 7/8, úmida); argilo-arenosa; fraca, pequena á média, blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa; plana e difusa.

Bt2 130 – 190+ cm, (5 YR 7/8, úmida); argilo-arenosa; fraca, pequena à média, blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa.

RAÍZES – Comuns, finas no Ap, poucas finas no AB, e raras finas nos BA, Bt1 e Bt2.

### OBSERVAÇÕES:

- Muitos poros pequenos e poros médios no Ap e AB, muitos poros muito pequenos e poucos médios no BA, Bt1 e Bt2;
- Presença de concreções ferruginosas (menos de 5%) e alguns grãos de quartzo no horizonte Bt2;
- O horizonte com caráter coeso está representado pelo BA;
- Interpenetração de matéria orgânica em poros de atividade biológica e raízes;
- O horizonte Bt apresenta aspecto latossólico.
- A classe textural identificada em campo do horizonte Ap foi a (Franco-arenosa)



**Figura 11** – ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso latossólico (T0-TME) e vista da paisagem do terço médio da encosta alto.

## ANEXO D - ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso latossólico

### A - DISCRICÃO GERAL

#### **Perfil: T0 – Terço Inferior Encosta (Baixo)**

DATA: 12/03/2020

CLASSIFICAÇÃO – ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso latossólico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDANADAS – Saindo da Usina Caeté-Maceió/AL, passando na ponte do Rio Mirim, segue sentido a São Luis do Quintude por 2,6 km, pegando uma estrada vicinal a direita sentido Fazenda Edwiges, após 4,7 km pega a direita, depois de 1 km inicia a topossequência. Coordenadas: 09° 27,181'S e 35° 40,972'W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Terço Inferior da encosta com declividade de 15 – 20 %.

ALTITUDE - +/- 72 m

LITOLOGIA E CRONOLOGIA – Sedimentos do Grupo Barreiras do Período Paleogeno.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produtos de alteração dos sedimentos supracitados.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Ondulado.

RELEVO REGIONAL – Ondulado e forte ondulado.

EROSÃO – Laminar ligeira e moderada.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta subperenifólia.

USO ATUAL – Eucalipto com menos de 1 ano de idade.

CLIMA DESCRITO E COLETADO POR – José Coelho, Talmo Henrique, Fagna Maria e Tamires Leal.



## B - DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap 0 – 14 cm, (10 YR 3/3, úmida), (10 YR 5/3, seca); franco-argiloarenosa; fraca à moderada, pequena à média, blocos subangulares, granular e grãos simples; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; plana e clara.

AB 14 – 32 cm, (10 YR 5/4, úmida), (10 YR 6/4, seca); argilo-arenosa; fraca, pequena à média, blocos subangulares, angulares e partes maciças; dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa; plana e gradual.

BA 32– 60 cm, (10 YR 6/6, úmida), (10 YR 7/6, seca); argilo-arenosa; fraca, pequena à média, blocos subangulares, angulares e partes maciças; muito dura e extremamente dura, friável à firme, plástica e ligeiramente pegajosa; plana e gradual.

Bt1 60 – 120 cm, (7,5 YR 6/6, úmida); argilo-arenosa; fraca, pequena á média, blocos subangulares; ligeiramente dura à dura, friável, plástica e pegajosa; plana e difusa.

Bt2 120 – 190+ cm, (5 YR 6/6, úmida); argilo-arenosa; fraca, pequena à média, blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, plástica e pegajosa.

RAÍZES – Comuns, finas no Ap, poucas finas no AB, e raras finas nos BA, Bt1 e Bt2.

### OBSERVAÇÕES:

- Poros comuns, pequenos e muitos pequenos no Ap, poucos poros pequenos e muitos muito pequenos no AB, muitos poros muito pequenos no BA, muitos poros muitos pequenos e poucos pequenos no Bt1 e Bt2;
- A coesão máxima ocorre no horizonte BA e inicia no AB;
- O horizonte com caráter coeso está representado pelo BA;
- Interpenetração de matéria orgânica em poros de atividade biológica e raízes;
- Solo com aspecto latossólico nos horizontes Bt1 e Bt2.
- A classe textural identificada em campo do horizonte Ap foi a (Franco-arenosa)



**Figura 12** - ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso latossólico (T0-T1E) e vista da paisagem do terço médio da encosta baixa.

## **ANEXO E - LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso típico**

### **A - DISCRICÃO GERAL**

#### **Perfil: T6 - TOPO**

DATA: 10/03/2020

CLASSIFICAÇÃO – LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso típico, A moderado, textura argilosa, fase relevo plano, floresta subperenifólia.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Fazenda Cachoeira-Maceió/AL, partindo da ponte Rio Mirim no sentido Flexeira a 1,2 km, virando à esquerda e imediatamente pegando a esquerda andando mais 1,2 km, virando à esquerda na chã, andando mais 100 m e virar à esquerda, anda mais 500 m e está na topossequência. Coordenadas: 09° 25, 866'S e 35° 44, 681'W

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Topo plano a suave ondulado de chã com 0 - 3 % de declive.

ALTITUDE - +/- 126 m

LITOLOGIA E CRONOLOGIA – Sedimentos do Grupo Barreiras do período Terciário (Paleogeno).

MATERIAL ORIGINÁRIO – Sedimentos argiloarenoso.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Plano.

RELEVO REGIONAL – Plano e suave ondulado.

EROSÃO – Laminar ligeira.

DRENAGEM – Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta subperenifólia.

USO ATUAL – Eucalipto com cerca de 7 anos de idade.

CLIMA DESCRITO E COLETADO POR – José Coelho, Talmo Henrique, Fagna Maria e Tamires Leal.

## B - DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap 0 – 13 cm, (10 YR 3/2, úmida), (10 YR 5/2, seca); argilo-arenosa; fraca à moderada, pequena à média, blocos subangulares e granular; dura, friável, plástica e pegajosa; plana e clara.

AB 13 – 26 cm, (10 YR 4/4, úmida), (10 YR 5/3, seca); argila; fraca à moderada, pequena à média, blocos subangulares e angulares; dura à muito dura, friável, muito plástica e pegajosa; plana e gradual.

BA 26 – 44 cm, (10 YR 5/4, úmida); muito argilosa; maciça e fraca, pequena à média, blocos angulares e subangulares; extremamente dura, friável à firme, muito plástica e pegajosa; plana e gradual.

Bw1 44 – 100 cm, (10 YR 6/3, úmida); muito argilosa; maciça e fraca, pequena à média, blocos angulares e subangulares; friável à firme, muito plástica e pegajosa; plana e difusa.

Bw2 100 – 160+ cm, (7,5 YR 6/6, úmida); muito argilosa; fraca, pequena à média, blocos subangulares e angulares; friável, muito plástica e pegajosa.

RAÍZES – Muitas finas, comuns médias e raras grossas em Ap e AB; comuns médias e finas no BA; raras finas em Bw1 e Bw2.

### OBSERVAÇÕES:

- Solo ligeiramente úmido, a partir de 44 cm de profundidade;
- Presença de raras concreções ferruginosas em Bw1 e Bw2 (< 5%);
- Muitos poros pequenos e poucos médios em Ap, AB e BA, muitos poros muitos pequenos e poucos pequenos em Bw1 e Bw2;
- A coesão inicia no BA atingindo o máximo em Bw1 e diminui significativamente em Bw2.



**Figura 13** - LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso típico (T6-TSE) e vista da paisagem do topo da topossequência.

## **ANEXO F - ARGISSOLO VERMELHO Distrófico típico**

### **A - DISCRIÇÃO GERAL**

#### **Perfil: T6 - Terço Médio Encosta**

DATA: 11/03/2020

CLASSIFICAÇÃO – ARGISSOLO VERMELHO Distrófico típico, A moderado, textura média-argilosa, fase relevo forte ondulado, floresta subperenifólia.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Fazenda Cachoeira-Maceió/AL, partindo da ponte Rio Mirim no sentido Flexeira a 1,2 km, virando à esquerda e imediatamente pegando a esquerda andando mais 1,2 km, virando à esquerda na chã, andando mais 100 m e virar à esquerda, anda mais 500 m e está na topossequência. Coordenadas: 09° 25, 926'S e 35° 44, 525'W

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Terço médio de encosta com 20 - 40 % de declive.

ALTITUDE - +/- 93 m

LITOLOGIA E CRONOLOGIA – Rochas cristalinas (granitos e gnaisses) do Pré-cambriano com influência de sedimentos na superfície.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Mistura de material de sedimentos na superfície e de rochas cristalinas na base do perfil.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Forte ondulado.

RELEVO REGIONAL – Forte ondulado e ondulado.

EROSÃO – Laminar ligeira e moderada.

DRENAGEM – Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta subperenifólia.

USO ATUAL – Eucalipto com cerca de 7 anos de idade.

CLIMA DESCRITO E COLETADO POR – José Coelho, Talmo Henrique, Fagna Maria e Tamires Leal.

## B - DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap 0 – 17 cm, (10 YR 3/2, úmida), (10 YR 4/2, seca); argilo-arenosa; fraca à moderada, pequena à média, blocos subangulares e granular; ligeiramente dura à dura, friável, plástica e pegajosa; plana e clara.

AB 17 – 30 cm, (10 YR 4/4, úmida), (10 YR 5/4, seca); comum, médio, distinto (10 YR 5/8); argilo-arenosa; fraca, pequena à média, blocos subangulares e angulares; friável, plástica e pegajosa; plana e clara.

BA 30– 60 cm, (5 YR 6/8, úmida); argila; fraca, pequena à média, blocos angulares e subangulares; friável à firme, muito plástica e pegajosa; plana e gradual.

Bt1 60 – 100 cm, (2,5 YR 6/8, úmida); muito argilosa; fraca à moderada, pequena á média, blocos angulares e subangulares; friável à firma, muito plástica e muito pegajosa; plana e gradual.

Bt2 100 – 180+ cm, (2,5 YR 4/6, úmida); argila; fraca à moderada, pequena à média, blocos angulares e subangulares; friável à firme, muito plástica e pegajosa.

RAÍZES – Comuns, finas e poucas médias no Ap e AB; raras finas no BA, Bt1 e Bt2.

### OBSERVAÇÕES:

- O terceiro horizonte tem aspecto maciço que se desfaz numa estrutura fraca que se desfaz em bloco;
- Interpenetração de matéria orgânica em poros de atividade biológica e de raízes no terceiro horizonte;
- Presença de cerosidade comum e fraca no quarto horizonte, e cerosidade abundante e moderada no último horizonte;
- Muitos poros pequenos e muitos pequenos no Ap e AB, poucos poros pequenos e muitos poros muitos pequenos no BA, no Bt1 e Bt2 muitos poros pequenos;
- Presença de alguns veios de quartzo de tamanho (grãos) de 2 - 4 mm;
- Solo ligeiramente úmido a partir de 20 cm de profundidade;
- Observações de torrão seco mostra consistência dura no AB e BA.



**Figura 14 - ARGISSOLO VERMELHO** Distrófico típico (T6-TME) e vista da encosta.



## **ANEXO G - ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrocoeso latossólico**

### **A - DISCRIÇÃO GERAL**

#### **Perfil: T6 - Terço Inferior Encosta**

DATA: 11/03/2020

CLASSIFICAÇÃO – ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrocoeso latossólico, A moderado, textura média-argilosa, fase relevo forte ondulado, floresta subperenifólia.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Fazenda Cachoeira-Maceió/AL, partindo da ponte Rio Mirim no sentido Flexeira a 1,2 km, virando à esquerda e imediatamente pegando a esquerda andando mais 1,2 km, virando à esquerda na chã, andando mais 100 m e virar à esquerda, anda mais 500 m e está na topossequência. Coordenadas: 09° 25, 940'S e 35° 44, 531'W

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Terço inferior de encosta com 20 - 30 % de declive.

ALTITUDE - +/- 71 m

LITOLOGIA E CRONOLOGIA – Rochas cristalinas (granitos e gnaisses) do Pré-cambriano com influência de sedimentos na superfície.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Mistura de materiais de rochas cristalinas e sedimentos.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Forte ondulado.

RELEVO REGIONAL – Forte ondulado e ondulado.

EROSÃO – Laminar ligeira e moderada.

DRENAGEM – Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta subperenifólia.

USO ATUAL – Eucalipto com cerca de 7 anos de idade.

CLIMA DESCRITO E COLETADO POR – José Coelho, Talmo Henrique, Fagna Maria e Tamires Leal.

## B - DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap 0 – 16 cm, (10 YR 3/2, úmida), (10 YR 5/2, seca); franco-argiloarenosa; fraca à moderada, pequena à média, blocos subangulares e granular; ligeiramente dura à dura, friável, plástica e pegajosa; plana e clara.

AB 16 – 35 cm, (10 YR 4/3, úmida), (10 YR 5/3, seca); argilo-arenosa; fraca, pequena à média, blocos subangulares e angulares; dura, friável, plástica e pegajosa; plana e gradual.

BA 35– 65 cm, (5 YR 6/6, úmida); argilo-arenosa; fraca, muito pequena à média, blocos angulares e subangulares; muito dura, friável à firme, muito plástica e pegajosa; plana e gradual.

Bt1 65 – 120 cm, (5 YR 5/8, úmida); muito argilosa; fraca, pequena á média, blocos subangulares; friável à firma, muito plástica e pegajosa; plana e difusa.

Bt2 120 – 180+ cm, (5 YR 5/8, úmida); comum, médio à grande, difuso, (7,5 YR 6/6); argila; fraca à moderada, pequena à média, blocos angulares; friável à firme, muito plástica e pegajosa.

RAÍZES – Muitas finas e poucas médias no Ap e AB; raras finas no BA, Bt1 e Bt2.

### OBSERVAÇÕES:

- Solo úmido a partir de 60 cm de profundidade;
- Presença de fragmentos de quartzo arredondados abaixo de 120 cm de profundidade e grande quartzos arredondados nos horizontes superficiais;
- Interpenetração de matéria orgânica em poros de atividade biológica e de raízes no terceiro horizonte;
- Presença de cerosidade comum e fraca no quarto horizonte, e cerosidade abundante e moderada no último horizonte;
- Poros comuns pequenos e poucos médios no Ap e AB, muitos poros muitos pequenos no BA, Bt1 e Bt2.



**Figura 15** - ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrocoeso (T6-TIE) e rocha representativa do solo do (TME e TIE).

**ANEXO H - ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrocoesos  
petroplíntico**

**A - DISCRIÇÃO GERAL**

**Perfil: TR – Topo (Terço Superior)**

DATA: 13/03/2020

CLASSIFICAÇÃO – ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrocoesos petroplíntico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Tomando como base o T1-Topo, fazendo retorno em sentido a Flexeira e em 10,4 km virar à esquerda na borda da chã e aos 11 km virar à esquerda novamente seguindo pela borda da chã e aos 11,2 km pegar a direita, em 11,3 km inicia-se a topossequência da mata. Coordenadas: 09° 26, 226'S e 35° 44, 544'W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Terço superior da encosta com declividade de 10 – 20 %.

ALTITUDE - +/- 122 m

LITOLOGIA E CRONOLOGIA – Sedimentos do Grupo Barreiras do Período Paleogeno.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produtos de alteração dos sedimentos supracitados.

PEDREGOSIDADE – Endopedregosa (concrecionária)

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Ondulado.

RELEVO REGIONAL – Ondulado e forte ondulado.

EROSÃO – Laminar ligeira.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta subperenifólia.

USO ATUAL – Vegetação nativa.

CLIMA DESCRITO E COLETADO POR – José Coelho, Talmo Henrique, Fagna Maria e Tamires Leal.

## **B - DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

A 0 – 15 cm, (10 YR 2/2, úmida); argilo-arenosa; fraca à moderada, pequena à média, blocos subangulares e granular; friável, plástica e pegajosa; plana e clara.

AB 15 – 33 cm, (10 YR 3/3, úmida); argila; fraca à moderada, pequena à média, blocos subangulares e angulares; friável, plástica e pegajosa; plana e clara.

Bt1 33– 70 cm, (7,5 YR 4/6, úmida); muito argilosa; fraca, pequena à média, blocos angulares, subangulares e partes maciças; friável à firme, muito plástica e pegajosa; plana e gradual.

Bt2 70 – 135 cm, (5 YR 5/8, úmida); muito argilosa; fraca, pequena á média, blocos subangulares e angulares; friável, muito plástica e pegajosa; ondulada e clara.

BCc 135 – 180+ cm, (2,5 YR 5/8, úmida); muito argilosa; fraca, pequena à média, blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa.

RAÍZES – Muitas finas, comuns, médias e grossas no A, comuns, finas e poucas médias no AB, raras finas no Bt1, raras finas e médias no Bt2, raras finas no BCc.

### **OBSERVAÇÕES:**

- Solo descrito no estado úmido
- A coesão máxima ocorre no horizonte BA e inicia no AB;
- O horizonte com máxima coesão é o terceiro (Bt1);
- Muitos poros pequenos, muitos pequenos e poucos médios no A, muitos poros muitos pequenos, poucos pequenos e médios no AB, muitos poros muitos pequenos e poucos pequenos no Bt1, muitos poros muitos pequenos, poucos pequenos e médios no Bt2, muitos poros muitos pequenos no BCc;
- Interpenetração de matéria orgânica em parte do AB e no Bt1;
- Presença de concreções ferruginosas em volume de 10 – 20% no horizonte BCc;
- Camada orgânica de 2 – 5 cm de espessura com resto folhas, restos de ramos, raízes em vários estados de decomposição.



**Figura 16 - ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO** Distrocoeso petroplântico (TR-TSE) e vista da paisagem do topo da topossequência

## ANEXO I - LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso típico

### A - DISCRIÇÃO GERAL

**Perfil: TR – Terço Médio Encosta**

DATA: 13/03/2020

CLASSIFICAÇÃO – LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso típico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDANADAS – Tomando como base o T1-Topo, fazendo retorno em sentido a Flexeira e em 10,4 km virar à esquerda na borda da chã e aos 11 km virar à esquerda novamente seguindo pela borda da chã e aos 11,2 km pegar a direita, em 11,3 km inicia-se a topossequência da mata. Coordenadas: 09° 26, 233'S e 35° 44, 517'W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Terço médio da encosta com declividade de 20 – 25 %.

ALTITUDE - +/- 110 m

LITOLOGIA E CRONOLOGIA – Sedimentos do Grupo Barreiras do Período Paleogeno.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produtos de alteração dos sedimentos supracitados.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Forte ondulado.

RELEVO REGIONAL – Ondulado à forte ondulado.

EROSÃO – Laminar ligeira.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta subperenifólia.

USO ATUAL – Vegetação nativa.

CLIMA DESCRITO E COLETADO POR – José Coelho, Talmo Henrique, Fagna Maria e Tamires Leal.

## B - DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0 – 15 cm, (10 YR 3/2, úmida); franco-argiloarenosa; fraca à moderada, pequena à média, blocos subangulares e granular; friável, plástica e ligeiramente pegajosa; plana e clara.

AB 15 – 33 cm, (10 YR 4/3, úmida); argilo-arenosa; fraca, pequena à média, blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa; plana e clara.

Bw1 33– 65 cm, (10 YR 6/6, úmida); argilo-arenosa; fraca, pequena à média, blocos subangulares, angulares e partes maciças; friável à firme, muito plástica e pegajosa; plana e gradual.

Bw2 65 – 130 cm, (7,5 YR 6/8, úmida); argilo-arenosa; fraca, pequena à média, blocos subangulares; friável, muito plástica e pegajosa; plana e gradual.

BC 130 – 200+ cm, (5 YR 6/8, úmida); argilo-arenosa; fraca, pequena à média, blocos subangulares e partes maciças (concreções claras); friável e extremamente firme, muito plástica e pegajosa.

RAÍZES – Muitas finas, poucas médias e grossas no A, comuns finas, poucas médias e grossas no AB, raras finas e médias no Bw1 e Bw2, raras finas no BC.

### OBSERVAÇÕES:

- As concreções de cor clara apresentam tamanho predominante de 1 – 5 cm em quantidade de 20 – 30%;
- Muitos poros pequenos e poucos médios no A, muitos poros pequenos, muitos pequenos e poucos médios no AB, poros muitos pequenos no Bw1, muitos poros muitos pequenos e pouco médios no Bw2 e BC.





**Figura 17** - LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso típico (TR-TME) e vista da paisagem do terço médio da encosta.

## **ANEXO J – LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso típico**

### **A - DISCRIÇÃO GERAL**

**Perfil: TR – Terço Inferior Encosta**

DATA: 13/03/2020

CLASSIFICAÇÃO – LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso típico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Tomando como base o T1-Topo, fazendo retorno em sentido a Flexeira e em 10,4 km virar à esquerda na borda da chã e aos 11 km virar à esquerda novamente seguindo pela borda da chã e aos 11,2 km pegar a direita, em 11,3 km inicia-se a topossequência da mata. Coordenadas: 09° 26, 241'S e 35° 44, 510'W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Terço inferior da encosta com declividade de 20 – 25 %.

ALTITUDE - +/- 105 m

LITOLOGIA E CRONOLOGIA – Sedimentos do Grupo Barreiras do Período Paleogeno.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produtos de alteração dos sedimentos supracitados.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Forte ondulado.

RELEVO REGIONAL – Ondulado à forte ondulado.

EROSÃO – Laminar ligeira.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta subperenifólia.

USO ATUAL – Vegetação nativa.

CLIMA DESCRITO E COLETADO POR – José Coelho, Talmo Henrique, Fagna Maria e Tamires Leal.

### **B - DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

A 0 – 18 cm, (10 YR 3/2, úmida); franco-argiloarenosa; fraca à moderada, pequena à média, blocos subangulares e granular; friável, plástica e ligeiramente pegajosa; plana e clara.

AB 18 – 40 cm, (10 YR 4/3, úmida); argilo-arenosa; fraca e partes moderada, pequena à média, blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa; plana e gradual.

Bw1 40– 80 cm, (7,5 YR 6/6, úmida); argilo-arenosa; fraca, pequena à média, blocos angulares e subangulares; friável à firme, muito plástica e pegajosa; plana e gradual.

Bw2 80 – 130 cm, (7,5 YR 6/6, úmida); argilo-arenosa; fraca, pequena á média, blocos subangulares; friável à firme, muito plástica e pegajosa; plana e difusa.

BC 130 – 200+ cm, (5 YR 6/6, úmida); argila; fraca, pequena à média, blocos subangulares; friável à firme, muito plástica e pegajosa.

RAÍZES – Muitas finas, poucas médias e grossas no A, comuns finas e poucas médias no AB, raras finas no Bw1 e Bw2 e BC.

#### OBSERVAÇÕES:

- Muitos poros pequenos e poucos médios no A, muitos poros pequenos, muitos pequenos e poucos médios no AB, poros muitos pequenos no Bw1, muitos poros muitos pequenos e pouco médios no Bw2 e BC;
- Presença de concreções claras crescentes com a profundidade a partir do horizonte Bw1, no horizonte Bw1 ocorre menos de 2%, no horizonte Bw2 de 2 – 3% e no horizonte BC e ao redor do BC, tamanho médio das concreções de 1 – 5 cm;
- Interpenetração de matéria orgânica do T3-Topo;
- Solo descrito no estado úmido, com dificuldade de encontrar o caráter coeso;
- Coloração intermediária entre 7,5 e 5 YR no Bw2, porém mais próxima de 7,5 YR.



**Figura 18** - LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso típico (TR-TIE) e vista da paisagem do terço inferior da encosta.