

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ  
CAMPUS PROFESSORA CINOBELINA ELVAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
MESTRADO EM SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

ATRIBUTOS FÍSICOS E HÍDRICOS DO SOLO EM POVOAMENTOS DE  
CLONES DE *Eucalyptus* spp. COM PLANTAS MORTAS E VIVAS

BOM JESUS - PI  
2016

NAYANA ALVES PEREIRA

ATRIBUTOS FÍSICOS E HÍDRICOS DO SOLO EM POVOAMENTOS DE  
CLONES DE *Eucalyptus* spp. COM PLANTAS MORTAS E VIVAS

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas, para obtenção do título de “Mestre” em Agronomia, na área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. Dr. João Carlos Medeiros

BOM JESUS – PI  
2016

FICHA CATALOGRÁFICA  
Universidade Federal do Piauí  
Biblioteca Setorial de Bom Jesus  
Serviço de Processamento Técnico

P436a

Pereira, Nayana Alves.

Atributos físicos e hídricos do solo em povoamentos de clones de *Eucalyptus* spp. com plantas mortas e vivas. / Nayana Alves Pereira. – 2016.  
58 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas, Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Bom Jesus, 2016.

Orientação: “Prof. Dr. João Carlos Medeiros”.

1. Solo – Atributos. 2. Estrutura do solo. 3. Déficit hídrico.  
4. Eucalipto. I. Título.

CDD 631.498

NAYANA ALVES PEREIRA

ATRIBUTOS FÍSICOS E HÍDRICOS DO SOLO EM POVOAMENTOS DE  
CLONES DE *Eucalyptus* spp. COM PLANTAS MORTAS E VIVAS

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas, para obtenção do título de “Mestre” em Agronomia, na área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas.

APROVADA em 09 de julho de 2016

Dr. João José da Silva Júnior (UnB)

Dr. Julian Júnio de Jesús Lacerda (CPCE/UFPI)

Dr<sup>a</sup>. Jaqueline Dalla Rosa (CPCE/UFPI)

Dr<sup>a</sup>. Bruna Anair Souto Dias (CPCE/UFPI)

---

Dr. João Carlos Medeiros  
(Orientador)

BOM JESUS - PI  
2016

## **BIOGRAFIA**

Nayana Alves Pereira, filha de Maria da Conceição Alves do Nascimento e Raimundo Alves Pereira. Nasceu em 30 de agosto de 1989 na cidade de Teresina-PI, é Engenheira Agrônoma, formada na Universidade Federal do Piauí (UFPI), em 2014. Em setembro de 2014 ingressou no curso de mestrado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal do Piauí, no campus Professora Cinobelina Elvas (Bom Jesus-PI).

*“Então andarás com confiança no teu caminho e não tropeçará o teu pé.”*

*(Provérbios 3:23)*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela sabedoria e por me dá forças ao longo dessa jornada.

À minha mãe e meu pai, pelo apoio e amor incondicional;

Ao orientador João Carlos Medeiros e co-orientadora Jaqueline Dalla Rosa, pela amizade, paciência e ensinamentos repassados ao longo da caminhada.

Ao co-orientador Julian Júnio, por cada minuto de amizade, humildade e dedicação ao alunado;

Aos professores de Engenharia Florestal: Bruna e Gláucio, pelo apoio, incentivo e contribuições para o meu trabalho;

À todos os professores da pós-graduação que contribuíram na realização desse título e por fazerem o campus ser vez dia melhor;

Aos meus familiares, em especial, à minha avó materna Maria de Jesus do Nascimento e ao casal de velhinhos: Maria e França, avós paternos.

À minha madrinha pelos conselhos e por acreditar em mim; Aos sobrinhos mais amados: Eduardo, Camila, Ana Clarice e Miguel.

Às minhas irmãs: Aninha, Josélia e Maricélia, pelo exemplo de mulheres que são e por tudo que representaram na formação do meu caráter.

Ao meu namorado, Gerson Araújo, pelo amor, paciência e compreensão nos momentos de estresse;

Aos moradores da República Dokuchaev: Keilane e Antonny, minha família enquanto estive fora de casa.

A Mara, pela amizade e preocupação com o meu bem estar.

Aos amigos do laboratório de Física do Solo e companheiro de R.U: Daiane, Paula, Maria, Elias, Lucão, Rafaelzinho e Celiomar.

Ao trio de amigos Kleiton, Jeová, Igor pelos momentos extrovertidos nas horas mais desesperadoras do dia;

À CAPES, pela bolsa de estudos concedida;

À Fazenda Chapada Grande, pela oportunidade do trabalho realizado e financiamento do projeto.

## Sumário

RESUMO GERAL.....	I
GENERAL ABSTRACT.....	II
LISTA DE TABELAS.....	III
LISTA DE FIGURAS.....	IV
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
HIPÓTESE.....	3
OBJETIVOS.....	4
<i>Geral</i> .....	4
<i>Específicos</i> .....	4
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	5
2.1 PLANTIO DE EUCALIPTO NO BIOMA CERRADO.....	5
2.2 IMPORTÂNCIA DA ÁGUA PARA O EUCALIPTO.....	5
2.3 A ÁGUA NO SOLO.....	7
2.3.1 <i>Curva de retenção da água no solo</i> .....	8
2.3.2 <i>Capacidade de água disponível no sol</i> .....	8
2.3.3 <i>Condutividade hidráulica saturada</i> .....	9
2.4 QUALIDADE DO SOLO.....	9
2.5 INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO.....	11
2.5.1 <i>Indicadores de qualidade física do solo</i> .....	11
2.5.2 <i>Índice S de Dexter</i> .....	11
2.5.3 <i>Grau de compactação</i> .....	12
2.5.4 <i>Estrutura do solo</i> .....	13
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	15
CAPITULO 2.....	21
ATRIBUTOS FÍSICOS E HÍDRICOS DO SOLO EM POVOAMENTOS DE CLONES DE <i>EUCALYPTUS</i> SPP. COM PLANTAS MORTAS E VIVAS.....	21
RESUMO.....	21
ABSTRACT.....	22
INTRODUÇÃO.....	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42



## RESUMO GERAL

PEREIRA, Nayana Alves. **Atributos físicos e hídricos do solo em povoamentos de clones de *Eucalyptus* spp. com plantas mortas e vivas.** 2016. 50p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Piauí, PI<sup>1</sup>.

O cultivo de eucalipto no estado do Piauí é relativamente recente e tem apresentado crescimento nos últimos anos. No entanto, a sobrevivência das plantas de eucalipto tem se tornado um problema frequente. Os atributos físicos e hídricos do solo alteram a dinâmica da água no solo e podem provocar efeitos diretos e indiretos na sobrevivência das árvores. Neste intuito, o trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar os atributos físicos e hídricos do solo em povoamentos de clones de *Eucalyptus* spp. em áreas de plantio comercial de eucalipto com plantas mortas e vivas. Estudou-se, portanto, duas áreas na fazenda Chapada Grande-Real Agropecuária, no município de Regeneração-PI onde, em uma delas as plantas de eucalipto estavam vivas, enquanto na outra área, as plantas de eucalipto estavam mortas. Foram avaliados 5 perfis de solo dentro de cada área, coletando-se amostras deformadas e indeformadas de solo, para análise dos atributos físicos e hídricos. A amostragem do solo foi realizada nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60, 0,60-1,0 e 1,0 a 2,0 m de profundidade, com seis repetições. Avaliou-se, portanto, a densidade do solo (Ds), a porosidade total (PT), a condutividade hidráulica saturada (Ksat), a curva de retenção de água (CRA), a distribuição de poros por tamanho, a capacidade de água disponível (CAD) e o Índice S do solo. A Ds, PT, CAD, CRA e a distribuição de poros não apresentaram diferenças entre as áreas com plantas mortas e vivas. A Ksat foi elevada em ambas as áreas e o índice S indicou estrutura favorável ao desenvolvimento das plantas. Os resultados dos atributos físicos do solo obtidos não justificam a morte das plantas de eucalipto. Sugere-se a realização de pesquisas sobre a variabilidade do material genético utilizado nas áreas estudadas e a sua resistência para as condições edafoclimáticas no estado Piauí.

**Palavras chave:** eucalipto, estrutura do solo, déficit hídrico, distribuição do tamanho de poros, capacidade de água disponível.

---

<sup>1</sup>Orientador: João Carlos Medeiros – Universidade Federal do Piauí/Bom Jesus  
Co-orientador: Julian Júnio de Jesus Lacerda – Universidade Federal do Piauí/Bom Jesus  
Co-orientador: Jaqueline Dalla Rosa – Universidade Federal do Piauí/Bom Jesus

## GENERAL ABSTRACT

PEREIRA, Nayana Alves. **Soil physical and hydric attributes in *Eucalyptus* spp. stands with dead and live plants.** 2016. 50p. Dissertation (Master in Agronomy: Soil and Plant Nutrition) –Federal University of Piauí, PI<sup>1</sup>.

Eucalyptus species adaptation is an important factor before growth deployment, especially in regions with concentrated rainfall distribution during the year. Physical and hydric soil attributes alter water dynamic in the soil and can cause direct and indirect effects on the survival of trees. The work was carried out to evaluate physical and hydric soil properties in eucalyptus commercial areas with dead and live plants. Two areas were studied, one with live eucalyptus plants and another with dead eucalyptus plants, in the farm Chapada Grande-Real Agropecuária, Regeneration municipality, Piauí State. It was evaluated five soil profiles within each area, collecting disturbed and undisturbed soil samples for physical and hydric attributes analysis. Soil samples were collected in the layers 0-0.10, 0.10-0.20, 0.20-0.40, 0.40-0.60, 0.60-1.0 and 1.0-2.0 m depths. It was evaluated bulk density, total porosity, saturated hydraulic conductivity, soil water retention curve, size pores distribution, available water capacity and index S. The variables measured did not show differences between physical and hydric attributes in the areas with dead and live plants. Saturated hydraulic conductivity was high in both areas and the S index indicated appropriate structure for eucalyptus plants growth. Whereas, soil physical and hydric attributes in two areas evaluated cannot explain the cause of eucalyptus plants death, it is suggested carrying out research about genetic variability in the studied areas, and their tolerance to climatic conditions in Piauí State.

**Key-words:** soil structure, hydric deficit, pore size distribution, available water capacity.

---

<sup>1</sup>Adviser: João Carlos Medeiros – Universidade Federal do Piauí/Bom Jesus  
Co-adviser: Julian Júnio de Jesus Lacerda – Universidade Federal do Piauí/Bom Jesus  
Co-adviser: Jaqueline Dalla Rosa – Universidade Federal do Piauí/Bom Jesus

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 2

<b>Tabela 1.</b> Caracterização química do solo nas áreas estudadas. ....	26
<b>Tabela 2.</b> Classificação de poros do solo com base na sua distribuição de tamanho. ...	28
<b>Tabela 3.</b> Caracterização das propriedades físicas do solo nas áreas estudadas. ....	31

## LISTA DE FIGURAS

### CAPITULO 2

- Figura 1.** Média histórica dos dados meteorológicos do município de Floriano-PI, retirado do site do INMET..... 25
- Figura 2.** Densidade do solo (A), porosidade total (B) e condutividade hidráulica saturada (Ksat) (C) nas áreas com plantas mortas e plantas vivas, com *Eucalyptus* spp. aos três anos, no município de Regeneração-PI. .... 30
- Figura 3.** Curva de retenção de água, água disponível e distribuição de poros por tamanho nas áreas com plantas mortas e plantas vivas de *Eucalyptus* spp. aos três anos de plantio, no município de Regeneração-PI. A e B: áreas com plantas mortas e vivas respectivamente na camada de 0-0,10 m; C e D: áreas com plantas mortas e vivas respectivamente na camada de 0,10-0,20 m; E e F: áreas com plantas mortas e vivas respectivamente na camada de 0,60-1,0 m; G e H: áreas com plantas mortas e vivas respectivamente na camada de 1,0-2,0 m. .... 34
- Figura 4.** Capacidade de água disponível (CAD) do solo com plantas mortas e plantas vivas de *Eucalyptus* spp. aos três anos de plantio, no município de Regeneração-PI. ... 37
- Figura 5.** Índice S de Dexter nas áreas com plantas mortas e plantas vivas de *Eucalyptus* spp. aos três anos de plantio, no município de Regeneração-PI. A: áreas com plantas mortas e vivas na camada de 0-0,10 m; B: Áreas com plantas mortas e vivas na camada de 0,1 m; D: Áreas com plantas mortas e vivas na camada de 1,0-2,0 m; ..... 40

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Pertencente ao gênero *Eucalyptus* e originário da Austrália e Indonésia, o eucalipto é hoje uma das principais fontes de matéria prima na produção de celulose para fabricação de papel, carvão vegetal para gerar energia e madeira sólida usada em móveis, revestimentos, pisos e outras aplicações na construção civil (Bracelpa, 2010).

O cultivo do eucalipto é importante na economia de vários países, inclusive no Brasil, o qual destaca-se pelo clima e solos favoráveis, eficiência na aplicação de tecnologias, materiais genéticos de alta qualidade, crescimento mais rápido que nos demais países produtores e elevado índice de produtividade, portanto favorece a demanda por produtos florestais (Bracelpa, 2011). Além disso, o desenvolvimento de técnicas para avaliação e seleção de clones com bons fenótipos para as características silviculturais e tecnológicas das áreas plantadas proporcionaram maior produtividade dos plantios com espécies do gênero, que passou de  $20 \text{ m}^{-3} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de madeira, em 1960, para mais de  $45 \text{ m}^{-3} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  atualmente (Ramalho et al., 2012).

De acordo com a Indústria Brasileira de Árvores plantadas (IBÁ), a área de árvores plantadas para fins industriais no Brasil totalizou 7,74 milhões de hectares em 2014, representando aumento de 1,8% em relação a 2013 (IBÁ, 2014). Desse total, a área plantada com eucalipto ocupa 5,56 milhões de hectares localizados principalmente nos estados de Minas Gerais (25,2%), São Paulo (17,6%) e Mato Grosso do Sul (14,5%), compostas, sobretudo, por espécies híbridas e clones de eucalipto (*Eucalyptus* spp.).

Com expansão do setor florestal, os plantios de eucalipto se expandem por todo o território nacional (Magalhães, 2013) e, novas fronteiras florestais como a região nordeste estão em expansão, especialmente nos estados da Bahia, Piauí e Maranhão. O estado do Piauí, de acordo com a ABRAF (2011), ocupa a 15ª posição em área de floresta plantada no Brasil, com aproximadamente 37.025 hectares e cultivo predominante de eucalipto. Esse cenário gera novos desafios para o desenvolvimento de pesquisas na recomendação de manejos apropriados para o desenvolvimento da cultura, principalmente na recomendação de genótipos tolerantes à seca (Mendes, 2015).

O fator climático associado ao tipo de solo em que os clones são cultivados reflete diretamente na produtividade desta cultura. Algumas espécies, como por exemplo, *Eucalyptus urograndis*, necessitam de precipitação anual em torno de 720 a 1.800 mm bem distribuídos durante o ciclo de desenvolvimento da cultura (Sperandio et al., 2010). Logo, em condições de Cerrado, a precipitação média anual pode variar de 1.200 a 1.800 mm ano<sup>-1</sup>. Porém, devido à distribuição irregular das chuvas nesse bioma, há ocorrência de veranicos, assim como longos períodos de estiagem, que ocorrem entre os meses de abril a setembro (Moraes, 2012). A literatura demonstra resultados contraditórios do consumo de água pela cultura do eucalipto. Novaes (1996) relaciona o consumo de água pelo eucalipto, cana de açúcar, batata e milho, e mostrou que o eucalipto não consome mais água por unidade de biomassa produzida do que qualquer outra espécie vegetal, porém, é uma árvore que acumula maior biomassa por unidade de tempo. Já Foekel (2007), afirma que em locais com precipitação inferior a 400 mm ano<sup>-1</sup>, as florestas de eucalipto podem promover ressecamento do solo ao utilizarem os estoques de água armazenados em suas camadas superficiais. Nas florestas de eucalipto a maior parte das raízes finas se encontra nos primeiros 30 cm na profundidade do solo. Isso significa que as árvores buscam água e nutrientes mais na superfície do solo e não no lençol freático profundo. Até mesmo porque as raízes das árvores nos povoamentos jovens, com 3 a 4 anos, são relativamente superficiais, no máximo até 2,5 metros de profundidade (Ambienteja, 2007).

A adaptação de espécies de eucalipto é um importante fator antes da implantação da cultura, principalmente em regiões que apresentam alterações na distribuição do regime pluviométrico anual, as quais afetam o crescimento e sobrevivência das plantas (Ferraz, 2012). Na fase inicial da cultura ocorre a maior demanda de água, mas esta necessidade hídrica pode aumentar de acordo com o tipo de solo, condições locais, regime pluviométrico da região, espécies cultivadas e práticas de manejo (Prevedello, 2011).

A disponibilidade hídrica dos solos está relacionada com as condições térmicas e pela distribuição espaço-temporal das precipitações. A redução da água disponível no solo provoca efeitos negativos na fisiologia das plantas e sua ausência afeta desde as funções vitais até as reações e rotas metabólicas (Martins et al., 2008), em casos extremos pode levar os vegetais a morte.

Os programas de melhoramento de espécies florestais no Brasil são mais direcionados para obtenção de características de crescimento e, mais recentemente, para

qualidade da madeira (De Paula et al., 2012) e, apesar dos grandes avanços no melhoramento genético do eucalipto, ainda é reduzido o conhecimento sobre os mecanismos fisiológicos associados ao estresse hídrico em condições adversas à cultura.

O cultivo de eucalipto no estado do Piauí situa-se no bioma Cerrado, é relativamente recente e tem apresentado potencial de expansão nos últimos anos. Entretanto, os solos deste bioma têm sido alvo frequente de especulações que os caracterizam por apresentarem baixa capacidade de retenção de água, sem ao menos levar em consideração as classes de solos predominantes em cada região ocupada pelo bioma (Resende et al., 1999). Aliado a isso, a sobrevivência de plantas de eucalipto tem se tornado um problema frequente nos sítios de produção. As principais causas apontadas para a morte das plantas são (1) déficit hídrico e/ou (2) problemas relacionados à física do solo, que restringem o desenvolvimento radicular. Entretanto, em função da recente exploração florestal no estado, fazem-se necessários estudos da avaliação da dinâmica da água no solo e sua relação com o desenvolvimento da cultura do eucalipto na região, a fim de apontar com certeza as verdadeiras causas da morte das árvores.

## **HIPÓTESE**

A não sobrevivência de clones de *Eucalyptus* spp. na região ocorre devido às limitações quanto à capacidade do solo em estocar e disponibilizar água para as plantas;

## **OBJETIVOS**

### **Geral**

Avaliar os atributos físicos e hídricos do solo em povoamentos de clones de *Eucalyptus spp.* em áreas com plantas mortas e vivas.

### **Específicos**

Avaliar a capacidade de água disponível do solo cultivado com clones de plantas de *Eucalyptus spp.* vivas e mortas em talhões comerciais;

Avaliar a estrutura do solo por meio do estudo da curva de retenção de água no solo, distribuição do tamanho de poros, índice  $S$ , condutividade hidráulica saturada e densidade do solo.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 PLANTIO DE EUCALIPTO NO BIOMA CERRADO

A utilização das terras do Cerrado para cultivo de florestas comerciais, ocorreu por volta de 1970. Além do uso de novas tecnologias houve também a entrada de novas formas de cultivo nesse bioma, como, por exemplo, a silvicultura de eucalipto, que tem a produtividade condicionada pelos clones adaptados, clima, recursos hídricos e topografia. Neste sentido, alguns dos fatores que contribuíram para a ocupação e desenvolvimento da cultura do eucalipto no Cerrado foram os solos bem drenados, profundos e passíveis de mecanização e, também o clima sazonal, com períodos seco e chuvoso a cada seis meses (Lopes, 2013).

Além de fornecer produtos ambientalmente corretos, as árvores plantadas ajudam na conservação dos ecossistemas, pois a utilização de madeiras provenientes do reflorestamento diminui a pressão nas florestas naturais e pode contribuir para a recuperação de áreas degradadas (Souza, 2014). Além disso, o setor florestal vem ganhando reconhecimento nos últimos anos pela contribuição, no aspecto econômico e social, pois reflete positivamente nas economias regionais e locais bem como na geração de empregos.

Entretanto, um aspecto muito importante a ser considerado dentro da cadeia produtiva do eucalipto é o conhecimento do solo e do clima, pois são fatores primordiais para definir sistemas de cultivo que propiciem uma cadeia produtiva viável.

### 2.2 IMPORTÂNCIA DA ÁGUA PARA O EUCALIPTO

A água é um recurso natural de grande importância para a vida dos vegetais, pois é necessária à maioria das reações, funções vitais e rotas metabólicas (Carlesso & Zimmermann, 2000). Por ser responsável pela estrutura e formação dos órgãos, é indispensável para o bom crescimento e desenvolvimento de todas as culturas, sejam elas anuais ou perenes (Carlesso & Zimmermann, 1999). É a principal constituinte do tecido vegetal, representa 50 % da massa fresca nas plantas lenhosas e cerca de 80 a 95 % das plantas herbáceas, atuando como reagente no metabolismo vegetal, transporte e translocação de solutos, abertura e fechamento de estômatos (Taiz & Zeiger, 2004).

O crescimento e desenvolvimento das plantas são influenciados negativamente pela redução da água no solo. Com o aumento da demanda por produtos de origem florestal, é necessário maior estudo sobre a disponibilidade de água no solo e o

desenvolvimento de espécies de *Eucalyptus* (Lima, 1993), pois esta cultura encontra-se presente nas diversas regiões do Brasil com diferentes solos, altitudes e regimes pluviométricos.

Na planta, a água se movimenta basicamente pela diferença entre o potencial de vapor d'água na atmosfera em torno das folhas e o potencial da água do solo. O consumo de água pelas plantas depende das condições meteorológicas, do potencial total de água no solo e das características das plantas, tais como a área foliar, altura das plantas e a distribuição e funcionalidade do sistema radicular (Prevedello, 2012). As raízes se aprofundam a procura de camadas mais úmidas, à medida que a parte superficial do solo vai secando (Nogueira, 2004). Porém, a parte aérea da planta não cessa o crescimento até que absorção de água pelas raízes se torne limitante (Taiz & Zeiger, 2013).

Quando a espécie possui um ciclo mais longo, as condições adversas ocasionam maior estresse ambiental e maiores danos em diferentes estádios de desenvolvimento da planta. Dessa forma, as plantas podem emitir diferentes respostas diante à deficiência hídrica, como: perda da turgor, fechamento dos estômatos, maior crescimento radicular, redução do conteúdo de água, redução da área foliar, senescência e queda das folhas (Mendes, 2015; De Paula et al., 2012). O estresse hídrico, além de induzir a inibição da fotossíntese e causar distúrbios no metabolismo da planta, pode levar à paralisação do crescimento da planta, perdas de produtividade e em condições mais graves, promover a morte da cultura (Martins et al., 2010).

Tatagiba et al. (2015), ao avaliarem as respostas fotossintéticas em um plantio clonal de eucalipto, em duas estações bem definidas (seca e chuvosa), mostraram que a deficiência hídrica encontrada na estação seca foi suficiente para diminuir o teor de água nos tecidos vegetais das plantas, provocando redução na condutância estomática e, conseqüentemente, queda na fotossíntese líquida e transpiração das plantas. A menor abertura estomática durante estação seca contribuiu para queda na assimilação de carbono, diminuindo a produtividade potencial das plantas. Da mesma forma, Fernandes et al. (2014) avaliando a resposta fisiológica do eucalipto submetido ao déficit hídrico, em casa de vegetação, observaram que os períodos prolongados de seca podem causar prejuízos à cultura do eucalipto, afetando diretamente o potencial hídrico foliar, teor relativo de água, transpiração, condutância estomática e fotossíntese.

Assim, em regiões como no Piauí, que possui elevada radiação e transpiração, nos horários mais quentes do dia, a condutância estomática tende a diminuir, a fim de

evitar que o potencial hídrico foliar se encontre abaixo de níveis considerados críticos para a estabilidade do sistema de transporte de água.

No cenário atual de mudanças climáticas, a escassez de água e a incidência de temperaturas tendem a aumentar, sendo necessário o entendimento dos mecanismos da fisiologia que as plantas utilizam para se adaptar às novas condições de seca e estiagem. Além disso, devem-se considerar outros fatores que também exercem controle nas interações entre solo-planta-atmosfera, destacando-se os fatores fisiológicos (número e localização dos estômatos, por exemplo) e morfológicos da planta (espessura da cutícula, tamanho e forma das folhas, cor, pilosidades). Bem como as próprias condições ambientais, como a radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar e vento (DIAS, 2008) e os fatores de solo relacionados diretamente ao desenvolvimento de plantas que são a disponibilidade de água, aeração e a resistência a penetração de raízes (Letey, 1985).

### 2.3 A ÁGUA NO SOLO

O solo é o reservatório de água e nutrientes para as plantas e, através dos fenômenos de adsorção e capilaridade, a mesma é retida ou disponibilizada. A água tem a tendência espontânea de assumir um estado mínimo de energia ao procurar o equilíbrio. Assim, é necessário o conhecimento do estado de energia em cada ponto dentro do sistema, visto que é possível quantificar as forças que atuam sobre a água e o quanto ela tende ao equilíbrio (Davaló, 2013). O parâmetro importante que relaciona umidade do solo com o crescimento vegetal não é o conteúdo de água presente no solo, mas o seu potencial (Letey, 1985). Os potenciais: de pressão ( $\psi_p$ ), gravitacional ( $\psi_g$ ), osmótico ( $\psi_{os}$ ) e matricial ( $\psi_m$ ) constituem o potencial total da água no solo (Reichardt, 1985; Libardi, 2010). O potencial mátrico refere-se à energia com que a água é retida pelo solo e, conseqüentemente, à energia necessária para que esta água possa ser removida do solo pelas raízes das plantas. Diferentes tipos de solos contêm diferentes quantidades de água a um dado potencial (Letey, 1985).

A interação da água com as propriedades físicas e químicas do solo resultam em propriedades como o limite superior de umidade dos solos, ou seja, a umidade na capacidade de campo, que possui importância expressiva nos processos de armazenamento e disponibilidade de água para as culturas (Andrade & Stone, 2011). A quantidade de água disponível no solo para as plantas é definida pela diferença entre a umidade na capacidade de campo (CC) e a umidade no ponto de murcha permanente (PMP) (Reichardt, 1990).

A fim de avaliar a dinâmica de água no solo, pode-se realizar o estudo da curva de retenção de água e da capacidade de água disponível no solo.

### **2.3.1 Curva de retenção da água no solo**

A retenção da água no solo ocorre devido aos fenômenos de capilaridade e adsorção. A água no solo está sujeita a diversas forças, sendo resultantes da atração do solo pela água, da presença do campo gravitacional, dos solutos, entre outros. Neste sentido, cada componente de energia potencial que estiver atuando na água dentro do solo, origina um potencial componente do potencial total da água no solo (Gimenes, 2012).

Para altos valores de umidade (baixas tensões), o comportamento da curva de retenção está associada ao tamanho, forma e distribuição dos poros que, por sua vez, são influenciados pela textura, estrutura e estabilidade dos agregados (Libardi, 1999). A textura representa a proporção quantitativa das partículas minerais do solo, ou seja, areia, silte e argila. Portanto, é a propriedade que tem maior influência na retenção de água no solo e na água disponível para as plantas (FERREIRA, 2010).

Uma vantagem do estudo da curva de retenção da água no solo é pela possibilidade de estimar o teor de água disponível, através da diferença do conteúdo de água na capacidade de campo, e no ponto de murcha permanente. Diferenças na textura do solo, cobertura, espécies vegetais, quantidade de água recebida (precipitação/irrigação) exercem influência na dinâmica da água no solo, especialmente em ambientes semiáridos, mas as respostas no armazenamento de água são modificadas pela época do ano e profundidade do perfil (English et al., 2005).

### **2.3.2 Capacidade de água disponível no sol**

O solo é um reservatório de água para as plantas (Letey, 1985). A CAD é calculada pela relação entre CC e PMP em uma determinada profundidade (z) de interesse, logo, tem-se  $CAD = (CC - PMP) * z$ . Uma das aplicações práticas do conhecimento da capacidade de água disponível no solo (CAD) é a utilização em zoneamentos agroclimáticos, por meio dos balanços hídricos (Reichert et al., 2011).

A taxa de infiltração de água no solo possui importância por determinar quanto de água entra no perfil do solo, sendo controlada pela distribuição de poros do solo e, sujeita a alterações do manejo do solo. No entanto, o armazenamento de água no solo é afetado pelos fatores climáticos e pelas características físicas do solo (Souza et al., 2005).

A quantidade, a dimensão e o arranjo dos poros são facilmente modificados pelo manejo. Nestes espaços ocorrem os processos dinâmicos do ar e da solução do solo (Hillel, 1998). Contudo, qualquer prática de manejo inadequado que afete a porosidade do solo, resultam na degradação da estrutura (Hakansson, 2000).

### **2.3.3 Condutividade hidráulica saturada**

A condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_{sat}$ ) reflete a condição do sistema poroso do solo e se relaciona com a porosidade do solo através da quantidade, arranjo, tamanho, continuidade, orientação e morfologia dos poros (Gonçalves & Libardi, 2013). Ainda segundo os autores, a condutividade hidráulica na condição saturada é mais dependente da estrutura do solo do que da textura. Portanto, solos bem agregados possuem maior condutividade hidráulica.

Gonçalves (2011) relata que as práticas culturais alteram a estrutura do solo, refletindo diretamente na condutividade hidráulica. Ainda neste contexto, Mesquita & Moraes (2004), qualquer fator que exerça influência sobre o tamanho e a configuração dos poros do solo exercerá também influência sobre a condutividade hidráulica, sendo os macroporos responsáveis pela maior parte da movimentação saturada da água no solo.

Em um perfil de solo, a condutividade hidráulica é uma das propriedades que melhor configuram as diferenças estruturais, variando bastante ao longo do perfil do solo (RIBEIRO et al., 2007).

O efeito da estrutura e em especial dos macroporos (diâmetro maior do que 50  $\mu\text{m}$ ) possibilita a um solo argiloso exibir valores de condutividade semelhante ao arenoso. Para Libardi (1999), todas essas propriedades do espaço poroso que influenciam a condutividade do solo podem ser reunidas no termo único “geometria porosa dos solos”.

## **2.4 QUALIDADE DO SOLO**

A partir do início dos anos 90 a discussão sobre a qualidade do solo se intensificou, pois a comunidade científica passou a divulgar em publicações a importância do solo e sua relação com o manejo e sustentabilidade da agricultura devido ao número considerável de áreas degradadas (Vezzani & Mielniczuk, 2009).

Nesse contexto, a concepção de que a água e o solo são bens renováveis em longo prazo, leva o homem a rever os critérios de utilização destes recursos essenciais para a manutenção da vida (Cecatto, 2014).

A qualidade do solo é compreendida como a capacidade do solo exercer suas funções na natureza, seja num ecossistema natural ou manejado e, assim, promover a saúde das plantas, dos homens e animais, além de manter ou melhorar a qualidade do ar e da água (Doran, 1997). Os cientistas do solo se preocupam com a identificação e seleção de indicadores que relacionam as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo a determinadas funções que o solo pode desempenhar e, através disso, definir valores quantitativos e mensuráveis desses indicadores (Varandas, 2011).

Apesar de não ser possível medir a qualidade do solo de forma direta, faz-se uma estimativa da qualidade do solo pelas propriedades indicadoras do solo tendo a produção vegetal como resposta, e a partir de propriedades, atributos ou condições do próprio solo relacionar os indicadores que interferem no desenvolvimento das plantas (Reichart et al., 2003). Os indicadores de qualidade devem ser utilizados como ferramentas para avaliação de práticas de manejo, assim como planejamento para futuros projetos.

Em estudo comparando a condição estrutural de um Argissolo sob floresta nativa, pastagem cultivada e povoamento de eucalipto com o objetivo de definir os limites críticos dos atributos físicos e hídricos da área, Suzuki et al. (2012) verificaram que a qualidade do solo é influenciada pelas práticas inadequadas de manejo, pois, o tráfego de máquinas e o pisoteio animal alteraram a estrutura do solo induzindo ao processo de compactação.

Propriedades como textura e densidade condicionam as práticas de manejo a serem empregadas, porém, Letey (1985) afirmou que elas não estão diretamente relacionadas com a produtividade das culturas, mas sim a taxa de difusão de oxigênio, o potencial da água no solo, a temperatura, e resistência à penetração das raízes no solo. Nesse mesmo contexto, Souza (2013) afirma que os indicadores físicos estabelecem relações com os processos de infiltração, escoamento superficial, drenagem, suprimento de armazenamento de água pra a planta, trocas gasosas e aporte de nutrientes no solo.

Embora os atributos físicos, químicos e biológicos estejam inteiramente correlacionados, o indicador físico se sobressai por ao avaliar o grau de degradação físico dos solos, assim como as práticas de manejo sustentáveis para atenuar ou reverter tais efeitos (Andrade & Stone, 2008).

## 2.5 INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO

### 2.5.1 Indicadores de qualidade física do solo

Os impactos ocasionados pelo uso e manejo inadequado do solo, são quantificados usando propriedades relacionadas com a estrutura do solo, como: estabilidade dos agregados, densidade do solo e porosidade (Aratani et al., 2009). As alterações do sistema poroso afetam de forma acentuada outros atributos, como a aeração, retenção e condução da água, e resistência solo à penetração das raízes (Souza, 2013).

Na mensuração da qualidade física, utilizam-se indicadores como índice S de Dexter, Intervalo Hídrico Ótimo (IHO), Grau de compactação (GC) entre outros. A qualidade física do solo afeta as qualidades químicas e biológicas e, a sua melhoria, para um determinado solo, promove mesmo que indiretamente, melhoria das outras (Dexter, 2004).

### 2.5.2 Índice S de Dexter

Dentre os indicadores propostos para avaliar propriedades físicas do solo, o índice S, derivado da declividade da curva de retenção de água no seu ponto de inflexão tem sido amplamente utilizado. Portanto, infere informações sobre o funcionamento físico-hídrico do solo e está relacionado às variáveis como textura, densidade do solo, matéria orgânica e crescimento de raízes. Conceitualmente, o índice S equivale à inclinação da reta tangente ao ponto de inflexão da curva característica de retenção de água (CRA). É determinado pela CRA expressando-se o conteúdo gravimétrico de água em função da tensão de água no solo ( $h$ ) após ajuste utilizando a equação de van Genuchten, utilizando o logaritmo natural da tensão ( $h$ ).

Segundo Dexter (2004a), alto valor de S indica forte presença de poros estruturais e revela a boa qualidade física do solo. O limite de qualidade estrutural de solos ocorre no valor aproximado de  $S = 0,035$ . Nenhuma mudança brusca nos atributos do solo se dá neste valor, mas ele é consistente com a experiência de campo em diferentes solos. Por outro lado, valores de  $S < 0,020$  indicam predomínio de porosidade textural, o que está associado a piores condições físicas do solo (SILVA et al., 2012).

### 2.5.3 Grau de compactação

A compactação é um processo caracterizado por uma diminuição no volume do solo devido às forças externas e este estado de compactação influencia nas propriedades físicas, químicas e biológicas (Hakansson et al., 1988).

A retirada da vegetação nativa e a substituição de florestas por cultivos agrícolas causam desequilíbrio no ecossistema. As práticas de manejo inadequadas ocasionam o rompimento do equilíbrio entre o meio ambiente e o solo, e isso faz com que ocorra limitação na produtividade agrícola (Richart et al., 2005). Em estudo desenvolvido por Barbosa et al. (2016), demonstrou-se que as áreas sob manejo convencional contribuíram para aumentar a densidade e reduzir a porosidade, o que foi intensificada com o tempo de uso do solo.

Nesse contexto, Imhoff (2002) a importância da utilização de indicadores de qualidade física do solo no qual ressaltam os atributos físicos que influenciam diretamente da produtividade das culturas. Ainda segundo o autor, o tipo de solo, teor de carbono orgânico e a umidade são variáveis necessárias para caracterizar o estado de compactação dos solos.

A densidade do solo vai variar de acordo com as características do solo. Torres e Saraiva (1999) afirmam que os valores entre 1,0 a 1,45 Mg m<sup>-3</sup> são relativos a solos argilosos para condições de mata nativa com estrutura preservada e para condições de compactação, respectivamente. Já para solos arenosos, ocorrem densidades variáveis entre 1,25 a 1,70 Mg m<sup>-3</sup>.

A umidade encontrada no solo no momento da operação de maquinários agrícolas é fator primordial para determinar a deformação que poderá ocorrer no solo. Quanto mais seco o solo estiver, mais ele terá capacidade de suportar as diferentes pressões aplicadas, onde a compactação poderá ocorrer com menor significância. Entretanto, em diferentes condições de umidade, o solo é induzindo a diferentes processos de compactação (Richart, 2005). Neste intuito, em áreas que possuem um período sazonal pequeno para o crescimento das plantas as operações de preparo do solo são realizadas de acordo com as condições trafegáveis ideais, ou seja, o ponto de friabilidade. Portanto, Gubiani et al., (2015) afirmam haver evidências que áreas com sistema de plantio direto não conseguem reverter o processo de compactação e redução na produção das culturas.

#### 2.5.4 Estrutura do solo

A estrutura do solo é definida como o resultado da interação entre o tamanho, forma e arranjo das partículas sólidas e espaços porosos do solo. Portanto, está sujeita a variações e, associa-se aos fatores físicos, químicos e biológicos (Letey, 1991). A interação entre a matéria orgânica do solo, a textura e a mineralogia definem a estabilidade e o tamanho dos agregados (Zinn et al., 2007).

De acordo com Lal. (1991), o sistema de espaço poroso do solo é resultante da organização espacial da fase sólida, sendo, portanto, uma propriedade física fundamental que afeta a produtividade agrícola. Neste sentido, por ser considerada como um dos atributos dominantes da qualidade do solo, a estrutura do solo influencia as propriedades hidráulicas, tais como curvas de retenção de água do solo e condutividade hidráulica saturada (Nimmo, 1997).

A estrutura de poros afeta muitas propriedades físicas, químicas e biológicas, como a aeração, transmissão e armazenamento de água, resistência mecânica, dinâmica do carbono e a penetração das raízes (Pagliai et al., 2004). A presença de uma rede ideal de poros, com ampla variação de diâmetros é primordial na fertilidade do solo, pois possui relação com a drenagem, água disponível para as plantas, absorção de nutrientes, penetração das raízes no solo, temperatura e aeração, refletindo, conseqüentemente, na produtividade (Rezende, 1997).

De acordo com estudo desenvolvido por Curmi et al. (1994), o espaço poroso do solo é constituído por duas classes de poros distintas. Uma destas classes é resultante do arranjo dos microagregados do solo, formando um espaço poroso contínuo, irregular, e com diâmetro  $< 0,0002$  mm. O outro espaço poroso é formado por canais maiores, com diâmetro  $> 0,002$  mm sendo denominados micro e macroporos, considerados como interagregados.

Os solos do cerrado brasileiro, com destaque para os Latossolos, são muito intemperizados e apresentam baixa fertilidade natural, contrastando com a elevada estabilidade dos agregados, decorrentes da mineralogia da fração argila e da estrutura granular (Carducci et al., 2011). Além disso, apresenta elevada porosidade drenável, assim como elevado volume de poros com diâmetro extremamente pequeno ( $< 2,9$   $\mu\text{m}$ ) e poucos poros intermediários (Oliveira et al. 2004).

Em estudo desenvolvido por Melloni et al. (2008) em áreas com plantio de *E. grandis*, os autores concluíram que o sistema radicular e a incorporação de grande quantidade de matéria orgânica promoveram a formação de continuidade de poros no

solo em profundidade, influenciando na capacidade de armazenamento de água, infiltração e aeração do solo.

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAF. **Anuário Estatístico da ABRAF**: ano base 2010/ABRAF. Brasília: DF, 2011. 130 p.
- AMBIENTEJÁ. **As florestas plantadas de eucalipto e o consumo de água**, Florianópolis, SC, ano 13, nov. 2007.
- ANDRADE, R. da S.; STONE, Luís F. Estimativa da umidade na capacidade de campo em solos sob Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande**, v. 15, n. 2, p. 111-116, 2011.
- ANDRADE, R. S.; STONE, L. F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do cerrado brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande*, v. 13, n. 4, p. 382-388, dez. 2009.
- ARATANI, R. G.; FREDDI, O. da S.; CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:677-687, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL - BRACELPA. Relatório estatístico da BRACELPA. São Paulo, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL - BRACELPA. Relatório estatístico da BRACELPA. São Paulo, 2011.
- BARBOSA, L. R., Nunes, L. A. P. L., Araújo, A. S. F., Silva, F. R., & Ibiapina, T. V. B. (2016). Penetration resistance and density of a yellow oxissol under conventional management at different ages= Resistência a penetração e densidade de um latossolo amarelo sob manejo convencional em diferentes idades. *Bioscience Journal*, 32(1).
- CARDUCCI, C. E., Oliveira, G. C., Severiano, E. C., & Zeviani, W. M. (2011). Modelagem da curva de retenção de água de Latossolos utilizando a equação duplo van Genuchten. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35(1), 77-86.
- CARLESSO, R. & SANTOS, R.F. Disponibilidade de água às plantas de milho em solos de diferentes texturas. **R. Bras. Ci. Solo**, 23: 27-33, 1999.
- CARLESSO, R. & ZIMMERMANN, L.F. Água no solo: parâmetros para dimensionamento de sistemas de irrigação. Santa Maria, Imprensa Universitária, 2000. 88p.
- CECATTO, C. A. MODELAGEM DAS PERDAS DE SOLO POR EROSÃO. Diss. Universidade do Estado de Santa Catarina, 2014.

- DALLA ROSA, J. Atributos químicos e físicos e produtividade de videiras sob manejos de plantas de cobertura – Lages, 2008. 58 p.
- DAVALO, Marcelo Jara. Curva de retenção de água no solo estimado pelo método da câmara de Richards e psicrômetro. 2013.
- DE ARAÚJO GONÇALVES, Adriano Dicesar Martins. **Uma análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo**. 2011. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.
- DE PAULA, R. C.; PAULA, N. F.; MARINO, C. L. Breeding Perennial Species for Abiotic Stress. In: FRITSCHÉ-NETO, R.; BORÉM, A. **Plant Breeding for Abiotic Stress Tolerance**. Springer, 2012, p. 157-172.
- DEXTER, A.R. Soil physical quality - Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, 120: 201-214, 2004.
- DIAS, L.B. Acesso: [http://www.ceapdesign.com.br/pdf/monografias/monografia\\_agua\\_n\\_asplantas\\_lucia.pdf](http://www.ceapdesign.com.br/pdf/monografias/monografia_agua_n_asplantas_lucia.pdf) . 2008. 50 pg.
- DORAN, J.W. Soil quality and sustainability. In: Congresso Brasileiro de Ciência do solo, Rio de Janeiro, 1997. Anais. CD-ROM.
- ENGLISH, N. B. et al., The influence of soil texture and vegetation on soil moisture under rainout shelters in a semi-desert grassland. *Journal of Arid Environments*, v. 63, n. 1, p. 324–343, 2005.
- FERNANDES, E. T., CAIRO, P. A. R., LAVINSCKY, J. & MORAIS, C. Crescimento de clones de eucalipto sob deficiência hídrica. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, n.17; p. 2013.
- FERRAZ, T. M. “Ecofisiologia de clones de eucalipto submetidos à restrição hídrica em condições de campo.” Tese. (Doutorado)- Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF. RJ, 2012. 113 p.; il.
- FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: Física do Solo. Ed. LIER, Q. J. Viçosa, MG: SBCS, p. 1-27, 2010.
- FOELKEL, C. webpage [http://www.ambienteja.com.br/ver\\_cliente.asp?id=111958](http://www.ambienteja.com.br/ver_cliente.asp?id=111958) acesso dia 21.01.15 15 Webpages [www.celso-foelkel.com.br](http://www.celso-foelkel.com.br) e [www.eucalyptus.com.br](http://www.eucalyptus.com.br). 2007.
- GIMENES, F. H. S. **Curva de retenção na avaliação da qualidade física do solo**. 2012. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

- GONÇALVES, A. D. M. D. A., & LIBARDI, P. L. (2013). An analysis of soil hydraulic conductivity determination by means of the instantaneous profile method. **R. Bras. Ci. Solo**, 37(5), 1174-1184.
- Gubiani, P. I., Van Lier, Q. D. J., Drescher, M. S., Mezzomo, H. C., & Veiga, C. M. C. (2015). Relação entre densidade do solo e conteúdo de água em repetidos ciclos de contração e expansão em um latossolo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39(1), 100-108.
- HÅKANSSON, I. ; VOORHEES, W. B.; RILEY, H. Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop response in different traffic regimes. **Soil and Tillage Research**, v. 11, n. 3, p. 239-282, 1988.
- HAKANSSON, I. A method for characterizing the state of compactness of the plough layer. **Soil and Tillage Research**, v. 16, n. 1, p. 105-120, 1990.
- IBÁ. **Indústria Brasileira de árvores**. 2015. Disponível em: <<http://www.iba.org/web/pt/dados-fatos>> Acesso em 16/04/15.
- IMHOFF, S. C. Indicadores de qualidade estrutural e trafegabilidade de Latossolos e Argissolos Vermelhos. Diss. Universidade de São Paulo, 2002.
- LAL, R. Tillage and agricultural sustainability. **Soil and Tillage Research**, v.20, p.13-146, 1991.
- LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop productions. **Advison Soil Science**, [S.l.], v. 1, p. 277-294, 1985.
- LIBARDI, P. L. Água no solo. In: VAN LIER, Q. de J. **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2010. p. 103-152.
- LIBARDI, P.L. Dinâmica da água no solo. 2.ed. Piracicaba : O autor, 1999. 497p.
- LIMA, W.P. **Impacto Ambiental do Eucalipto**. Hidrologia das plantações de Eucalipto. 2 ed. São Paulo: Edusp, 1993.301p.
- LOPES, C.R. Expansão da silvicultura de eucalipto no bioma cerrado: uma análise sob a perspectiva dos fatores físicos e socioeconômicos. 2013.
- MAGALHÃES, G. C. Desempenho de clones de eucalipto nas condições edafoclimáticas de Vitória da Conquista-BA / Gilmará Carvalho Magalhães, 2013. 101f.: Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-graduação em Agronomia, Vitória da Conquista-BA, 2013.
- MARTINS, F. B., STRECK, N. A., SILVA, J. D., Morais, W. W., SUSIN, F., NAVROSKI, M. C., & VIVIAN, M. A. (2008). Deficiência hídrica no solo e seu efeito sobre transpiração, crescimento e desenvolvimento de mudas de duas espécies de eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa*, 32(3), 1297-1306.

- MARTINS, M. O.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; NETO, A. D. A.; SANTOS, M. G. Crescimento de plantas jovens de nim-indiano (*Azadirachta indica* A. Juss. – MELIACEAE) sob diferentes regimes hídricos. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 771- 779, 2010.
- MELLONI, R., MELLONI, E. G. P., ALVARENGA, M. I. N., & VIEIRA, F. B. M. (2008). Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(06), 2461-2470.
- MENDES, H. S. J. Fenotipagem para estudos de estudos de tolerância à deficiência hídrica em eucalipto. 2015.
- MENDES, Hélio Sandoval Junqueira. Fenotipagem para estudos de estudos de tolerância à deficiência hídrica em eucalipto. 2015.
- MESQUITA, M.G.B.F.; MORAES, S.O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. *Ciência Rural*, v.34, p.963-969, 2004.
- MORAES, M.T.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C. & SILVA, V.R. Correction of resistance to penetration by pedofunctions and a reference soil water content. **R. Bras. Ci. Solo**, 36:1704-1713, 2012.
- NIMMO, J.R., 1997. Modeling structural influences on soil water retention. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61, 712–719.
- OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S. & CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*. 28:327-336, 2004.
- PAGLIAI, M., VIGNOZZI, N. AND PELLEGRINI, S. 2004. Soil structure and the effect of management practices. *Soil Till. Res.* 79:131-143.
- PINTO JUNIOR, J. E. et al. Melhoramento genético de espécies arbóreas na Embrapa Florestas: uma visão histórica. **Embrapa Florestas-Documentos (INFOTECA-E)**, 2014.
- PREVEDELLO, J. "Dinâmica do Armazenamento e da Disponibilidade de Água em Argissolo sob Eucalipto e Campo Nativo." Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2012. 120 p.; il.; 30 cm.
- PREVEDELLO, J. "Dinâmica do Armazenamento e da Disponibilidade de Água em Argissolo sob Eucalipto e Campo Nativo." Tese (doutorado) – Universidade Federal de

Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2012.120 p.; il.; 30 cm.

RAMALHO, M. A. P. et al. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. 1ed. Lavras: UFLA, 2012. 522 p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 188p.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 486p

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: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A. L.; 2011. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG: SBCS, 7, 1-54.

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

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B. & CORRÊA, G.F. *Pedologia: base para distinção de ambientes*. 3.ed. Viçosa: NEPUT, 1999. 304p.

REZENDE, J.O. Compactação e adensamento do solo, metodologia para avaliação e práticas agrícolas recomendadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. Anais. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: Causas e efeitos. *Semina*, Londrina, v.26, p.321-344, 2005.

SILVA, B. M., OLIVEIRA, G. C., SERAFIM, M. E., DA SILVA, É. A., & DE OLIVEIRA, L. M. Índices no diagnóstico da qualidade estrutural de latossolo muito argiloso sob manejo intensivo= S index in structural quality diagnostic of a very clayey oxisol under intense management. *Bioscience Journal*, 28(3). 2012.

SOUZA, O. M. M., COLLICCHIO, E., PEREIRA, E. Q., AZEVEDO, M. I. R., NO, A., NORTE, C. U. D. P & Ambientais-LAMAM, M. Zoneamento agroclimático para o *Eucalyptus urograndis* no Estado do Tocantins, 2014.

SPERANDIO, H. V.; CAMPANHARO, W. A.; CECILIO, R. A.; NAPPO, M. E. Zoneamento agroecológico para espécies de eucalipto no Estado do Espírito Santo. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia. v. 11, n. 34. Jun. p. 203 - 216. 2010.

SUZUKI, L., LIMA, C., Reinert, D. J., Reichert, J. M., & Pillon, C. N. (2014). Estrutura e armazenamento de água em um Argissolo sob pastagem cultivada, floresta nativa e povoamento de eucalipto no Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 38, 133-146.

- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Artmed, 2013, p. 65-266.
- TATAGIBA, S. D.; XAVIER, T. M. T.; TORRES, H.; PEZZOPANE, J. E. M.; CECÍLIO, R. A.; ZANETTI, S. S. Determinação da máxima capacidade de retenção de água no substrato para produção de mudas de eucalipto em viveiro. **Floresta**, Curitiba, v.45, n. 4, p. 745-754, 2015.
- TORRES, E.; SARAIVA, O.F. Camadas de impedimento mecânico do solo em sistema agrícolas com soja. Londrina: EMBRAPA-CNPSoja, 1999. 58p. Circular Técnica, n. 23.
- VARANDAS, J. M. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FÍSICA DO SOLO EM UMA ESCALA DE MICROBACIA. DISS. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Piracicaba, São Paulo, 2011. 88 f.: il.
- VEZZANI, F. M. and Mielniczuk, J. "Uma visão sobre qualidade do solo." Revista brasileira de ciência do solo. Viçosa. Vol. 33, n. 4 (jul./ago. 2009), p. 743-755 (2009).
- VITAL, Marcos HF. Impacto ambiental de florestas de eucalipto. **Revista do BNDES, Rio de Janeiro**, v. 14, n. 28, p. 235-276, 2007.
- ZINN, Y. L.; LAL, R.; BIGHAM, J. M.; RESCK, D. V. S. Edaphic controls on soil organic carbon retention in the Brazilian Cerrado: soil structure. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v.71, n.4, p.1215–1224, 2007. DOI:10.2136/sssaj2006.0015.

## CAPITULO 2

### **Atributos físicos e hídricos do solo em povoamentos de clones de *Eucalyptus* spp. com plantas mortas e vivas**

*Nayana Alves Pereira; João Carlos Medeiros, Julian Júnio de Jesus Lacerda, Jaqueline Dalla Rosa, Bruna Anair Souto Dias, Everaldo Moreira da Silva*

#### **RESUMO**

A sobrevivência de clones de eucalipto após o plantio é um desafio em alguns locais de produção do Cerrado piauiense. Este fato pode estar relacionado com a dinâmica da água no solo e sua disponibilidade para as plantas. Neste contexto, este estudo foi realizado para avaliar os atributos físicos e hídricos do solo em povoamentos comerciais de *Eucalyptus* spp. com plantas mortas e vivas. O estudo foi realizado no município de Regeneração, Estado de Piauí. Foram avaliados cinco perfis de solo em cada área, coletando amostras de solo deformadas e indeformadas para análises físicas e atributos hídricos. As amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60, 0,60-1,0 e 1,0-2,0 m de profundidade. Foi avaliada a densidade do solo, porosidade total, condutividade hidráulica saturada, curva de retenção de água do solo, distribuição dos poros por tamanho, capacidade de água disponível e o índice S. As variáveis estudadas não apresentaram diferenças entre os atributos físicos e hídricos nas áreas com plantas mortas e vivas. A condutividade hidráulica saturada foi alta em ambas as áreas, 331 mm h<sup>-1</sup> e 294 mm h<sup>-1</sup> na camada superficial, nas áreas com plantas vivas e mortas. O índice S indicou estrutura adequada para crescimento de plantas de eucalipto, com valores muito semelhantes entre as duas áreas. Considerando que os atributos físicos e hídricos nas duas áreas avaliadas não podem explicar a causa da morte de plantas de eucalipto, sugere-se a realização de pesquisas sobre a variabilidade

genética nas áreas estudadas, e sua adaptação às condições climáticas no Estado do Piauí.

**Palavras chave:** estrutura do solo, déficit hídrico, distribuição do tamanho de poros, capacidade de água disponível.

### ABSTRACT

Eucalyptus clones survival at three year after planting is a problem in some production sites in Piauí Cerrado. In theory, this survival can be related with water dynamic in the soil, and it availability for eucalyptus plants. This study was carried out to evaluate soil physical and hydric attributes in stands of *Eucalyptus* spp. in commercial growth with dead and live plants. Two areas were studied, one with live eucalyptus plants and another with dead eucalyptus plants, in the farm Chapada Grande-Real Agropecuária, Regeneração municipality, Piauí State. It was evaluated five soil profiles within each area, collecting disturbed and undisturbed soil samples for physical and hydric attributes analysis. Soil samples were collected in the layers 0-0.10, 0.10-0.20, 0.20-0.40, 0.40-0.60, 0.60-1.0 and 1.0-2.0 m depths. It was evaluated bulk density, total porosity, saturated hydraulic conductivity, soil water retention curve, size pores distribution, available water capacity and S index. The variables measured did not show differences between physical and hydric attributes in the areas with dead and live plants. Saturated hydraulic conductivity was high in both areas, 331 mm h<sup>-1</sup> and 294 mm h<sup>-1</sup>, in the surface layer, in dead and live plants areas, respectively. S index indicated appropriate structure for eucalyptus plants growth, with very similar values between the two areas. Whereas, soil physical and hydric attributes in two areas evaluated cannot explain the cause of eucalyptus plants death, it is suggested carrying out research about genetic variability in the studied areas, and their tolerance to climatic conditions in Piauí State.

**Key-words:** soil structure, hydric deficit, pore size distribution, available water capacity.

## INTRODUÇÃO

O setor florestal é reconhecido pela importante contribuição, tanto no aspecto econômico, bem como nos aspectos ambientais e sociais. Além de fornecer produtos ambientalmente corretos, as árvores plantadas ajudam na conservação dos ecossistemas, pois a utilização de madeiras provenientes do reflorestamento diminui a pressão de desmatamento nas florestas naturais e pode contribuir para a recuperação de áreas degradadas (SOUZA, 2014).

A área de árvores plantadas para fins industriais no Brasil totalizou 7,74 milhões de hectares em 2014 (IBÁ, 2014). Desse total, o eucalipto ocupa 5,56 milhões de hectares localizados principalmente nos estados de Minas Gerais (25,2%), São Paulo (17,6%) e Mato Grosso do Sul (14,5%) onde, essas áreas são compostas, sobretudo, por espécies híbridas e clones de eucalipto (*Eucalyptus* spp.). Ainda assim, o Brasil apresenta grande potencial de crescimento, o que torna essencial o desenvolvimento de pesquisas com esta espécie.

O cerrado piauiense ocupa a 15ª posição em área de floresta plantada no Brasil, com aproximadamente 37.630 ha (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2016), em especial com as espécies do gênero *Eucalyptus* spp. Alguns dos fatores que contribuíram para a ocupação e desenvolvimento da cultura do eucalipto no cerrado foram os solos bem drenados, profundos e passíveis de mecanização e, também o clima sazonal, com períodos seco e chuvoso a cada seis meses (LOPES, 2013).

A produção do eucalipto depende, principalmente, do conhecimento do fator climático associado ao tipo de solo em que os clones da espécie de eucalipto são

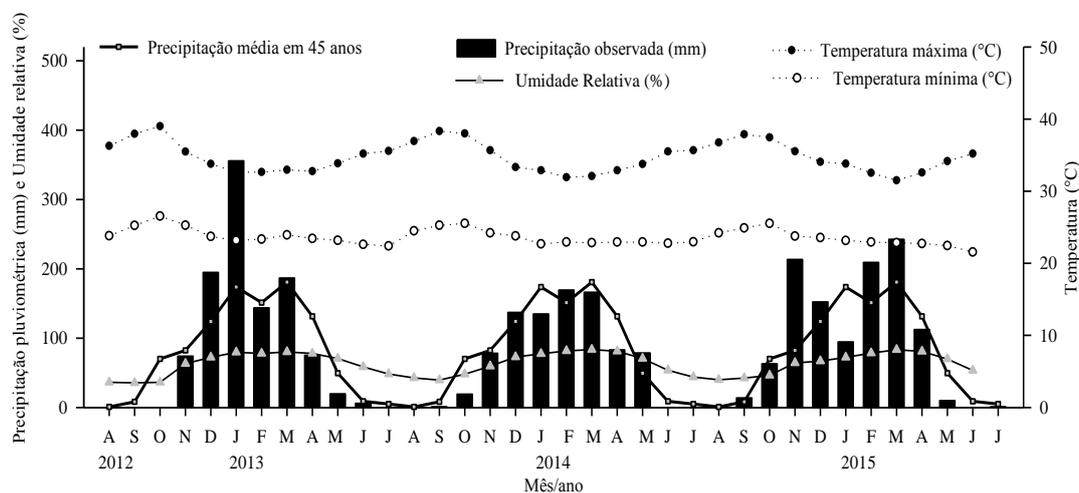
cultivados e isso reflete diretamente na produtividade final do sítio. Dentre os elementos controladores da produtividade do eucalipto, o aporte hídrico é um dos mais importantes (RYAN et al., 2010). Isto porque a disponibilidade hídrica do solo provoca efeitos diretos e indiretos no desenvolvimento das árvores (VOSE & SWANK, 1994). A maior demanda por água pelas espécies florestais ocorre aos três anos de plantio. No entanto, a necessidade hídrica pela cultura pode aumentar de acordo com o tipo de solo, condições locais, regime pluviométrico da região e práticas de manejo (OLERIANO & DIAS, 2007). Contudo, o déficit de água ou nutrientes, nesse período, pode comprometer o crescimento futuro do povoamento, e em muitos casos levar a morte das plantas.

O cultivo de eucalipto no estado do Piauí é relativamente recente e tem apresentado crescimento nos últimos anos. Entretanto, a morte de plantas de eucalipto já adultas tem se tornado um problema frequente. As principais causas apontadas para a morte das plantas são (1) déficit hídrico e/ou (2) problemas relacionados à física do solo, que restringem o desenvolvimento radicular. Portanto, fazem-se necessários estudos da avaliação da dinâmica da água no solo e sua relação com o desenvolvimento da cultura do eucalipto na região, a fim de esclarecer as causas da morte das árvores. Assim, o trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar os atributos físicos e hídricos em povoamentos de clones de *Eucalyptus* spp. em áreas com plantas mortas e plantas vivas.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho foi realizado em áreas de plantio comercial de eucalipto da Fazenda Real Agropecuária (6°14'16'' S e 42°41'18'' W), situada no município de Regeneração, PI. O clima, segundo Köppen, é classificado como Aw. A estação chuvosa é de outubro a abril, sendo janeiro a março o trimestre mais chuvoso, com ocorrência de possíveis veranicos (MATIAS et al., 2009). As informações climatológicas correspondem à

região de Floriano, estação meteorológica mais próxima de Regeneração. Os dados meteorológicos das médias de 45 anos (Figura 1), seguem conforme as informações disponíveis no INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).



**Figura 1.** Média histórica dos dados meteorológicos do município de Floriano-PI, retirado do site do INMET.

Considerando o mesmo banco de dados do INMET, foi calculada a média diária de 10 anos da Evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ), conforme o método de Penman-Monteith, obtendo-se o valor  $ET_o = 6,0$ . Posteriormente, adotou-se o coeficiente de cultivo da cultura ( $K_c$ ) de 0,82, para eucalipto em estágio de médio desenvolvimento (ALVES et al., 2013). Depois, calculou-se a Evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ), conforme a equação (1):

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (1)$$

Em que:  $ET_c$  = Evapotranspiração da cultura;  $ET_o$  = Evapotranspiração de referência;  $K_c$  = Coeficiente da cultura.

O solo é classificado como Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 2013), com textura média e a caracterização química está descrita na Tabela 1. O relevo é plano regular, com altitude máxima de 400 a 500 m, coberto por material areno-argiloso (IBGE, 1977).

Antes da implantação das mudas foi realizada a correção do solo, utilizando-se 2 t ha<sup>-1</sup> de calcário. Em seguida, realizou-se uma subsolagem até 0,60 m de profundidade e o coveamento foi feito na linha subsolada. Depois foi realizada a adubação de base com 400 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples, e 130 kg ha<sup>-1</sup> do adubo formulado 06-30-06 (N-P-K). Já a adubação de cobertura foi realizada duas vezes utilizando-se 110 kg ha<sup>-1</sup> do adubo 20-00-20, seis meses e um ano após o plantio. A eliminação das plantas invasoras foi realizada com roçadeira mecânica uma vez por ano. O plantio de *Eucalyptus* spp. foi realizado em janeiro de 2012 utilizando-se mudas, com espaçamento de 3 x 2 m.

**Tabela 1.** Caracterização química do solo nas áreas estudadas.

Profundidade (m)	pH (H <sub>2</sub> O)	P -- mg dm <sup>-3</sup> --	K	Ca	Mg	Al	H + Al ----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----	SB	V %	MO dag kg <sup>-1</sup>
<b>Área com plantas mortas</b>										
0-0,10	4,0	4,2	0,19	2,88	0,77	0,73	13,2	3,84	21,6	3,73
0,20-0,40	3,9	2,0	0,06	2,16	0,41	0,77	11,7	2,63	17	3,33
0,40-0,60	3,9	1,3	0,05	2,59	0,40	0,57	10,0	3,04	22,3	2,40
<b>Área com plantas vivas</b>										
0-0,10	3,5	3,0	0,12	1,95	0,35	0,97	13,5	2,42	14,3	4,27
0,20-0,40	3,6	2,4	0,10	2,54	0,36	0,70	12,2	3,00	8,04	3,97
0,40-0,60	3,7	1,2	0,04	2,47	0,39	0,60	9,8	2,90	21,8	2,47

pH = potencial de hidrogênio; P = fosforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Al = alumínio; H+AL = hidrogênio+alumínio; SB=soma de bases; v = saturação/base; MO = matéria orgânica.

Em fevereiro de 2015 foram escolhidas duas áreas representativas na fazenda onde, em uma delas as plantas de eucalipto estavam vivas, enquanto na outra área, as plantas de eucalipto estavam mortas, após três anos de plantio. Foram realizadas as coletas de amostras deformadas e indeformadas de solo em 5 perfis com plantas vivas e 5 perfis com plantas mortas.

A amostragem do solo foi realizada nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60, 0,60-1,0 e 1,0 a 2,0 m de profundidade. As amostras indeformadas foram coletadas, utilizando-se cilindros de aço inoxidável com volume aproximado de 100 cm<sup>3</sup>. Essas amostras foram envoltas em plástico filme, para manter a umidade e auxiliar

na preservação da estrutura, até serem processadas no laboratório de Física e Conservação do Solo, da Universidade Federal do Piauí.

Nas amostras deformadas foram realizadas análises físicas e químicas para fins de caracterização das áreas estudadas. As análises físicas foram distribuição granulométrica e densidade de partículas (Dp). A análise granulométrica foi determinada pelo método da pipeta (GEE & BAUDER, 1986). A densidade das partículas (Dp) foi determinada pelo método do balão volumétrico (BLAKE & HARTGE, 1986).

Foram utilizadas amostras indeformadas nas quais se determinou a densidade do solo (Ds), a porosidade total (PT), a curva de retenção de água do solo (CRA), a condutividade hidráulica do solo saturado (Ksat), a capacidade de água disponível no solo (CAD) e a inclinação no ponto de inflexão (S) da curva de retenção de água.

A Ds foi determinada pelo método do anel volumétrico (BLAKE & HARTGE, 1986). A PT foi calculada a partir da relação entre a densidade do solo (Ds) e a densidade de partículas (Dp), através da equação (2), conforme descrita por Vomocil (1965).

$$PT=1-Ds/Dp \quad (2)$$

Em que: PT = porosidade total; Ds = densidade do solo; Dp = densidade de partículas.

A CRA foi determinada com a saturação das amostras indeformadas contidas em uma bandeja por 24 h na qual, a ascensão da água ocorreu por meio da capilaridade. Após a saturação, as amostras foram pesadas para medir a massa de água correspondente ao ponto de saturação (0 kPa). Posteriormente foram submetidas aos seguintes potenciais matriciais: -0, -10, -33, -70, -100, -500 e -1500 kPa, utilizando-se a câmara de pressão de Richards com placa porosa (KLUTE, 1965). Após atingir o equilíbrio, entre o potencial aplicado e a umidade do solo, as amostras foram pesadas

para quantificar a umidade em cada potencial aplicado. Ao final do último potencial aplicado (-1500 kPa), as amostras foram colocadas na estufa à 105 °C por 24h e foi determinada a massa do solo seco e a umidade gravimétrica (kg kg<sup>-1</sup>)

A CRA foi obtida através da relação entre a umidade e o potencial matricial de água no solo nas tensões aplicadas. Os parâmetros do modelo foram estimados por meio de regressão não linear de Van Genuchten (1980), conforme a equação (3), com o auxílio do software “Curve Retention” (RETC) (VAN GENUCHTEN et al., 1991).

$$\theta = (\theta_{\text{sat}} - \theta_{\text{res}}) \left[ 1 + (\alpha h)^n \right]^{-m} + \theta_{\text{res}} \quad (3)$$

Em que:  $\theta$  corresponde a umidade volumétrica do solo,  $\theta_{\text{sat}}$  e  $\theta_{\text{res}}$  são o conteúdo de água do solo correspondentes a saturação e a umidade residual, respectivamente (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>);  $h$ = potencial matricial da água do solo (em kPa);  $\alpha$ ,  $n$  e  $m$  são parâmetros empíricos do modelo; onde  $m$  e  $n$  são adimensionais e  $\alpha$  expresso em kPa.

A partir dos dados obtidos na CRA, foi possível calcular a distribuição de poros por tamanho, conforme proposto por Jongerius (1957), conforme a tabela 2.

**Tabela 2.** Classificação de poros do solo com base na sua distribuição de tamanho.

Referência	Diâmetro do poro (µm)	Raio do poro (µm)	Categoria
Jongerius (1957)	100-5000	50-2500	Macroporos
	30-100	15-50	Mesoporos
	0,002-30	0,001-15	Microporos

Calculou-se também a distribuição do tamanho de poros com base nas curvas de retenção (LIBARDI, 2012), pelo cálculo do “raio equivalente” em cada potencial, pela teoria da capilaridade, conforme a equação (4).

$$r = (2 \cdot \sigma \cdot \cos\varphi) / (\rho_{\text{sol}} \cdot g \cdot h) \quad (4)$$

Em que  $r$ = raio dos poros = 50 e 15 e 1µm.  $\sigma$  = tensão superficial da água = 0,072 N m<sup>-1</sup>;  $\varphi$  = ângulo de contato entre a água e a parede do poro = 0;  $\rho_{\text{sol}}$  = densidade da

solução =  $1000 \text{ kg m}^{-3}$ ;  $g$  = aceleração da gravidade =  $9,8 \text{ m s}^{-2}$ ; e  $h$  = altura da coluna de água (potencial aplicado).

Ainda conforme Libardi (2012) foi calculada a porcentagem de poros com diâmetro superior ao calculado para cada potencial, conforme equação (5):

$$\%p = 100x[1 - (PT - \theta)/PT] \quad (5)$$

Em que: % p = porcentagem de poros do solo com diâmetro superior ao calculado para cada potencial; PT = porosidade total do solo (%);  $\theta$  = umidade volumétrica correspondente ao potencial utilizado para o cálculo do diâmetro dos poros (%).

A  $K_{sat}$  foi determinada utilizando-se o método da carga decrescente (REYNOLDS & ELRICK, 2002), determinada utilizando-se a equação (6):

$$K_{sat} = \left(\frac{\Phi}{\Phi_s}\right)^2 \left(\frac{L}{t}\right) \text{Ln} \left(\frac{h_0}{h_1}\right) \quad (6)$$

Em que:  $\Phi$  = diâmetro do anel cilíndrico sem solo (m);  $\Phi_s$  = diâmetro do anel com solo (m);  $L$ ,  $h_0$  e  $h_1$  = alturas dadas em metros (m);  $t$  = tempo em segundos (s);  $K_{sat}$  = condutividade hidráulica saturada em  $\text{mm h}^{-1}$ .

Com base nos parâmetros obtidos da curva de retenção, foi determinado o índice S (DEXTER, 2004), que expressa a tangente à CRA no solo no ponto de inflexão, conforme equação (7):

$$S = -n (\theta_s - \theta_r) [1 + 1/n]^{-(1+m)} \quad (7)$$

Em que: S = valor da inclinação da CRA no seu ponto de inflexão;  $\theta_s$  = conteúdo de água do solo na saturação ( $\text{kg kg}^{-1}$ ) na base gravimétrica;  $\theta_r$  = conteúdo de água residual ( $\text{kg kg}^{-1}$ ); e n e m = parâmetros empíricos da curva de retenção.

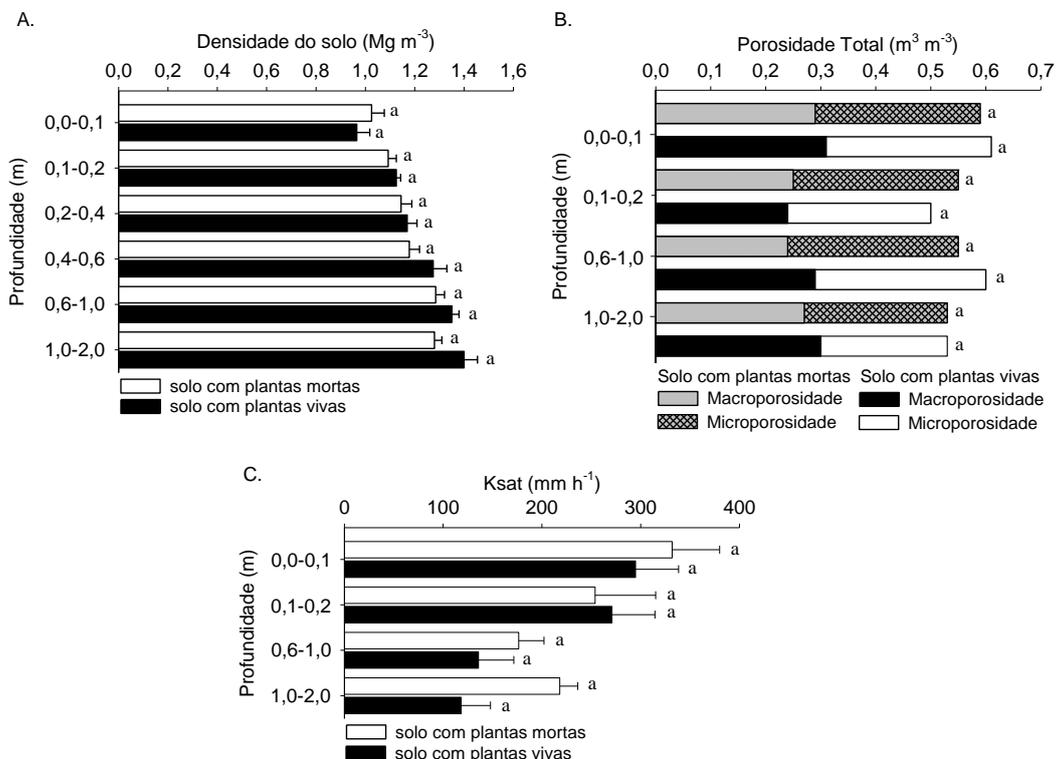
Posteriormente, determinou-se a capacidade de água disponível no solo (CAD), calculada pela diferença entre o conteúdo de água do solo na capacidade de campo (-10 kPa) e o conteúdo de água no ponto de murcha permanente (-1500 kPa), multiplicada

pela densidade do solo e espessura de cada camada estudada, conforme descrito em Libardi et al. (1980).

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk ao nível de 5% de probabilidade. Posteriormente os atributos físicos e hídricos dos perfis de solo foram comparados estatisticamente pelo teste T- pareado ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados observados de Densidade do solo (Ds) não apresentaram diferenças nas áreas com plantas mortas e vivas ( $P > 0,05$ ), conforme a Figura 2 –A,B,C e Tabela 3). A Ds variou de  $1,03 \text{ Mg m}^{-3}$  na primeira camada à  $1,28 \text{ Mg m}^{-3}$  na última profundidade na área com plantas mortas e de  $0,96 \text{ Mg m}^{-3}$  na primeira camada na área com plantas vivas a  $1,26 \text{ Mg m}^{-3}$  na última profundidade.



**Figura 2.** Densidade do solo (A), porosidade total (B) e condutividade hidráulica saturada (Ksat) (C) nas áreas com plantas mortas e plantas vivas, com Eucalyptus spp. aos três anos, no município de Regeneração-PI.

**Tabela 3.** Caracterização das propriedades físicas do solo nas áreas estudadas.

Camadas (m)	Areia -----g kg <sup>-1</sup> -----	Silte	Argila	Ds -----Mg m <sup>-3</sup> -----	Dp
<b>Área com plantas mortas</b>					
0-0,10	570	130	300	1,03	2,56
0,10-0,20	560	140	300	1,09	2,60
0,20-0,60	550	150	300	1,14	2,66
0,60-1,0	570	160	270	1,28	2,72
1,0-2,0	580	160	260	1,28	2,72
CV (%)	1,13	6,25	2,64	8,81	2,52
DP	0,64	0,90	0,77	0,10	0,07
<b>Área com plantas vivas</b>					
0-0,10	570	130	300	0,96	2,53
0,10-0,20	560	140	300	1,13	2,57
0,20-0,60	550	150	300	1,17	2,64
0,60-1,0	570	140	280	1,21	2,69
1,0-2,0	550	150	300	1,26	2,69
CV (%)	1,23	6,09	2,71	0,69	2,50
DP	0,69	0,86	0,80	0,08	0,07

Ds= densidade do solo; Dp= densidade de partículas; CV= coeficiente de variação; DP= desvio padrão.

Arshad et al. (1996), consideraram valores críticos de Ds para solos de textura média variando de 1,40 a 1,50 Mg m<sup>-3</sup>, nos quais passaram a ocorrer a restrição ao desenvolvimento de raízes das plantas de eucalipto. Portanto, os valores observados em todas as profundidades, em ambas as áreas estiveram abaixo do limite restritivo ao desenvolvimento radicular. A menor Ds observada superficialmente pode ser atribuída à densidade das raízes nas primeiras camadas e maior atividade biológica até os 0,30 m de profundidade (LIPIEC, 1991; TREVISAN et al., 2012). Além disso, a menor Ds em superfície pode ser associada às operações de preparo realizadas na área no momento de implantação da floresta.

Menores valores de Ds em áreas reflorestadas com eucalipto há 12 anos foram obtidos por Zalamea (2008) em Nitossolos, Argissolos, Cambissolos e Neossolos. Em sistemas florestais, o aumento da Ds em superfície pode estar relacionado ao tempo de utilização da área, pouca cobertura do solo durante o período inicial de crescimento das plantas, trânsito de máquinas e implementos agrícolas, assim como as condições de umidade do solo no preparo e transplante das mudas (COSTA et al., 2003).

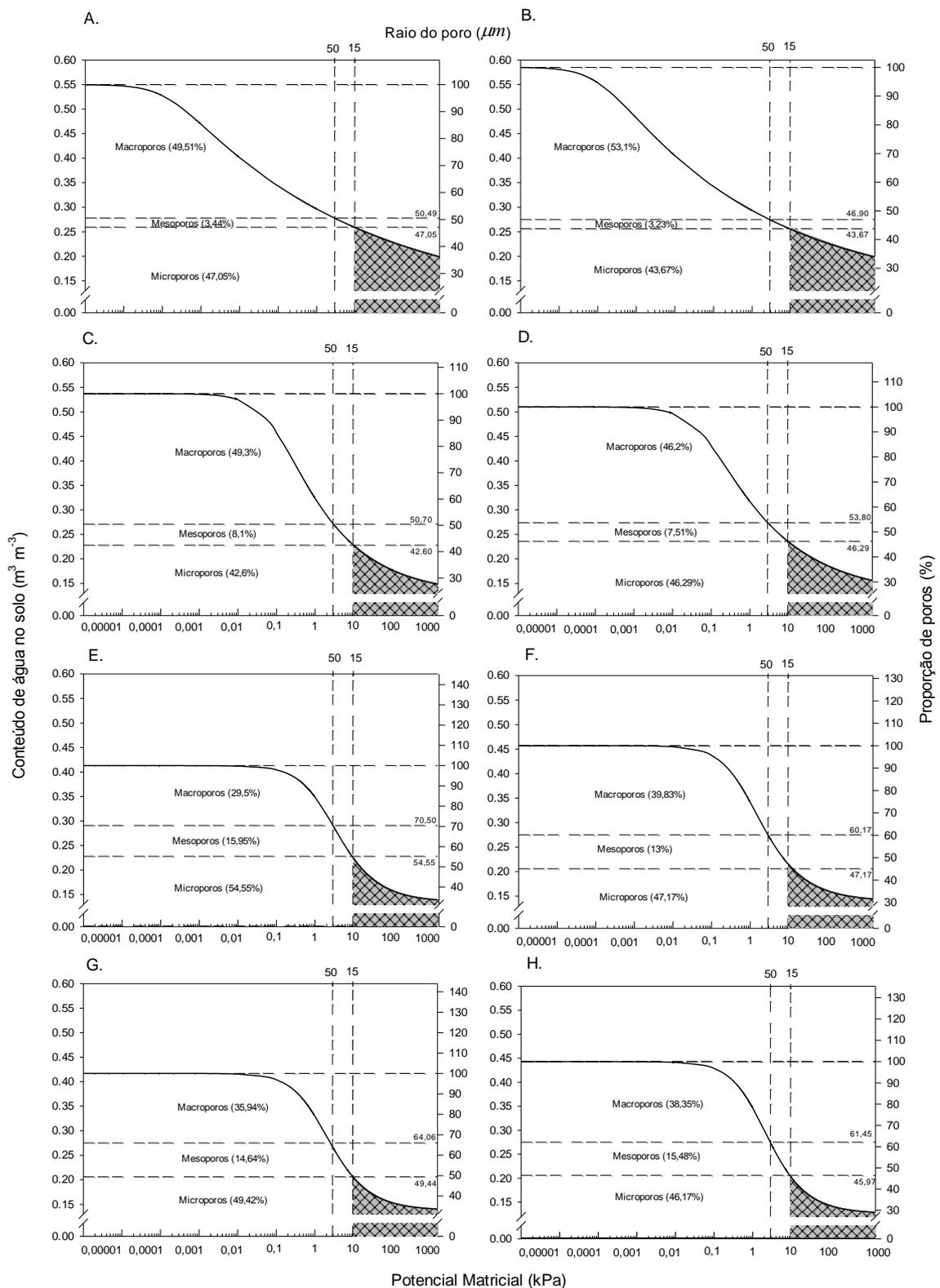
Observa-se também maiores valores na Ds com o aumento da profundidade do solo (Figura 2A) em ambas as áreas avaliadas. O aumento da Ds com a profundidade ocorre devido às alterações nos teores de matéria orgânica, menor agregação, maior compactação, diminuição da porosidade do solo, sistemas de manejo e tipo de cobertura vegetal presente no solo (BICALHO, 2011). Ainda segundo o autor, à medida que a Ds aumenta, ocorrem alterações na estrutura, novo arranjo e volume de poros e mudanças nas características de retenção de água.

A PT do solo apresentou valores semelhantes nas áreas com plantas mortas ( $P > 0,05$ ) (Figura 2.2 B). Os valores de PT variaram de  $0,58 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  na camada de 0-0,10 m de profundidade a  $0,53 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  na última profundidade da área com plantas mortas. Na área com plantas vivas, apresentou valores semelhantes, com  $0,60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  na primeira profundidade e  $0,53 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  na última profundidade.

Os valores de Ksat, para as duas áreas estudadas, também não diferiram em nenhuma das profundidades avaliadas (Figura 2C) ( $P > 0,05$ ). A maior Ksat foi observada nas profundidades superficiais reduzindo com o aumento da profundidade. Na profundidade de 0,05 m a Ksat foi de 331 a 218  $\text{mm h}^{-1}$  nas áreas com plantas mortas e de 294 a 118  $\text{mm h}^{-1}$  nas áreas com plantas vivas, na profundidade de 1,5 m. Valores de Ksat entre 36-360  $\text{mm h}^{-1}$  são considerados como alto e, acima de 360  $\text{mm h}^{-1}$ , muito alto (SOIL SURVEY, 1993), portanto, os valores observados no presente trabalho são considerados altos.

A Ksat de um solo é dependente da geometria e continuidade dos poros preenchidos com água (MESQUITA & MORAES, 2004). Dessa forma, os autores afirmam que, os maiores valores de Ksat são encontrados em solos de maior porosidade total. No entanto, Bouma (1982) relata que, havendo continuidade de poros, mesmo os poros de menor tamanho podem apresentar elevada  $K_{\text{sat}}$ , enquanto poros maiores em

uma dada seção podem não garantir aumento para o fluxo de água no solo, caso haja descontinuidade dos poros. Klein et al. (2015) observaram correlação entre os valores de  $K_{sat}$ ,  $D_s$  e Macroporosidade dos solos onde, o aumento na densidade do solo e diminuição da macroporosidade exerceu efeito negativo na  $K_{sat}$ . Portanto, observa-se dependência entre a  $K_{sat}$  e alterações na estrutura do solo, frequentemente alterada pelo manejo.



**Figura 3.** Curva de retenção de água, água disponível e distribuição de poros por tamanho nas áreas com plantas mortas e plantas vivas de *Eucalyptus* spp. aos três anos de plantio, no município de Regeneração-PI. A e B: áreas com plantas mortas e vivas respectivamente na camada de 0-0,10 m; C e D: áreas com plantas mortas e vivas respectivamente na camada de 0,10-0,20 m; E e F: áreas com plantas mortas e vivas

respectivamente na camada de 0,60-1,0 m; G e H: áreas com plantas mortas e vivas respectivamente na camada de 1,0-2,0 m.

Com as informações da CRA, é possível notar a maior drenagem da água nas profundidades de 0-0,10 e 0,10-0,20 m em ambas as áreas (Figura 3). Este comportamento observado na CRA pode ser relacionado à presença dos poros grandes provenientes das condições estruturais do solo (NEVES JUNIOR, 2008), e composição dos materiais em termos de matéria orgânica e argila (SILVA et al., 2005). De acordo com Neves Junior (2008), em processos de drenagem, o solo esvazia primeiramente os poros estruturais sem que ocorra interferência na retenção de água. Além disso, a força gravitacional predomina em potenciais inferiores à capacidade de campo (-10 kPa). Altos valores de porosidade em profundidades superficiais significam água facilmente drenável, sendo mais importante que a umidade se encontre próxima ao ponto de murcha permanente, já que maiores valores de umidade neste intervalo significa mais água disponível para as plantas (KLEIN & LIBARDI, 2002). Nas profundidades de 0,60-1,0 e 1,0-2,0 m, também não houve diferença nos formatos das CRA, suficiente para justificar a morte das plantas ( $P > 0,05$ ).

A quantidade de água presente no potencial de -10 kPa referida na literatura como umidade na capacidade de campo, apresentou valores de 0,25, 0,22, 0,22 e 0,20  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  nas áreas com plantas mortas e 0,25, 0,23, 0,21, 0,20  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  nas áreas com plantas vivas, nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,60-1,0 e 1,0-2,0 m, respectivamente. Já no solo em condição de umidade no ponto de murcha permanente (-1.500 kPa) apresentaram umidade de 0,19, 0,14, 0,13 e 0,14  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  nas áreas com plantas mortas e 0,19, 0,15, 0,14 e 0,12  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  nas áreas com plantas vivas, nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,60-1,0 e 1,0-2,0m, respectivamente.

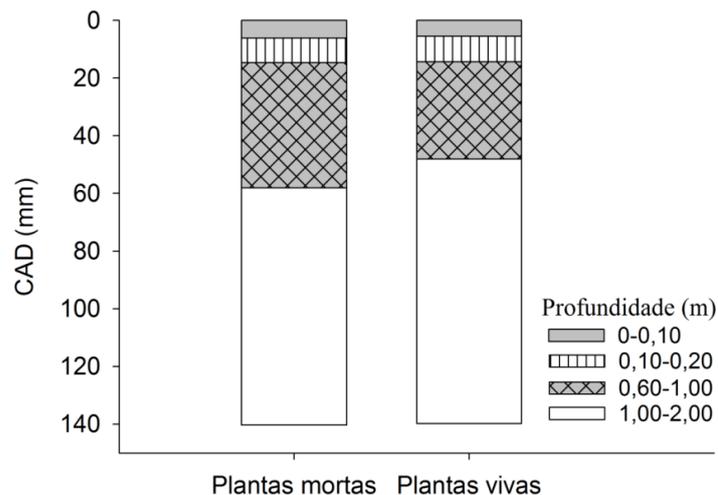
A distribuição de poros nas áreas com plantas mortas e vivas não diferiram entre si (Figura 3) ( $P > 0,05$ ). Nestes solos, a distribuição de poros por tamanhos apresentou

duas classes de poros distintos: a primeira, relacionada àqueles muito grandes, que promovem rápida drenagem interna do solo, e a segunda, caracterizada por apresentar poros muito pequenos, onde a água fica retida com energia muito alta, caracterizando-a como água higroscópica (KLEIN & LIBARDI, 2002).

A maior quantidade de poros menores nas camadas de 0,60-1,0 e 1,0-2,0 m (Figura 3E e F) justificam os menores valores de  $K_{sat}$  encontrados nessas camadas. A influência destes fatores diminui com o aumento da profundidade, o que justifica, em parte, o decréscimo dos valores de  $K_{sat}$  obtidos nas camadas mais profundas do solo. O estudo do tamanho de poros é essencial na obtenção de informações sobre permeabilidade do solo ao ar, processos de infiltração, redistribuição e de retenção da água no solo Ribeiro et al. (2007).

Oliveira et al. (2004) afirmam que os Latossolos apresentam elevada porosidade drenável, assim como elevado volume de poros com diâmetro extremamente pequeno ( $<2,9 \mu\text{m}$ ) e poucos poros intermediários. Neste sentido, os elevados valores encontrados no trabalho podem ser justificados pelas alterações das distribuições de poros, a presença de raízes nessas camadas e a adição de matéria orgânica promovida pela queda das folhas e ramos, o que favorece o desenvolvimento de macro e micro fauna e, conseqüentemente, o aumento da porosidade do solo (TREVISAN et al., 2012).

Comparando a capacidade de água disponível (CAD) para as plantas entre as duas áreas (plantas mortas e plantas vivas) para cada camada de solo, não se verificou diferenças ( $P>0,05$ ) (Figura 4). As camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m das duas áreas estudadas, apresentaram CAD, de 6,08 mm nas áreas com plantas mortas e 5,45 mm nas áreas com plantas vivas. Possivelmente isso esteja associado à presença de poros de maior tamanho nas primeiras camadas, o que reflete nos baixos valores de  $D_s$ , 1,03 e  $0,96 \text{ Mg m}^{-3}$  nas áreas com plantas mortas e vivas, respectivamente (Figura 2A).



**Figura 4.** Capacidade de água disponível (CAD) do solo com plantas mortas e plantas vivas de *Eucalyptus* spp. aos três anos de plantio, no município de Regeneração-PI.

Vale salientar, que as maiores variações de armazenamento de água podem ocorrer nas profundidades superficiais, já que nestas camadas há uma maior dinâmica da água devido às perturbações na estrutura do solo. Além disso, a textura, estrutura e a matéria orgânica são os principais fatores que interferem na capacidade do solo em reter água (ALMEIDA & SANCHES, 2014).

Nas camadas de 0,20-0,60 e 0,60-1,0 m, a CAD foi de 43, 34 mm e 33,71 mm, nas áreas com plantas mortas e vivas, respectivamente. Nota-se, portanto, maior capacidade de armazenamento de água comparada com a profundidade de 0-0,10 m. Este incremento na CAD deve-se à maior presença de microporos, sendo estes induzidos pelo aumento da  $D_s$  em profundidade. Ao considerar a profundidade de 1,0-2,0 m, os valores de CAD para as duas áreas foram de 82,27 mm e 91,69 mm, e também não apresentam diferenças ( $P > 0,05$ ).

Em solos cultivados com espécies florestais, a CAD geralmente varia de 150 a 300 mm (PEREIRA et al., 2002). Ao realizar o zoneamento potencial para o cultivo do eucalipto, Guimarães et al. (2010) encontraram valores de CAD de 220 mm  $m^{-3}$  em um Latossolo de textura média a argilosa no estado de Minas Gerais. Estes valores são maiores que os resultados obtidos neste trabalho, considerando a mesma classe textural

e a mesma profundidade analisada pelos autores. No entanto, a idade do plantio e os clones utilizados contribuem para a menor ou maior extração de água no solo pela cultura do eucalipto (MELLO et al., 1998). Em plantios de eucalipto de três anos de idade, Stape & Gomes (1996) encontraram a CAD de 200 mm, enquanto a variação de 137 a 171 mm foi determinada por Sacramento Neto (2001) para povoamentos também com três anos de idade, mas com materiais genéticos diferentes de eucalipto.

No presente estudo, observou-se a presença da raiz principal do eucalipto em profundidades superiores a 3,0 m. Ao considerar o espaçamento utilizado nas áreas de 3 x 2 m, o volume de solo ocupado pelas raízes foi de 18 m<sup>3</sup>. No entanto, a maior parte das raízes finas do eucalipto desenvolve-se no primeiro metro de profundidade (GIORDANO, 1969), sendo estas, as principais responsáveis pela absorção de água e nutrientes (WITSCHORECK et al., 2003). Ainda neste contexto, Incoll (1979) estudou um povoamento florestal após 29 anos de plantio e verificou que nos primeiros 0,60 m do perfil do solo ocorreu a concentração de 98 % do peso seco das raízes. No entanto, a distribuição das raízes finas no perfil do solo em plantios de eucalipto é variável em função do material genético e época do ano (MELLO et al., 1998). Ainda segundo os autores, os genótipos menos produtivos tendem a ter maior quantidade de raízes finas nas camadas superficiais do solo. Além disso, a profundidade efetiva dos Latossolos, segundo Deccetti et al. (2013), exerce influência na presença das raízes, pois 76% se concentraram na profundidade de 1,0 m.

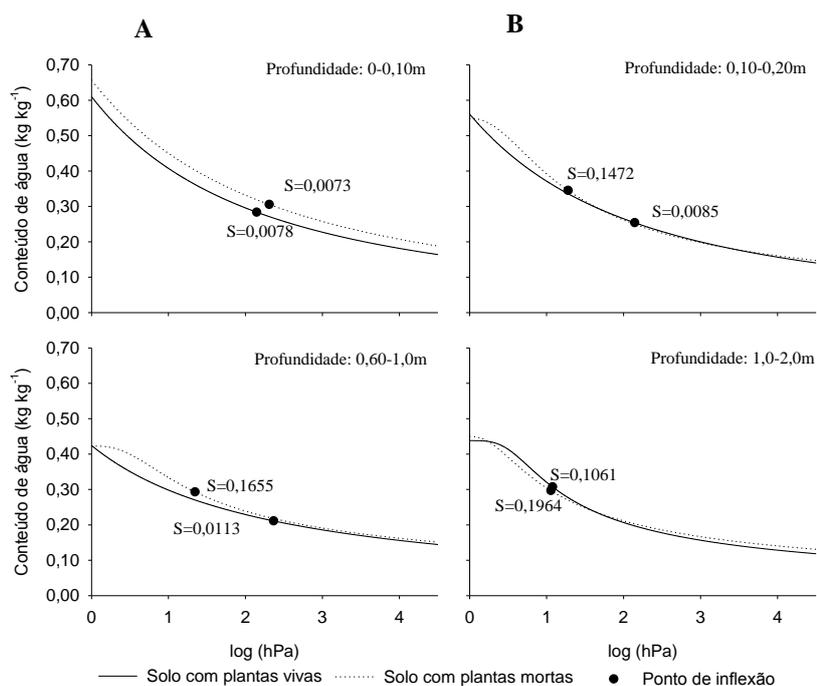
O solo é um reservatório de água para as plantas e a taxa de infiltração da água possui importância por determinar quanto de água entra no perfil, sendo controlada pela distribuição de tamanho de poros e, sujeita a alterações pelo tipo de manejo realizado (LETEY, 1985). Portanto, a demanda pela evapotranspiração do sistema sem que ocorra a redução no desenvolvimento das plantas é dependente da água armazenada no solo

para as plantas. Neste sentido, vale ressaltar que, com uma  $ET_0$  de 6,0 mm, de acordo com a média diária de 10 anos da base de dados do INMET para a região estudada e um  $K_c$  de 0,82, para plantios de eucalipto de três ou quatro anos (ALVES et al., 2013), a evapotranspiração diária da cultura do eucalipto foi de 4,9 mm dia<sup>-1</sup>. Como a  $CAD_T$  foi de 140,33 e 139,79 mm, nas áreas com plantas mortas e vivas respectivamente, significa que em 29 dias após a precipitação, iniciam-se os processos de restrição hídrica no solo para as plantas de eucalipto. Porém, como os valores de CAD não diferem nas duas áreas ( $P > 0,05$ ) é possível que este atributo não tenha sido o responsável pela morte das plantas.

Aos três anos de plantio, as florestas plantadas de eucalipto possuem elevado dossel vegetativo. Em situações de déficit hídrico toda a água disponível armazenada no solo pode ser utilizada pelas plantas para minimizar os efeitos da elevação da temperatura do dossel, (CARLESSO & SANTOS, 1999). No entanto, Almeida & Soares (2003) afirmam que o *E. grandis*, por exemplo, exercem controle estomático eficiente em condições de baixa disponibilidade de água no solo.

Em áreas reflorestadas com *Eucalyptus*, Rodrigues et al. (2012) encontraram maior quantidade de água armazenada até os 3,0 m de profundidade, porém também verificaram morte das plantas. Neste sentido, pode-se afirmar que a morte das plantas de eucalipto está associada a outros fatores. As taxas mais elevadas de crescimento de *Eucalyptus*, não podem ser associadas somente aos sítios que possuem maior disponibilidade hídrica. No entanto, muitos genótipos são capazes de maximizar a eficiência da água no solo, em caso de déficit hídrico no solo (FIGUEIREDO et al., 2014), por isso, torna-se necessário o conhecimento das interações entre a ecofisiologia da cultura e o local onde será cultivada.

O índice  $S$  indica a qualidade estrutural do solo e sua relação com o desenvolvimento radicular. Pode ser classificado da seguinte forma,  $S > 0,035$  indicativo de solos com estrutura preservada e favoráveis para o crescimento das raízes,  $S < 0,035$  condições restritivas e  $S < 0,025$  como altamente restritivos ao desenvolvimento das raízes das plantas (DEXTER, 2004). Neste contexto, ambas as áreas estudadas foram classificadas como não restritivas ao desenvolvimento das plantas de eucalipto ( $P > 0,05$ ) (Figura 4). Os valores de  $S$  foram 0,078 e 0,073 na profundidade de 0-0,10 m para as plantas vivas e mortas, respectivamente, enquanto na profundidade de 0,10-0,20 m os valores de  $S$  foram 0,0085 e 0,1472 nas áreas com plantas vivas e mortas, respectivamente.



**Figura 5.** Índice  $S$  de Dexter nas áreas com plantas mortas e plantas vivas de *Eucalyptus* spp. aos três anos de plantio, no município de Regeneração-PI. A: áreas com plantas mortas e vivas na camada de 0-0,10 m; B: Áreas com plantas mortas e vivas na camada de 0,1 m; D: Áreas com plantas mortas e vivas na camada de 1,0-2,0 m;

O baixo valor de  $S$  ( $<0,020$ ) observado na camada 0,10-0,20 m na área com plantas vivas indica que o solo está com a estrutura degradada nesta profundidade. No entanto, as plantas continuam vivas, demonstrando o potencial que a espécie tem em se desenvolver, mesmo em solos fisicamente degradados. Justificativa também pela qual o eucalipto é utilizado para recuperação de áreas degradadas (VIANA, 2004). Em áreas de florestas, Streck et al. (2008) encontraram valores de  $S > 0,035$ , indicando melhores configurações de poros no solo. No entanto, Silva et al. (2010) afirma que os valores do índice  $S$  proposto, assumem valores provisórios para a classificação física dos solos.

## **CONCLUSÕES**

Não há diferença nos atributos físicos e hídricos do solo das áreas com plantas mortas e plantas vivas.

O índice  $S$  indica que o solo das áreas estudadas possui estrutura adequada ao desenvolvimento radicular das plantas.

A capacidade de armazenamento de água no solo não difere entre áreas com plantas mortas e plantas vivas.

É possível afirmar que o solo das áreas estudadas possuem condições físicas e hídricas favoráveis para o cultivo do *Eucalyptus* spp.

Verifica-se a necessidade de mais pesquisas sobre novos materiais genéticos de clones de *Eucalyptus* spp. a serem utilizados nas condições edafoclimáticas do local do estudo.

## **Agradecimentos:**

Agradeço à fazenda Real Agropecuária, por disponibilizar a área do estudo e apoio financeiro para realização das análises. A CAPES pela Bolsa de mestrado e a UFPI pelo apoio logístico e disponibilidade de laboratórios.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, M. E. B.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; & NEVES, J. C. L. Estimate of the crop coefficient for *Eucalyptus* cultivated under irrigation during initial growth. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 2, p. 247-253, 2013.
- ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. V. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e floresta ombrófila densa (Mata Atlântica) na costa Leste do Brasil. **Revista Árvore**, Minas Gerais, v. 27, n. 2, p. 159-170, 2003.
- ALMEIDA, R. F.; SANCHES, B. C. Disponibilidade de carbono orgânico nos solos do cerrado brasileiro. **Revista Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 13, n. 4, p. 259-264, 2014.
- ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Eds.) **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of América, p.123-141, 1996.
- BICALHO, I. M. Um estudo da densidade do solo em diferentes sistemas de uso e manejo. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, vol.7, n.12, p. 1-9, 2011.
- BLAKE, G.R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. Madison: ASA-SSSA, p. 363-375, 1986.
- BOUMA, J. Measuring the conductivity of soil horizons with continuous macropores. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.46, n. 2, p.438-441, 1982.
- CARLESSO, R.; SANTOS, R. F. Disponibilidade de água às plantas de milho em solos de diferentes texturas. **Revista brasileira de ciência do solo**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 17-25, 1999.
- COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetada pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.3, p.527-535, 2003.
- DECCETTI, S. F. C.; NETO, A. E. F.; CURI, N.; BATISTA, R. O.; BENATTI, B. P. Desenvolvimento do sistema radicular do eucalipto em duas classes de solo em áreas da Saint-Gobain Canalização. In: XXII Congresso de Pós-graduação da UFLA, 2013, Lavras.
- DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, n. 3-4, p. 201-214, 2004.
- EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro**, 2013.
- FIGUEIREDO, F. A. M. M. D. A.; CARNEIRO, J. G. D. A.; PENCHEL, R. M.; CAMPOSTRINI, E.; THIEBAUT, J. T. L.; BARROSO, D. G. Trocas gasosas, relações hídricas e eficiência fotoquímica em mudas clonais de eucalipto com permanência prolongada em tubetes. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 104, p. 533-542, 2014.
- GEE, G.W.; J.W. BAUDER. Particle-size analysis. In: A. Klute (Ed.) **Methods of soil analysis**. Part 1. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, p. 383-411, 1986.
- GIORDANO, E. Osservazioni sull'apparato radicale dell'*Eucalyptus globulus* Labill. **Pubblicazioni Del Centro di Sperimentazioni Agricola e Forestale**, n.10, p. 135-147. 1969.
- GUIMARÃES, D. P.; COSTA SILVA, G. G.; AGUIAR SANS, L. M.; LEITE, F. P..

Uso do modelo de crescimento 3-PG para o zoneamento do potencial produtivo do eucalipto no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 192-197, 2010.

IBÁ. **Indústria Brasileira de árvores**. 2015. Disponível em: <<http://www.iba.org/web/pt/dados-fatos>> Acesso em 16/04/15.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Geografia do Brasil. **Região Nordeste**. Rio de Janeiro, SERGRAF. IBGE, 1977.

INCOLL, W. D. Root system investigation in stands of *Eucalyptus regans*. **Forestry Technical Paper**. Forest Commission, Victoria, n. 27, p. 23-32, 1979.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em junho de 2016.

JONGERIUS, A. **Morphological investigations on the soil structure (in Dutch)**. Meded. Found. Land Surv., Bodenk. Studies, 2, Wageningen, the Netherlands, 1957.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 857-867, 2002.

KLEIN, C.; KLEIN, V. A.; LEVINSKI, F.; BORTOLANZA, D. R. Predição da condutividade hidráulica do solo saturado a partir de propriedades físicas do solo. **Vivências**, Erechim, vol. 11, n.21: p.191-198, 2015.

KLUTE, A. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil. In: **Methods of soil analysis I: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling**. Madison: American Society of Agronomy, cap. 13, p. 210-221, 1965.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop productions. **Advison Soil Science**, v. 1, p. 277-294, 1985.

LIBARDI, P. L.; REICHARDT, K.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Simple field methods for estimating soil hydraulic conductivity. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 1, p. 3-7, 1980.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo, Universidade de São Paulo, 346p, 2012.

LIPIEC, J.; HÅKANSSON, I.; TARKIEWICZ, S.; KOSSOWSKI, J. Soil physical proper ties and growth of spring barley related to the degree of compactness of two soils. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 19, p. 307-317, 1991.

LOPES, C.R. **Expansão da silvicultura de eucalipto no bioma cerrado: uma análise sob a perspectiva dos fatores físicos e socioeconômicos**. 2013. 88 p. Dissertação (Mestrado em Agronegócio) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

MATIAS, M. D. C. B.; SALVIANO, A. A. C.; LEITE, L. F. C.; DA SILVA GALVÃO, S. R. Propriedades químicas em Latossolo Amarelo de Cerrado do Piauí sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Ciência Agronômica**, Ceará, v. 40, n. 3, p. 356-362, 2009.

MELLO, S. L. M.; GONÇALVES, J. L. M.; OLIVEIRA, L.E. G. Características do sistema radicular em povoamentos de eucaliptos propagados por sementes e estacas. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 54, p. 16-26, 1998.

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.

NEVES JÚNIOR, A. F. **Qualidade física de solos com horizonte antrópico (Terra Preta de Índio) na Amazônia Central**. 94p. Tese (Doutorado em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

OLERIANO, E. dos S.; DIAS, H. C. T. A dinâmica da água em microbacias hidrográficas reflorestadas com eucalipto. In: Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica da Paraíba do Sul: o Eucalipto e o Ciclo Hidrológico, 1, p. 215-222. **Anais...** Taubaté, 2007.

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 327-336, 2004.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Lavras: Agropecuária, 2002, 478 p.

REYNOLDS, W.D.; ELRICK, D.E. **Falling head soil core (tank) method**. In: Dane, J.H.; Topp, G.C. **Methods of soil analysis**, 3. Ed. Madison: SSSA, 2002. P. 809-812. Pt.4: Physical methods.

RIBEIRO, K. D.; MENEZES, S. M.; MESQUITA, M. DA G. B. DE F.; SAMPAIO, F. DE M. T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, p.1167-1175, 2007.

RODRIGUES, V. A.; FENNER, P. T.; SANSIGOLO, C. A.; MORAES, M. H. SOIL Water estimation in *Eucalyptus grandis* forest. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 4, p. 523-533, 2012.

RYAN MG.; STAPE JL.; BINKLEY, D.; FONSECA, S.; LOOS, R. A.; TAKAHASHI, E. N.; ...; LIMA, A. M. Factors controlling Eucalyptus productivity: How water availability and stand structure alter production and carbon allocation. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, n. 9, p. 1695-1703, 2010.

SACRAMENTO NETO, O.B. **Balanco hídrico em plantios jovens de eucalipto na região de Belo Oriente - MG**. Viçosa, MG: UFV, 2001. 82f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. <http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/as-florestas-plantadas>. Acesso em 20/07/2016.

SILVA, M.A.S.; MAFRA, A.L.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.3, p.544-552, 2005.

SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; DIAS JÚNIOR, M.S.; IMHOFF.; KLEIN, V.A. Indicadores da qualidade física do solo. In: JONG van LIER, q., Ed. **Física do Solo**. Viçosa, MG, SBCS, 2010. 541-281 p.

SOIL SURVEY DIVISION STAFF, **Soil survey manual**. Washington: United States Department of Agriculture, 1993. 437p. (Soil Conservation Service. U.S. of Agriculture Handbook 18).

SOUZA, O. M. M.; COLLICCHIO, E.; PEREIRA, E. Q. AZEVEDO, M. I. R. Zoneamento agroclimático para o Eucalyptus urograndis no Estado do Tocantins, 2014. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, CAMPO GRANDE, 5, 2014, Mato Grosso do Sul. **Anais...** Mato Grosso do Sul: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.231 -239.

STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; HORN, R. Relações do parâmetro S para algumas propriedades físicas de solos do sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2603-2612, 2008. (Número Especial).

TREVISAN, R.; SALEMI, L. F.; GROPPPO, J. D.; SILVA, R. W. C.; MARTINELLI, L. A.; MORAES, J. M. Dinâmica da água em uma microbacia com cobertura florestas de eucalipto localizada na Serra do Mar no Vale do Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 17, p. 207-216, 2012.

- VAN GENUCHTEN, M.T. A closed form equation for predicting hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, n.44, p.892-898, 1980.
- VAN GENUCHTEN, M. Th.; F. J. LEIJ.; S. R. YATES. **The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils**. Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, 1991.
- VIANA, M. B. O eucalipto e os efeitos ambientais do seu plantio em escala. **Câmaras dos Deputados, Brasília**, 2004.
- VOMOCIL, J.A. Porosity. In: BLACK, C.A., ed. **Methods of soil analysis**. Madison: ASA, p. 299-314, 1965.
- VOSE, J. M.; SWANK, W. T. Effect of long-term drought on the hydrology and growth of a white pine plantation in the southern Appalachians. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.64, n.1, p.25-39, 1994.
- WITSCHORECK, R.; SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Estimativa da biomassa e do comprimento de raízes finas em *Eucalyptus urophylla* ST Blake no município de Santa Maria-RS. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 177-183, 2003.
- ZALAMENA, J. **Impacto do uso da terra nos atributos químicos e físicos de solos do rebordo do Planalto-RS**. 79 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.