



UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS HUMANAS  
COLEGIADO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA

JOYCE DAS NEVES CRUZ

AVALIAÇÃO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO E RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO EM  
DIFERENTES USOS DOS SOLOS NA REGIÃO OESTE DA BAHIA

Barreiras, BA

2021

JOYCE DAS NEVES CRUZ

AVALIAÇÃO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO E RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO EM  
DIFERENTES USOS DOS SOLOS NA REGIÃO OESTE DA BAHIA

Trabalho de Conclusão de Curso ou  
Monografia ou Instituto da Universidade do  
Estado da Bahia como requisito parcial para  
obtenção do título de bacharel em engenharia  
Agrônômica.

Área de Engenharia Agrônômica

Concentração: Ciências do Solo

Orientador: Dr. Joaquim Pedro Soares Neto

Co-orientador: Dr. Heliab Bomfim Nunes

Barreiras, BA

2021

FICHA CATALOGRÁFICA  
Sistema de Bibliotecas da UNEB

C957a

Cruz, Joyce das Neves

Avaliação da compactação do solo e resistência à penetração em diferentes usos dos solos na região Oeste da Bahia / Joyce das Neves Cruz. - Barreiras, 2021.  
37 fls.

Orientador(a): Dr. Joaquim Pedro Soares Neto.

Coorientador(a): Dr. Heliab Bomfim Nunes.

Inclui Referências

TCC (Graduação - Engenharia Agrônoma) - Universidade do Estado da Bahia. Departamento de Ciências Humanas. Campus IX. 2021.

1.Solo- Ciências . 2.Solo- Compactação . 3.Solo- Penetração.  
4.Solo- Atributos físico.

CDD: 633

JOYCE DAS NEVES CRUZ

AVALIAÇÃO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO E RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO EM  
DIFERENTES USOS DOS SOLOS NA REGIÃO OESTE DA BAHIA

Trabalho de Conclusão de Curso ou monografia  
Universidade do Estado da Bahia como  
requisito parcial para obtenção do título de  
bacharel, em engenharia Agrônômica.

Área de concentração: Ciências do Solo

Barreiras, 10 de dezembro de 2021

Banca Examinadora:



---

Joaquim Pedro Soares Neto – Doutor (Universidade do Estado da Bahia)



---

Heliab Bomfim Nunes – Doutor (Universidade do Estado da Bahia)



Pedro José Custódio Neto  
Gerente / Barreiras-BA  
Território da Baía do Rio Grande  
Cad.: 83.574.000/7 - ADAB / Barreiras

---

Pedro José Custódio Neto – Mestre (Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia)

Joyce das Neves Cruz– Graduação em Engenharia Agrônômica (UNEB)

*Agradecimento a Deus, a minha família, e aos meus orientadores.*

## RESUMO

Diante da intensa utilização de tecnologias voltadas às operações agrícolas, o processo de compactação do solo é um fator limitante à obtenção de maior produtividade agrícola. Em solos compactados observam-se mudanças na distribuição do sistema radicular das plantas em profundidade, na densidade, porosidade e infiltração de água. A resistência do solo à penetração (RP) torna-se um atributo físico utilizado indiretamente para estabelecer o grau de compactação do solo. Objetivou-se estudar em condições de campo, e posterior avaliação em laboratório a estrutura, capacidade de compactação e RP em solos sob diferentes usos na Região Oeste da Bahia. As amostras foram coletadas em quatro locais abrangendo as seguintes classes de solos: Neossolo Quartzarênico órtico (RQo), Neossolo Flúvico (NY) e dois Latossolos Vermelho-Amarelo, sendo um já cultivado (LVA) e outro com cerrado nativo (LVA1). Realizou-se em cada área o teste com o penetrômetro de impacto, e coletou-se o solo na profundidade de 0-20 cm, onde através do ensaio de Proctor, efetuou-se o teste de compactação. Nas áreas amostradas há uma ampla variação dos dados de RP, a qual pode ser atribuída ao gradiente de umidade imposto e variabilidade da densidade do solo. Ao observar as curvas de compactação aplicando uma mesma energia, a densidade do solo aumentou com o teor de água até alcançar um ponto máximo. Após atingi-lo, adições de água provocaram diminuição da densidade do solo. A equação polinomial de grau 2, gerou para a umidade ótima (wot) uma variação entre 7,78% e 9,25%, no caso da  $D_{sMax}$ , os valores encontrados variaram entre  $1,96Mg\ m^{-3}$  e  $1,99Mg\ m^{-3}$ . A wot foi diretamente proporcional ao conteúdo de argila e inversamente proporcional ao teor de areia do solo. No caso da  $D_{sMax}$ , a argila influenciou de forma inversamente proporcional. A wot do Cerrado Nativo foi a maior em comparação aos demais solos.

**PALAVRAS-CHAVES:** Propriedades físicas, manejo do solo.

## ABSTRACT

In view of the intense use of technologies focused on agricultural operations, the soil compaction process is a limiting factor to obtaining higher agricultural productivity. In compacted soils, can be observed changes in the distribution of the root system of plants in depth, in the density, porosity and water infiltration. The Soil resistance to penetration (RP) becomes a physical attribute used indirectly to configure the degree of soil compaction. The objective was to study in field conditions, and further evaluation in the laboratory, the structure, compaction capacity and PR in soils under different uses in the Western Region of Bahia. The samples were collected from four different places covering the following soil classes: Quartz-sand Orthic Neosol (RQo), Flossic Neosol (NY) and two Oxisols Red-Yellow, one already cultivated (LVA) and another with native savannah (LVA1). It was performed in each area the test with the impact penetrometer, and also, the soil was collected to a depth of 0-20 cm, where through the Proctor test, the compaction test was performed. In the sampled areas there is a wide variation of the PR data, that can be attributed to the variability of the imposed moisture and the variability of soil density. When observing the compactation curves, applying the same energy, soil density increased with the water content until it reached a maximum point. After reaching it, water additions caused a soil density decrease. The equation polynomial of degree 2, generated for the optimum moisture (wot) a variation between 7.78% and 9.25%, in the case of DsMax, the values found varied between 1.96Mg m<sup>-3</sup> and 1.99Mg m<sup>-3</sup>. The wot was directly proportional to the content of clay and inversely proportional to the soil sand content. In the case of DsMax, the clay influenced in a inversely proportional manner. The wot from the Native savannah was the largest compared to the other soils.

**KEYWORDS:** Physical properties, soil management.

## SUMÁRIO

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1.0   | INTRODUÇÃO .....  | 7  |
| 2.0   | REVISÃO DE LITERATURA .....   | 9  |
| 2.1   | Agronegócio na Região Oeste da Bahia .....  | 9  |
| 2.2   | Atributos Físicos.....  | 9  |
| 2.3   | Resistência do Solo à Penetração .....  | 9  |
| 2.3.1 | Utilização de Penetrômetros para a Avaliação da Resistência à Penetração nos Solos 10 |    |
| 2.4   | Compactação do Solo .....   | 11 |
| 3.0   | MATERIAL E MÉTODOS .....  | 13 |
| 3.1   | Histórico de Manejo, Localização, Clima e Solo das Áreas Estudadas.....               | 13 |
| 3.2   | Amostragem .....  | 15 |
| 3.3   | Análise Granulométrica .....  | 16 |
| 3.4   | Resistência à Penetração .....  | 16 |
| 3.6   | Densidade das Partículas.....   | 16 |
| 3.7   | Ensaio de Proctor.....  | 17 |
| 3.8   | Porosidade Total .....  | 17 |
| 3.9   | Índice de Vazios .....  | 17 |
| 3.10  | Análise Estatística .....   | 18 |
| 4.0   | RESULTADOS E DISCUSSÕES .....   | 18 |
| 4.1   | Resistência do Solo à Penetração .....  | 18 |
| 4.2   | Curvas de Compactação dos Solos .....   | 21 |
| 4.2.1 | Densidade Atual e Grau de Compactação dos Solos .....                                 | 24 |
| 4.2.2 | Resistência dos Corpos de Prova Provenientes do Ensaio de Proctor Normal              | 25 |
| 4.5   | Porosidade Total .....  | 27 |
| 4.6   | Índice de Vazios .....  | 28 |
| 5.0   | CONCLUSÕES .....  | 30 |

|                   |    |
|-------------------|----|
| REFERÊNCIAS ..... | 31 |
|-------------------|----|

## 1.0 INTRODUÇÃO

A expansão agrícola no Oeste Baiano iniciou-se na década de 70 permitindo transformar a região em um polo importante na produção de grãos (PIMENTEL, 2011). No entanto, em detrimento a esse crescimento, verifica-se que determinadas técnicas de manejo associadas ao uso intensivo do solo são fatores que podem resultar na alteração da sua natureza, tanto de curto ou em longo prazo, modificando, dessa forma, os atributos físicos ocasionando, por vezes, perda na qualidade do solo (COSTA, 2016).

Considerada uma das principais causas de degradação do solo, a compactação, se dá a partir da redução da macroporosidade, do aumento da microporosidade e da densidade do solo (Torres, 1998), além da redução da condutividade hidráulica, diminuindo, por conseguinte, o espaço de entrada da água no solo, interferindo, assim, no desenvolvimento das plantas (ARAÚJO, et al., 2009).

A resistência à penetração (RP), considerada um atributo físico, é utilizada como indicador de compactação do solo. Dessa forma, em conjunto com a densidade do solo (DS), a RP possui forte influência no crescimento das raízes. Sendo esse fator limitante determinado pelas características pedológicas e o manejo do solo. À medida que há um aumento na RP do solo, observa-se, que há uma redução no desenvolvimento das raízes das plantas e, por conseguinte, na parte aérea. Estabelecendo, dessa forma, uma relação direta entre a DS e RP, porém características como condição estrutural do solo, textura e teor de umidade podem afetar essa relação (LIMA, et al., 2009).

Por ser um parâmetro prático, também relacionado à textura, à densidade e ao teor de água no solo, a RP tem sido utilizado para o monitoramento periódico do estado de compactação do solo, e como indicador na avaliação dos efeitos dos sistemas de manejo do solo sobre o ambiente radicular (CORTEZ et al., 2019).

O penetrômetro tornou-se, portanto, um instrumento importante na avaliação da compactação do solo. O método da penetrometria consiste em quantificar a força exercida no solo em função da penetração de uma ponta cônica, simulando a resistência que o solo oferece à penetração das raízes (MOLIN et al., 2012; LIMA et al., 2013).

Para que a planta possa expressar seu máximo potencial produtivo, a cultura necessita de uma série de fatores favoráveis para o seu crescimento (MAGALHÃES et al., 2010). O desenvolvimento de estudos sobre a RP nas diversas culturas na Região Oeste da Bahia possibilita a identificação do estado de compactação do solo, estabelecendo melhorias para a qualidade física do solo.

Assim sendo, o presente trabalho teve como objetivo verificar a influência dos diferentes usos dos solos na Região Oeste da Bahia nos parâmetros físicos capacidade de compactação e RP do solo.

## **2.0 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Agronegócio na Região Oeste da Bahia**

Atualmente, o Estado da Bahia possui sete mesorregiões, uma delas é a mesorregião do Oeste baiano. Esta mesorregião é formada por três microrregiões são elas: Barreiras, Cotegipe e Santa Maria da Vitória e possui um total de 24 municípios, tendo na sua maioria como composição o bioma do Cerrado (OLIVEIRA & VIEIRA, 2018). O uso do solo na região do Cerrado vem passando por mudanças desde a década de 60, associadas à construção de Brasília e posterior abertura de estradas que ligam o Nordeste às demais regiões do país, associada também à implantação do agronegócio. (AIBA, 2018).

O agronegócio, em virtude da sua forte cadeia produtiva, de processamento, comercialização e consumo tem representado para o Brasil um dos maiores meios de geração de divisas e sustentabilidade do país em termos de renda e balança comercial. Do produto gerado pela agricultura e suas implicações em todo o Brasil. A Bahia vem se destacando como forte contribuinte. Neste contexto, os esforços da mesorregião do Oeste do Estado são de extrema importância, pois representam grande cifra do PIB baiano (OLIVEIRA & VIEIRA, 2018).

### **2.2 Atributos Físicos**

Segundo Islam & Weil (2000), são considerados três grupos de atributos na avaliação da qualidade do solo, tendo como o primeiro grupo os atributos denominados efêmeros, que são aqueles que apresentam oscilações em curto intervalo de tempo, podendo destacar: a temperatura, o pH, o conteúdo de água, a respiração do solo, assim como os teores de nutrientes; para o segundo grupo pode-se englobar os atributos os quais são denominados de intermediários, ou seja, aqueles que são alterados com o manejo após alguns anos, dentre estes incluem-se conteúdo de matéria orgânica (MO), resistência do solo à penetração (RP) e a permeabilidade do solo à água, e, por último, observa-se os atributos definidos como permanentes, aqueles considerados inerentes ao solo, os quais não sofrem alterações a curto prazo, por exemplo, dentre estes podem ser citados os componentes mineralógicos, a textura do solo, profundidade do mesmo, as camadas de impedimentos e o pedoclima.

### **2.3 Resistência do Solo à Penetração**

A resistência do solo à penetração representa juntamente com a densidade e a umidade, atributos físicos do solo, e em conjunto correspondem as condições necessárias para o bom crescimento das raízes (TORMENA et. al., 2002). De forma matemática, RP varia positivamente com a densidade do solo ( $D_s$ ) e negativamente com o conteúdo de água do solo, e matematicamente as relações da RP com  $D_s$  e o conteúdo de água no solo estabelecem a curva de resistência do solo à penetração (CRS) (BLAINSKI et. al., 2008). Já em relação tanto as espécies avaliadas quanto ao sistema de manejo utilizado, os resultados apresentados mostram que a CRS pode ser utilizada como forma de orientação das práticas de manejo visando, dessa forma, à manutenção da qualidade física do solo adequada para que haja um bom crescimento da planta (IMHOFF; SILVA; TORMENA,2000).

Modelos matemáticos que representam a dependência da resistência do solo à penetração e seu conteúdo de água contribuem para o entendimento da relação entre essas duas variáveis, favorecendo a compreensão das propriedades mecânicas do solo que “governam” a compactação. Além disso, é considerada uma importante ferramenta como forma de padronização da resistência do solo à penetração quando obtida em diferentes condições de água no solo, contribuindo para que haja a identificação das condições físicas do solo que são considerados como fatores limitantes para a produtividade das culturas (ALMEIDA et. al., 2008).

De acordo com Stone, Guimarães e Moreira (2002), tem-se observado, principalmente na Região do Cerrado o problema relacionado à compactação do solo, onde como alternativa para a não adoção dos Sistemas Convencionais de manejo do solo que têm causado desagregação excessiva da camada arável, o encrostamento superficial e a formação de camadas coesas ou compactadas, alguns agricultores têm adotado o Sistema de Plantio Direto, sendo relatadas ocorrências de aumento da  $D_s$  e diminuição da macroporosidade, o que tem sido diagnosticado como compactação. Este processo de compactação devido ao fato de, supostamente, prejudicar o crescimento das raízes e o movimento vertical de água, faz com que, muitas vezes, o agricultor seja obrigado a movimentar o solo, desfazendo o trabalho biológico e físico de vários anos, destruindo a estrutura do solo, provocando a rápida mineralização da matéria orgânica, sendo a atividade biológica também prejudicada.

### **2.3.1 Utilização de Penetrômetros para a Avaliação da Resistência à Penetração nos Solos**

Assim sendo, para se determinar a RP do solo faz-se uso dos penetrômetros, trazendo assim vantagens, pois é um método fácil e rápido para se obter os resultados necessários, entretanto, embora sendo considerado uma prática mais conveniente para prever a resistência das raízes no solo, é imprescindível uma interpretação cuidadosa dos resultados, assim como a escolha do design do penetrômetro é essencial para melhorar as estimativas da RP (BENGHOUGH & MULLINS, 1990).

Essa resistência à penetração está relacionada à resistência exercida pelo solo à penetração e crescimento das raízes e, portanto, pode ser utilizada como uma medida da compactação dos solos. Uma questão que tem dificultado bastante o uso de penetrômetros é a dependência da RP com a umidade. Em geral, recomenda-se que se faça a medida em condição de umidade nem muito alta nem muito baixa, preferencialmente na capacidade de campo. Entretanto, essa recomendação não resolve o problema. O ideal seria medir a umidade no momento da sondagem do penetrômetro e posteriormente se efetuar algum tipo de correção ou normalização para um valor constante de umidade (VAZ et. al., 2002).

Para Stoffet. et al., (2014), existem dois principais grupos de penetrômetros, o do tipo estático e o do tipo dinâmico. No primeiro, uma haste com uma ponta cônica é introduzida de forma contínua e lentamente (quase estático), registrando-se concomitantemente a força de reação que é igual à resistência do solo. Já no segundo, utiliza-se a mesma haste, entretanto, esta é introduzida por meio da promoção de uma massa de impacto em queda livre. Diante disso, para se obter o valor da RP, a teoria pode ser tratada pela dinâmica newtoniana.

## **2.4 Compactação do Solo**

Segundo Montavani (1987), a resistência do solo à penetração de um penetrômetro é um indicador secundário de compactação, não sendo medição física direta de qualquer condição do solo. É afetada por outros fatores como: compactação do solo e o teor de umidade dele.

Como resultado desse processo de compactação, observa-se um aumento da resistência do solo e redução da porosidade, da continuidade de poros, da permeabilidade e da disponibilidade de nutrientes e água. Esse processo também reduz o crescimento e o desenvolvimento radicular e aumenta as perdas de nitrogênio por desnitrificação, o consumo de combustível para preparar solos compactados e a erosão do solo pela menor infiltração de água (SOANE & OUWERKERK, 1994).

De acordo com Salton (1999), pôde-se avaliar que o manejo inadequado do solo também corresponde a um dos principais fatores para que haja a compactação, sendo mais visível no momento das práticas agrícolas em concomitância com a umidade do solo provocada no início da chuva.

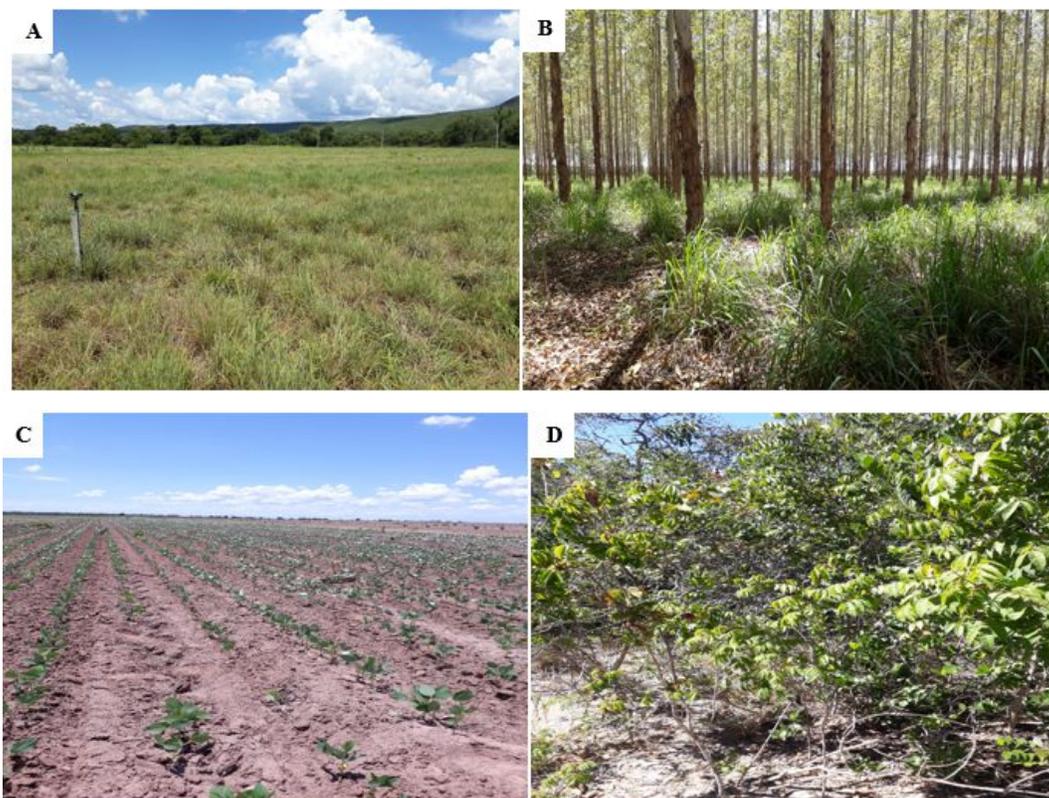
### 3.0 MATERIAL E METÓDOS

#### 3.1 Histórico de Manejo, Localização, Clima e Solo das Áreas Estudadas

O estudo foi realizado em três áreas com quatro sistemas de manejos. Na Fazenda Belo Alto, situada no município de Riachão das Neves-BA, com o sistema de pastagem para ovino irrigada e idade de 3 anos.

Na Fazenda Planalto, situada no município de Barreiras-BA, no qual foram selecionados talhões cultivados com eucalipto e pastagem (SAF) com idade de 9 anos.

E na Fazenda Oriental XI, situada no município de São Desidério-BA, com sistema de plantio convencional (idade de 3 anos) sendo que no segundo ano realizou-se o plantio de sorgo (*Sorghum bicolor*), e no terceiro ano foi realizado o plantio com o feijão (*Vigna unguiculata*), e na mesma Fazenda Oriental XI, citada acima, também realizou-se o estudo em uma área de cerrado nativo conforme a (Figura 1) e a (Tabela 1) abaixo.



Figural: (A, B, C, D) NY: Pastagem Irrigada, RQo: SAF, LVA: Plantio Convencional de Feijão e LVA 1: Cerrado Nativo respectivamente, na região Oeste da Bahia, Barreiras/BA, 2020/2021.

Tabela 1: Uso atual, classes de solos estudadas e localização geográfica dos locais das amostragens, na região Oeste da Bahia, 2020/2021.

| <b>Uso Atual</b>            | <b>Classe de Solos</b>             | <b>Coordenadas</b>             |
|-----------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| <b>Pastagem Irrigada</b>    | Neossolo Flúvico (NY)              | 11°52'28.2" S<br>44°54'47.8" W |
| <b>SAF</b>                  | Neossolo Quartzarênico (RQo)       | 12°08'38.6" S<br>44°55'45.8" W |
| <b>Plantio Convencional</b> | Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA)   | 12°40'32,3" S<br>46°22'40.1" W |
| <b>Cerrado Nativo</b>       | Latossolo Vermelho Amarelo (LVA 1) | 12°35'31,3" S<br>45°22'48.7" W |

SAF (Sistema Agroflorestal)

Tendo como base a classificação de Koppen, o clima da região caracteriza-se como sendo do tipo Aw, ou seja, tropical sub úmido com período chuvoso que vai de outubro a abril e período seco que vão de maio a setembro (DUBREUIL, 2018).

Os solos das áreas avaliadas foram classificados como Neossolo Flúvico (NY) referente ao sistema de Pastagem irrigada, Neossolo Quartzarênico órtico (RQo) a área corresponde ao SAF, e Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) correspondes à área de Plantio Convencional e Cerrado Nativo (EMBRAPA, 2018).

Tabela 2: Análise granulométrica das áreas em estudo, região Oeste da Bahia, 2020/2021.

| Sistema                  | Classe de Solos | Camada (m)                  | Granulometria (g.kg <sup>l</sup> ) |           |        |        |        |
|--------------------------|-----------------|-----------------------------|------------------------------------|-----------|--------|--------|--------|
|                          |                 |                             | Areia                              | Silte     | Argila |        |        |
| <b>Pastagem Irrigada</b> | NY              | 0,00-0,10                   | 866,78                             | 108,81    | 24,41  |        |        |
|                          |                 | 0,10-0,20                   | 869,52                             | 103,50    | 26,97  |        |        |
|                          |                 | 0,20-0,30                   | 871,87                             | 99,92     | 28,21  |        |        |
|                          |                 | 0,30-0,40                   | 819,96                             | 130,01    | 50,02  |        |        |
|                          |                 | 0,40-0,60                   | 819,10                             | 122,64    | 58,25  |        |        |
| <b>SAF</b>               | NQo             | 0,00-0,10                   | 875,11                             | 34,67     | 90,20  |        |        |
|                          |                 | 0,10-0,20                   | 861,01                             | 42,71     | 96,28  |        |        |
|                          |                 | 0,20-0,30                   | 851,85                             | 63,25     | 84,90  |        |        |
|                          |                 | 0,30-0,40                   | 849,03                             | 55,39     | 95,58  |        |        |
|                          |                 | 0,40-0,60                   | 838,10                             | 61,08     | 100,83 |        |        |
|                          |                 | 0,00-0,10                   | 837,53                             | 73,14     | 89,32  |        |        |
|                          |                 | 0,10-0,20                   | 825,08                             | 72,52     | 82,40  |        |        |
|                          |                 | <b>Plantio Convencional</b> | <b>LVA</b>                         | 0,20-0,30 | 828,19 | 80,97  | 80,84  |
|                          |                 |                             |                                    | 0,30-0,40 | 799,26 | 78,75  | 81,99  |
|                          |                 |                             |                                    | 0,40-0,60 | 789,69 | 80,67  | 99,64  |
|                          |                 | 0,00-0,10                   | 867,53                             | 44,21     | 88,25  |        |        |
|                          |                 | 0,10-0,20                   | 869,59                             | 46,64     | 89,76  |        |        |
|                          |                 | <b>Cerrado Nativo</b>       | <b>LVA 1</b>                       | 0,20-0,30 | 777,63 | 135,32 | 89,05  |
|                          |                 |                             |                                    | 0,30-0,40 | 829,90 | 64,49  | 104,60 |
|                          |                 |                             |                                    | 0,40-0,60 | 790,91 | 82,18  | 126,90 |

SAF (Sistema Agroflorestal)

### 3.2 Amostragem

Em cada área analisada, coletaram-se as amostras indeformadas com o auxílio de um anel volumétrico para análise da densidade do solo (DS), macroporosidade (MAP), microporosidade (MIP), porosidade total (PT); e as amostras deformadas para a posterior determinação umidade atual (UA), da granulometria e da química dos solos. Os perfis foram

abertos em quatro pontos nas seguintes profundidades: 0 – 0,10; 0,10 – 0,20; 0,20 – 0,30; 0,30 - 0,40 e 0,40 – 0,60 m.

As amostras, portanto, foram identificadas e levadas ao Laboratório de Física dos Solos da Universidade do Estado da Bahia (UNEB), *Campus IX* para a realização das análises.

### **3.3 Análise Granulométrica**

Para a determinação da granulometria, foi utilizado o método da pipeta por dispersão total, e utilizou-se como agente dispersante o Hidróxido de Sódio (NaOH) (EMBRAPA, 2017).

### **3.4 Resistência à Penetração**

Para a determinação da resistência do solo à penetração, utilizou-se o penetrômetro de impacto. O equipamento foi mantido na posição vertical e a ponteira da haste que possui a graduação apoiada no solo. À medida que se pressionava verticalmente a ponta do penetrômetro, a escala graduada também se aprofundava. Dessa forma, pôde-se fazer a contagem das batidas a serem efetuadas e anotá-las. As leituras foram, portanto, realizadas em até 60 cm de profundidade.

O penetrômetro de impacto também foi utilizado para a determinação da resistência à penetração no corpo de prova em cada uma das unidades no Ensaio de Proctor realizado, a fim de obter um gráfico de resistência.

### **3.5 Densidade do Solo**

Segundo a EMBRAPA (2017), as densidades dos solos foram determinadas pela seguinte equação:

$$D_s = M/V_s$$

Onde,  $D_s$  = densidade do solo ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ),  $M$  = massa do solo (g),  $V_s$  = volume do cilindro ( $\text{cm}^3$ ).

### **3.6 Densidade das Partículas**

De acordo com a EMBRAPA (2017), a densidade das partículas foi determinada conforme metodologia do balão volumétrico. Nesse método foram tomadas as leituras da massa da amostra, volume do balão e volume do álcool anidro total gasto para preencher o balão contendo 20 g de solo. A densidade das partículas foi calculada pela seguinte fórmula:

$$D_r = M \cdot (V_b - V_{aa})$$

Onde,  $D_r$  = densidade real de partículas ( $Mg \cdot m^{-3}$ ),  $M$  = massa da amostra (g);  $V_b$  = volume do balão;  $V_{aa}$  = volume do álcool anidro total gasto para completar o volume do balão.

### **3.7 Ensaio de Proctor**

Para a determinação de cada curva de compactação do solo, fez-se necessário o uso de aproximadamente 15 kg de solo. O mesmo foi seco previamente ao ar, até atingir umidade higroscópica; em seguida destorroado e passado em peneira de malha de 4 mm. O material que ficou retido na peneira foi descartado, juntamente com o material orgânico não decomposto como folhas, talos e raízes perceptíveis a olho nu.

Para obtenção da curva de compactação do solo, utilizou-se o aparelho de Proctor, conforme Norma ABNT 7182. O solo foi compactado em seis corpos de prova com umidades crescentes com intervalo de 2,0% de umidade gravimétrica, partindo-se de uma umidade que permita que o terceiro ponto da curva ficasse próximo à umidade ótima de compactação ( $w_{ot}$ ). Após a compactação, em cada ponto, retiraram-se amostras em duplicatas do corpo de prova para que fosse determinada a umidade do solo ( $w_g$ ).

### **3.8 Porosidade Total**

Foi determinada a partir das amostras do corpo de prova de cada ensaio de compactação para determinação da densidade máxima do solo ( $D_{smax}$ ). Determinando-se o volume de poros na amostra, conforme EMBRAPA (2017):

$$P_t(\%) = (D_r - D_s) \cdot D_r$$

Onde:  $P_t$  = porosidade total ( $m^3 \cdot m^{-3}$ );  $D_r$  = densidade real ( $Mg \cdot m^{-3}$ );  $D_s$  = densidade do solo ( $Mg \cdot m^{-3}$ ).

### **3.9 Índice de Vazios**

O índice de vazios (e), que é a relação entre o volume de vazios e o volume de sólidos, foi determinado pela seguinte fórmula, conforme estabelecido pela EMBRAPA (2017):

$$E = Pt * (1 - Pt)$$

Onde: e = índice de vazios (adimensional), Pt = porosidade total.

### **3.10 Análise Estatística**

Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro solos, cinco camadas de amostragem (0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40; 0,40-0,60) e quatro repetições.

Os dados foram submetidos ao teste F da análise de variância a 5% de probabilidade de erro e aplicado o teste de agrupamento de Tukey através do programa estatístico Assistat 7.7 pt.

O coeficiente de determinação foi obtido entre o índice de vazios e a densidade de partículas e também entre os atributos obtidos no ensaio de Proctor Normal (densidade máxima, umidade ótima e densidade relativa) e todos os demais atributos físicos do solo avaliados.

## **4.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **4.1 Resistência do Solo à Penetração**

Os dados estatísticos para a densidade do solo (DS), resistência à penetração (RP) versus umidade dos solos (Ug) avaliados é ilustrada na Figura 1 abaixo.

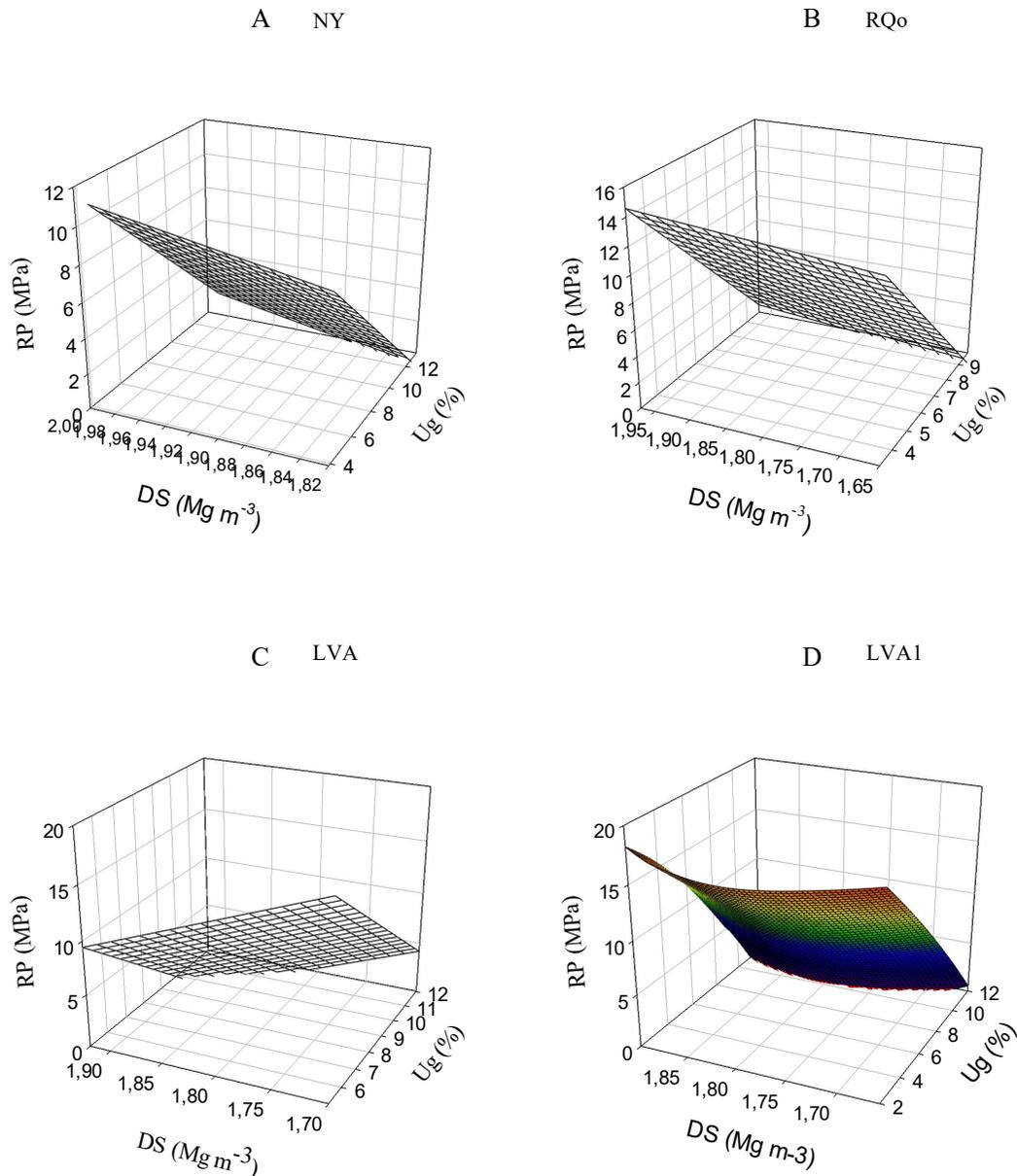


Figura 2: Densidade do solo, resistência à penetração versus umidade do solo ao realizar o teste com o penetrômetro de impacto nas áreas cultivadas na região Oeste da Bahia, 2020/2021. A- NY (PAST): Pastagem de ovinos irrigada com água proveniente da piscicultura; B- RQo (SAF): Área com Eucalipto/Pastagem; C- LVA (PC): Plantio Convencional: Primeiro ano sem plantio, segundo ano plantio de sorgo e terceiro ano plantio de feijão (*Vigna unguiculata*) e o D- LVA1 (CN): Cerrado Nativo.

A Pastagem Irrigada apresentou maiores valores para a variável DS ao longo das camadas do solo se comparada ao Cerrado Nativo, por exemplo. A densidade do solo exerce papel fundamental na resistência à penetração, uma vez que os sistemas de preparo alteram a densidade do solo, constatando-se seu aumento em sistemas de plantio direto, além da sua redução em preparos convencionais (RALISCH et al., 2008). Em sistemas de pastejo intensivo, a probabilidade de que ocorra pisoteio repetidamente no mesmo local aumenta,

promovendo acréscimos nos valores de densidade do solo (IHMOFF, 2000).

Para a umidade do solo, os resultados das análises dos teores de água foram obtidos nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30, 0,30-0,40, 0,40-0,50 e 0,50 a 0,60, para os quatro solos estudados. O teste de média aplicado aos teores de água mostrou que houve diferença significativa, pelo teste de Tukey, para os diferentes solos. Sendo que a Pastagem Irrigada apresentou maiores valores em todas as camadas ao longo do perfil do solo.

Observa-se que para o atributo físico resistência à penetração nas primeiras camadas, até 0-30 cm, houve um aumento significativo nesse parâmetro (Figura 2), ou seja, nessas profundidades a área apresentou-se maior compactação. Desta forma, a presença de equipamentos agrícolas podem ocasionar a formação de uma camada subsuperficial compactada, fato que corrobora com os resultados obtidos por SANTOS et al. (2015).

A resistência apresentada pelo solo pode ser expressa em função do conteúdo de água. Os resultados na Figura 2 demonstram que nas áreas amostradas existem uma ampla variação dos dados de resistência à penetração, a qual pode ser atribuída ao gradiente de umidade imposto e a variabilidade da DS. Verifica-se, portanto, que o secamento do solo, provoca um aumento acentuado na resistência mecânica do mesmo. Assim, quando o solo está seco ou apresenta baixo conteúdo de água, suas partículas apresentam-se mais próximas e difíceis de serem separadas por qualquer força externa (SILVEIRA, 2010).

Na pastagem irrigada (Figura 2 A) apesar de apresentar maiores valores de DS, a mesma possui grande teor de água ao longo do perfil do solo (Figura 1) decorrente da irrigação, o que permitiu apresentar menor resistência à penetração. Uma possível explicação para este comportamento está relacionada à prática da irrigação, a qual torna esses solos friáveis quando úmidos, com conseqüente diminuição da sua resistência à penetração (SILVA, 2011).

A resistência à penetração é também altamente afetada pela textura do solo, como observado na tabela de análise granulométrica (Tabela 2). O solo do sistema de Pastagem Irrigada apresentou altos teores de areia e baixos de argila. Segundo Stolf (1991), em meios incompressíveis de pouca elasticidade (solos arenosos), a força estática e a dinâmica são semelhantes, enquanto, nos meios sujeitos a compressões elásticas (solos argilosos), a resistência dinâmica deve ser maior que a estática e a diferença percentual aumentar com a resistência do meio. O que também justifica o fator no NY ter apresentado menor resistência à penetração.

Em sistemas de plantio convencional (Figura 2 C), em que a camada superficial do solo é constantemente revolvida, é comum observar aumento de sua macroporosidade,

motivo pelo qual a área submetida ao preparo convencional também apresentou valores baixas de resistência à penetração, fator este observado por Ralisch et. al. (2008) em seu trabalho.

O contrário foi observado em áreas onde o sistema de plantio direto foi adotado, no qual a ausência de revolvimento provou um aumento da densidade do solo, que refletiu em maior resistência à penetração (SILVA, 1998). Figueiredo et al. (2000), concluíram que a compactação do solo é uma consequência dos manejos inadequados, do resultado do não revolvimento do solo na camada subsuperficial e do tráfego de máquinas (BEUTLER et al., 2001). Martins e Santos (2017) em seu trabalho atribuíram os resultados de maior RP nas camadas subsuperficiais na cultura do eucalipto, ao tempo maior de implantação da cultura.

No caso o solo com Cerrado Nativo (Figura 2 D) apresentou maiores valores de resistência à penetração que o Preparo Convencional, Plantio Direto e Pastagem. Este fato sugere que a acomodação de partículas ao longo dos anos, a grande adição de resíduos e a ausência de revolvimento podem se refletir em maior coesão entre as partículas e agregados do solo (SOANE, 1990).

#### **4.2 Curvas de Compactação dos Solos**

Ao analisar as curvas de compactação representadas na Figura 3, as quais apresentaram coeficiente de determinação variando de 0,8319 a 0,9849, constatou-se para todas as classes de solos e todas as condições de manejo estudadas, à medida que a umidade do solo aumenta a densidade também aumentou até atingir um máximo (densidade do solo máxima). Ao atingir esse valor, à medida que a umidade continuou aumentando, a densidade dos solos diminuiu isso ocorre devido à baixa compreensibilidade da água que ocupa a maioria dos poros para condições de saturações próximas de 100% (JUNIOR e ESTANISLAU, 1998).

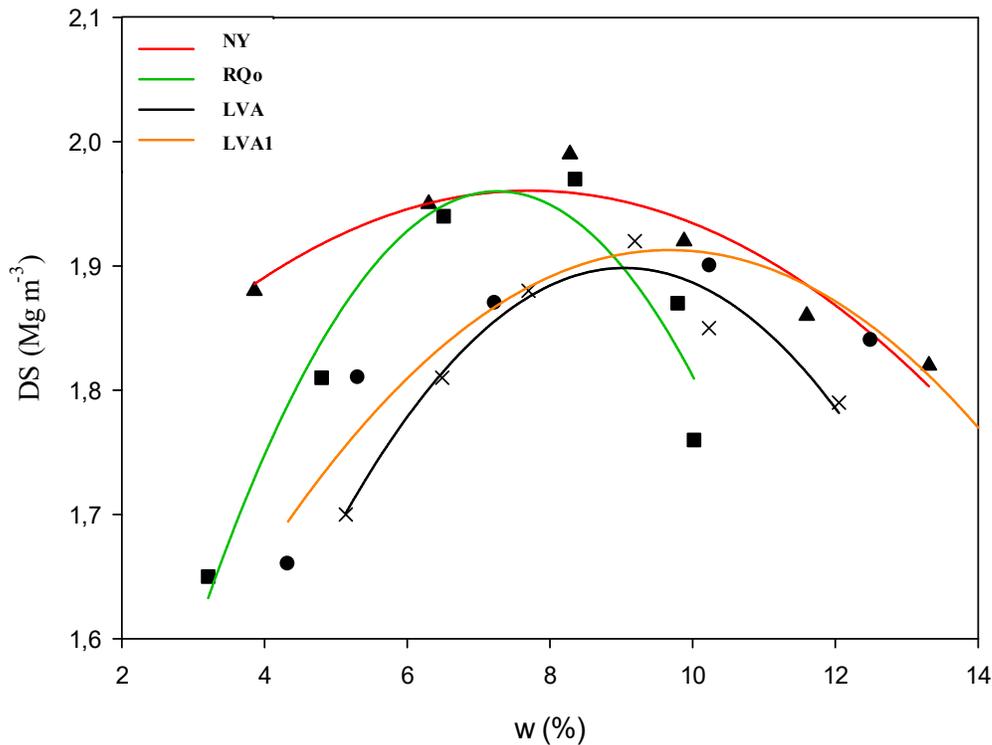


Figura 3: Determinação da curva de compactação em quatro solos da região Oeste Da Bahia. A- NY (PAST): Pastagem de ovinos irrigada com água proveniente da piscicultura; B- RQo (SAF): Área com Eucalipto/Pastagem; C- LVA (PC): Plantio Convencional: Primeiro ano sem plantio, segundo ano plantio de sorgo e terceiro ano plantio de feijão (*Vigna unguiculata*) e o D- LVA1 (CN): Cerrado Nativo, 2020/2021.

O valor da umidade que corresponde a esse ponto máximo é denominado como umidade ótima de compactação.

Pode-se verificar que cada curva aponta um teor de umidade ótima, que favorece a obtenção de valor máximo de densidade, ou seja, de compactação, ficando este teor próximo ao de umidade correspondente à capacidade de campo (MANTOVANI, 1987).

Essa amplitude nas curvas de compactação justifica a importância de estudar diferentes tipos de solos que ocorrem em uma mesma região a fim de estabelecer valores de referência para esses atributos físicos (LUCIANO et al. 2012). A utilização desses valores, por exemplo, para outras classes de solos pode levar a grandes erros na definição da umidade ideal de manejo ou da avaliação do estado atual de compactação de uma área.

Na Tabela 4, verifica-se, portanto que  $w_{ot}$  de compactação variou entre 7,60 e 9,25%, com a densidade do solo máxima variando entre 1,90 e 1,99  $Mg.m^{-3}$ . No caso a umidade ótima de compactação decresceu na seguinte ordem: LVA1 > LVA > NY > NQo, e a densidade máxima do solo na ordem a seguir: LVA1 > NY > RQo > LVA.

Tabela 4: Equações R<sup>2</sup>, teor de água ótimo (w<sub>ot</sub>) e densidade do solo máxima (D<sub>smax</sub>) em solos do Oeste da Bahia, 2018/2019.

| Sistema                     | Equação                             | R <sup>2</sup> | w <sub>ot</sub> (%) | D <sub>sMax</sub> (mg.m <sup>-3</sup> ) |
|-----------------------------|-------------------------------------|----------------|---------------------|---|
| <b>Pastagem Irrigada</b>    | $y = -0,005x^2 + 0,0777x + 1,6602$  | 0,8873         | 7,78                | 1,96                                    |
| <b>SAF</b>                  | $y = -0,0165x^2 + 0,251x + 1,0043$  | 0,9849         | 7,60                | 1,96                                    |
| <b>Plantio Convencional</b> | $y = -0,0129x^2 + 0,234x + 0,8402$  | 0,9494         | 9,07                | 1,88                                    |
| <b>Cerrado Nativo</b>       | $y = -0,0109x^2 + 0,2017x + 1,0633$ | 0,8319         | 9,25                | 1,89                                    |

SAF (Sistema Agroflorestal).

Comparando as curvas de compactação da Figura 3 e os dados da Tabela 4, observa-se que a umidade ótima de compactação do Cerrado Nativo foi a maior em comparação aos demais solos.

Assim, baseado nos dados obtidos pelo Ensaio de Proctor, pode-se observar que provavelmente o Neossolo Quartzarênico órtico (SAF), apresentará problemas de compactação com umidades mais baixas do que o do Latossolo Vermelho-Amarelo (Cerrado Nativo).

Na Tabela 5, pode-se observar que os maiores teores de matéria orgânica no solo (MOS) encontram-se nas camadas de 0-20 cm. Comparando as camadas dos solos, o teor de matéria orgânica da área sob Pastagem Irrigada apresentou maiores valores (17,9 e 10,4), seguido pelo SAF, Plantio Convencional e Cerrado Nativo.

A matéria orgânica tem o poder de flocular o solo, abrir espaços e, evitar a compactação, por isso, diminui a massa em relação ao volume (GOMES et al., 2015). Esses resultados estão associados aos maiores teores de matéria orgânica e maior distribuição de raízes nas camadas superficiais, uma vez que a matéria orgânica é considerada por muitos pesquisadores como o principal agente de estabilização de agregados (TISDALL; OADES, 1982).

Tabela 5: Quantidade de carbono orgânico e matéria orgânica presente nos determinados sistemas estudados, região Oeste da Bahia, 2020/2021.

| Sistema                     | Camada (m) | Carbono Orgânico (g.kg <sup>-1</sup> ) | Matéria Orgânica (g.kg <sup>-1</sup> ) |
|-----------------------------|------------|--|--|
| <b>Pastagem Irrigada</b>    | 0-0,20     | 10,4                                   | 17,9                                   |
|                             | 0,20-0,40  | 6,03                                   | 10,4                                   |
| <b>SAF</b>                  | 0-0,20     | 6,07                                   | 10,5                                   |
|                             | 0,20-0,40  | 4,01                                   | 6,9                                    |
| <b>Plantio Convencional</b> | 0-0,20     | 6,21                                   | 10,7                                   |
|                             | 0,20-0,40  | 3,13                                   | 5,4                                    |
| <b>Cerrado Nativo</b>       | 0-0,20     | 4,00                                   | 6,9                                    |
|                             | 0,20-0,40  | 3,19                                   | 5,5                                    |

SAF (Sistema Agroflorestal).

#### 4.2.1 Densidade Atual e Grau de Compactação dos Solos

Na Figura 4 estão representados a relação entre a densidade do solo e o grau de compactação dos tipos de manejos avaliados. O Cerrado nativo (LVA1) foi o que apresentou menores valores tanto a densidade do solo (DS) quanto para o grau de compactação (GC). Já a Pastagem Irrigada (NY) foi o sistema de manejo que apresentou maiores valores para essas variáveis. Ou seja, os valores elevados de DS influenciaram o grau de compactação do solo.

Segundo Müller et al. (2001) o processo de compactação no solo reduz a macroporosidade e eleva a densidade, diante disso, as raízes sofrem modificações sejam elas morfológicas e fisiológicas que são específicas a cada espécie a fim de se adaptar a essa mudança. Interferindo de forma significativa na disponibilidade de nutrientes às plantas (SILVA, 2021).

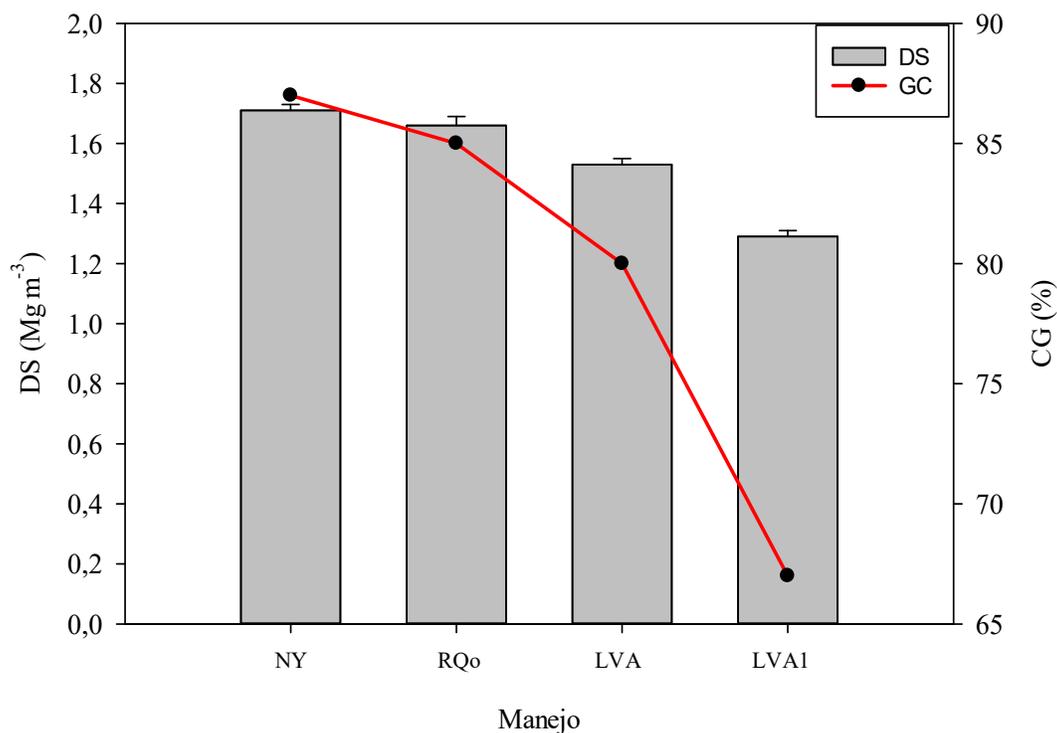


Figura 4: Densidade atual do solo em função do grau de compactação. A- NY (PAST): Pastagem de ovinos irrigada com água proveniente da piscicultura; B- RQo (SAF): Área com Eucalipto/Pastagem; C- LVA (PC): Plantio Convencional: Primeiro ano sem plantio, segundo ano plantio de sorgo e terceiro ano plantio de feijão (*Vigna unguiculata*) e o D- LVA1 (CN): Cerrado Nativo, 2020/2021.

Para SILVA (2021), os solos com maiores teores de areia apresentam baixa fertilidade natural e, normalmente, menor teor de matéria orgânica do solo (MOS). Em solos arenosos o processo de decomposição da MOS é mais acelerado. Caetano et al. (2013) avaliaram em seu trabalho a dinâmica de MOS em Neossolo Quartzarênico do Cerrado, observando que o atributo é mais sensível na camada de 0-20 cm do solo e se perde facilmente em função do manejo adotado, por exemplo.

#### 4.2.2 Resistência dos Corpos de Prova Provenientes do Ensaio de Proctor Normal

Para obtenção dos gráficos de resistência dos corpos de prova (Figura 4) foram plotados os valores da resistência à penetração (RP) em função da umidade de compactação (w), obtidos por meio do ensaio de Proctor Normal.

A elaboração dos gráficos de RP e w possibilitaram identificar que existe uma correlação inversamente proporcional entre essas variáveis. Sendo possível observar que à

medida que a RP diminui, a umidade de compactação aumenta isso ocorre em todos os pontos observados.

Segundo Tormena et al. (2002) e Assis et al. (2009), a RP diminui em função do aumento da w. Em solos úmidos, onde o espaço dos poros é preenchido com água, as forças mecânicas (nesse caso corresponde à tensão efetiva do solo) fazem com que as partículas do solo percam contato entre si, diminuindo o RP, devido à menor coesão entre partículas e agregados (CUNHA et al., 2018).

Duarte et al. (2019), afirmam que a umidade altera a coesão entre as partículas do solo, ou seja, nas profundidades em que o solo apresenta menor conteúdo de água, como observado na profundidade de 10 a 20 cm, as partículas do solo apresentam-se mais próximas e difíceis de serem separadas, aumentando o RP.

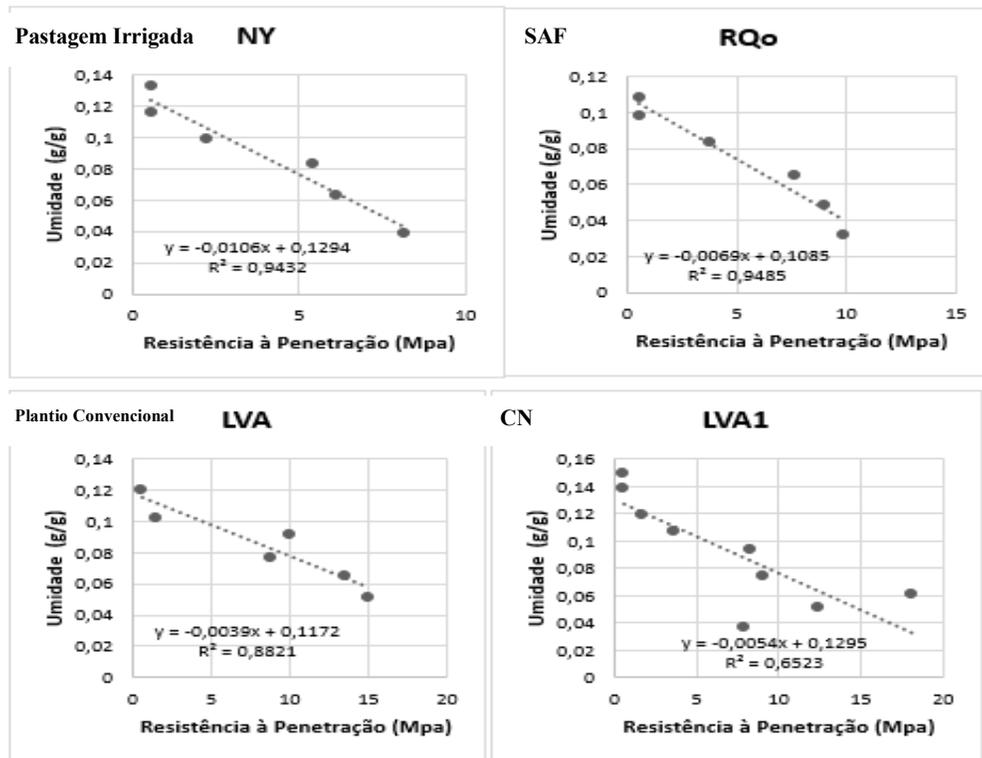


Figura 5: Resistência à penetração dos corpos de prova em função da umidade de compactação. A- NY (PAST): Pastagem de ovinos irrigada com água proveniente da piscicultura; B- RQo (SAF): Área com Eucalipto/Pastagem; C- LVA (PC): Plantio Convencional: Primeiro ano sem plantio, segundo ano plantio de sorgo e terceiro ano plantio de feijão (*Vigna unguiculata*) e o D- LVA1 (CN): Cerrado Nativo, 2020/2021.

Para que houvesse um melhor entendimento entre os valores encontrados para  $D_{S_{max}}$  (Tabela 3) foi realizada uma análise de regressão entre a variável e os teores de areia, argila e carbono orgânicos totais encontrados nos solos avaliados. A densidade máxima do solo tende a ser menor com o aumento nos teores de argila (Figura 5). Isso indica que os solos

argilosos tendem a atingir a  $D_{S_{max}}$  a menores valores se comparados aos solos com frações maiores de areia.

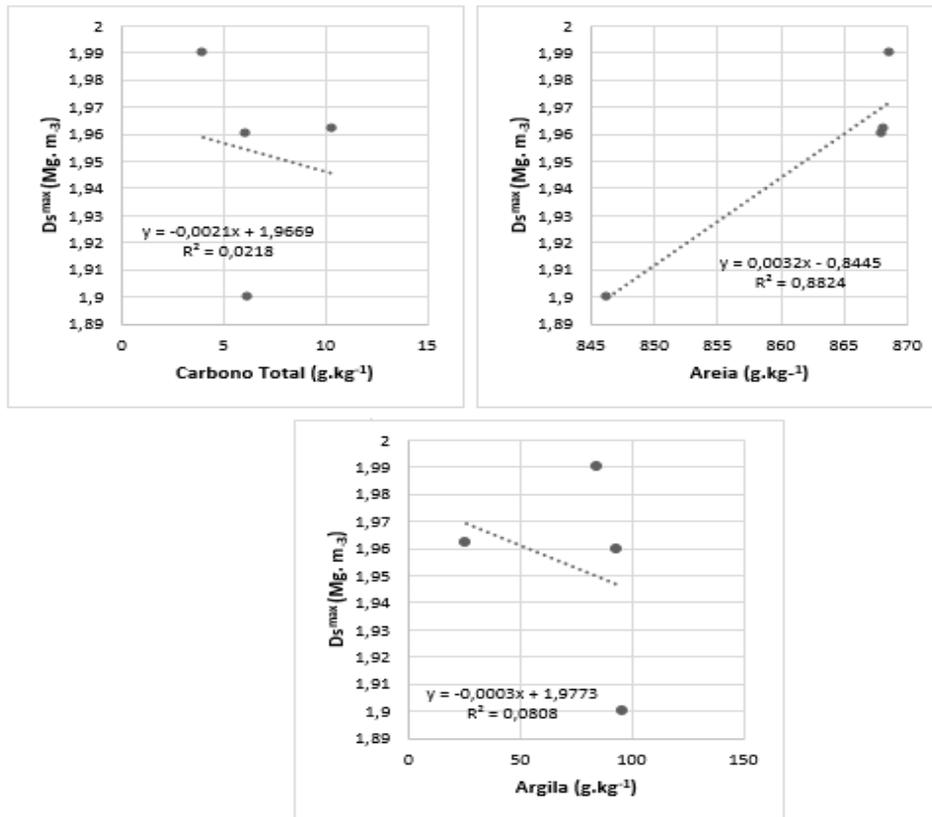


Figura 6: Densidade máxima do solo ( $D_{S_{max}}$ ) em função da quantidade de carbono orgânico total, areia e argila em solos da região Oeste da Bahia, 2020/2021.

#### 4.5 Porosidade Total

Segundo IAEG (1979), a porosidade e o índice de vazios obtido para as amostras compactadas na Energia Proctor Normal apresentaram valores diferentes para cada classe de solo (Tabela 6), valores estes, que variam de muito baixo a muito alto.

Observa-se nessa Tabela 4, que o solo com maior teor de argila (VEo), apresentou ainda, valores elevados de porosidade total e índice de vazios, obtendo classificação muito alta, justificando o menor valor de densidade do solo encontrado para o mesmo. Isso se explica, porque os microporos podem estar cheios de água e, em virtude de sua baixa condutividade hidráulica da baixa compressibilidade da água, são capazes de resistir mais tensões em curto intervalo de tempo que os macroporos cheios de ar (KUTYLEKA et al., 2006).

Tabela 6: Densidade do solo ( $D_{s_{max}}$ ), porosidade ( $P_{t_{max}}$ ) e índice de vazios máximos ( $e_{max}$ ) e sua classificação segundo IAEG,1979.

| Sistema              | $D_{s_{max}}(\text{Mg m}^{-3})$ | $P_{t_{max}}(\%)$ | $e_{max}(\%)$ | Classificação |
|----------------------|---------------------------------|-------------------|---------------|---------------|
| Pastagem Irrigada    | 1,96                            | 24,1              | 0,35          | Muito baixa   |
| SAF                  | 1,96                            | 27,0              | 0,38          | Muito baixa   |
| Plantio Convencional | 1,88                            | 28,0              | 0,39          | Muito baixa   |
| Cerrado Nativo       | 1,89                            | 35,1              | 0,41          | Média         |

SAF (Sistema Agroflorestal).

#### 4.6 Índice de Vazios

Na Figura 6, encontram-se as relações entre os índices de vazios ( $e$ ) em função da densidade do solo ( $DS$ ). Observa-se uma curva decrescente do índice de vazios em função da  $DS$ .

O RQo e o LVA1 foram os que apresentaram os maiores coeficientes angulares da equação, demonstrando que índice de vazios diminui mais rapidamente nesses solos do que nos demais, quando há o aumento da  $D_s$ .

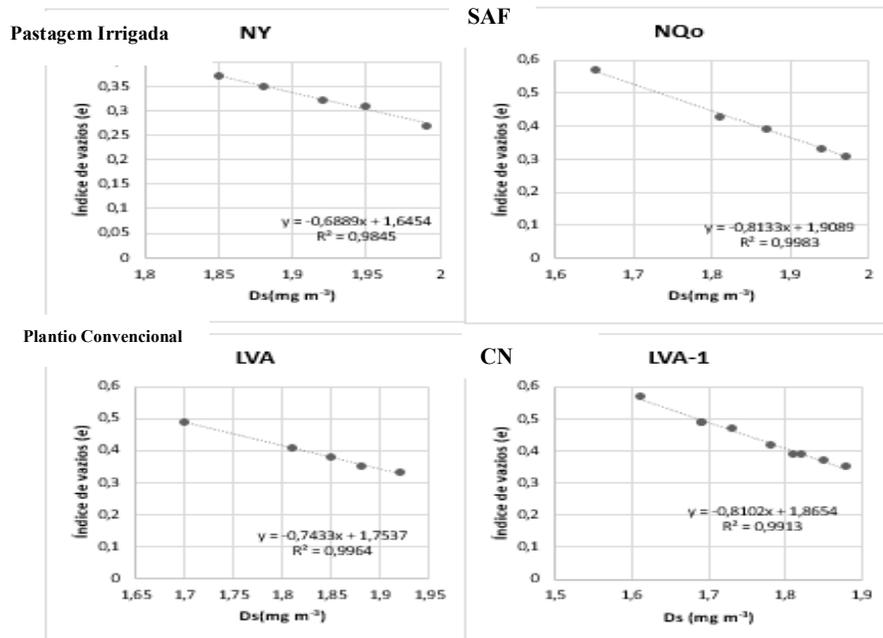


Figura 7: Índice de vazios ( $e$ ) dos solos estudados em função da densidade do solo ( $D_s$ ). Neossolo Flúvico (NY), Neossolo Quartzarênico órtico (NQo), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), região Oeste da Bahia, 2020/2021.

## **5.0 CONCLUSÕES**

Os quatros sistemas de uso do solo apresentaram diferentes valores de resistência à penetração com a profundidade.

A umidade ótima de compactação do Cerrado Nativo foi a maior em comparação aos demais solos. Apresentando a seguinte ordem de crescimento crescente de umidade ótima de compactação: SAF, Pastagem irrigada, Plantio convencional e Cerrado Nativo.

Os índices de vazios no RQo e o LVA1 diminuíram mais rápido com aumento da densidade do solo que nos demais solos.

## REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 7182/86: **Solo: ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 1986. 10p

ASSOCIAÇÃO DE AGRICULTORES E IRRIGANTES DA BAHIA - AIBA. Disponível em: Acesso em Mai. 2018.

ARAÚJO, Adriana Oliveira et al. **Avaliação da resistência a penetração de solos submetidos a manejo florestal de vegetação nativa na chapada do Araripe**. Águas Subterrâneas, 2010.

ASSIS, R. L.; LAZARINI, G. D.; LANÇAS, K. P.; FILHO, A. C. 2009. **Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água**. Revista Engenharia Agrícola, v. 29, n. 4, p. 558-568.

Beutler, A. N.; Silva, N. L. N.; Curi, N.; Ferreira, M. M.; Cruz, J. N.; Pereira Filho, I. A. **Resistência a penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho Distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.25, n.1 p.167-177, 2001.

Caetano, J. O.; Benitu, V. M.; Silva, G. P.; Silva, I. R.; Assis, R. L.; Cargnelutti Filho, A. Dinâmica da matéria orgânica de um Neossolo Quartzarênico de Cerrado convertido para cultivo em sucessão de soja e milho. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 37, n. 5, p. 1245-1255, 2013.

COSTA, S. H. P. **Resistência do solo à penetração em diferentes sistemas de uso e manejo de solo**. 2016.

CUNHA, J. M.; CAMPOS, M. C. C.; GAIO, D. C.; SOUZA, Z. M.; SOARES, M. R.; SILVA, D. M. P.; SIMÕES, E. L. 2018. **Spatial variability of soil respiration in Archaeological Dark Earth areas in the Amazon**. Catena, v. 162, p. 148-156.

DA SILVA, Daniela Cristiane et al. **Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e floresta nativa**. Revista de estudos ambientais, v. 13, n. 1, p. 77-86, 2011.

DA SILVA, Pedro Luan Ferreira. Compactação e seus efeitos sobre o funcionamento do solo e a absorção de nutrientes pelas plantas: Uma revisão bibliográfica. **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 3, n. 2, 2021.

DA SILVA, PEDRO LUAN FERREIRA et al. INDICADORES FÍSICOS DE QUALIDADE E TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA DE SOLOS ARENOSOS EM UMA TOPOSEQUÊNCIA NOS TABULEIROS COSTEIROS DE AREZ, RN, 2021.

DE CERQUEIRA SILVEIRA, Dreid et al. **Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocioso no recôncavo da Bahia**. Revista Brasileira de Ciência do solo, v. 34, n. 3, p. 659-667, 2010.

DE MAGALHÃES MAGALHÃES, Wellington et al. **Determinação da resistência do solo a penetração sob temas de cultivo em um Latossolo sob Bioma Pantanal.** Agrarian, v. 2, n. 6, p. 21-32, 2009.

DUARTE, Miqueias Lima et al. **Avaliação da variabilidade espacial da resistência a penetração e teor de água de um solo de Terra Preta Arqueológica.** Journal of Environmental Analysis and Progress, v. 4, n. 3, p. 200-208, 2019.

DUBREUIL, Vincent et al. Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia**, n. 37, 2018.

EMBRAPA - CNPS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** BRASÍLIA: EMBRAPA-SPI; RIO DE JANEIRO: EMBRAPA-SOLOS, 2018. 355 P.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2017. **Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Manual de métodos de análises de solos.** 3.ed. revista. Rio de Janeiro.

Figueiredo, L. H. A.; Dias Junior, M. S.; Ferreira, M. M. **Umidade crítica de compactação e densidade do solo máxima em resposta a sistemas de manejo num Latossolo Roxo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.24, n.3, p.487-493, 2000.

GOMES, Rudson Leonette Rodrigues et al. **Propriedades físicas e teor de matéria orgânica do solo sob diferentes coberturas vegetais.** Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos, v. 9, n. 1, 2015.

IAEG, **Classification of rocks and soils for engineering geology mapping.** Part 1: rock and soil materials. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, Krefeld, 19: 364 –371. 1979.

IMHOFF, Silvia; DA SILVA, Alvaro Pires; TORMENA, Cassio Antonio. **Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 35, n. 7, p. 1493-1500, 2000.

JÚNIOR, MS Dias; ESTANISLAU, W. T. **Grau de compactação e retenção de água de Latossolos submetidos a diferentes sistemas de manejo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 23, n. 1, p. 45-51, 1999.K

KUTYLEKA, M.;JENDELEB, L.; PANAYIOTOPOULOS, K. P. The influence of uniaxial compression upon pore size distribution in bi-modal soils. **Soil & Tillage Research**, v.86, p.27-37, 2006.

LIMA, R. P. et al. Resistência a Penetração e Densidade do Solo como Indicativos de Compactação do Solo em Área de Cultivo da Cana-de-Açúcar. In: **XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo: O Solo e a Produção de Bionergia: perspectivas e desafios.** Fortaleza-CE. 2009.

Lima, R. P.; De León, M. J.; Da Silva, A. R. Compactação do solo de diferentes classes texturais em áreas de produção de cana-de-açúcar - Revista Ceres, Viçosa, v. 60, n.1, p. 016-020, jan/fev, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034737X2013000100003>.

LUCIANO, R. V.; ALBUQUERQUE, J. A. COSTA, A. da; BATISTELA, B.; WARMLING, M. T. **Atributos físicos relacionados à compactação de solos sob vegetação nativa em região de altitude do sul da Brasil.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 36, p.1733-1744, 2012.

MANTOVANI, Evandro Chartuni. **Compactação do solo.** Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado (ALICE), 1987.

MARTINS, Fabio Pereira; DOS SANTOS, Esmael Lopes. **Taxa de infiltração da água e a resistência do solo a penetração sob sistemas de uso e manejo.** Acta Iguazu, v. 6, n. 4, p. 28-40, 2017.

Molin, J. P., Dias, C.T.S.; Carbonera, L. **Estudos com penetrometria: Novos equipamentos e amostragem correta.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.16, n.5, p.584–590. 2012.

Müller, M.M.L., Ceccon, G. & Rosolem, C.A. (2001). Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 25(3): 531-538.

OLIVEIRA, Milena Neves; VIEIRA, Olga Hianni Portugal. **AGRONEGÓCIO NO OESTE BAIANO E OS PRINCIPAIS MUNICÍPIOS NA DINÂMICA DA PRODUÇÃO DE GRÃOS: UMA ANÁLISE SHIFT-SHARE COM BASES NA PRODUÇÃO DE SOJA, MILHO E ALGODÃO PARA OS ANOS DE 2001 E 2010.** GT 1 – Desenvolvimento Territorial, Economia Rural, do Turismo e do Meio Ambiente. In: VIII Semana de Economia. Políticas Públicas para o Desenvolvimento, 2018, Ilhéus. Anais **Eletrônicos** - ISBN: 978-85-7455-516-4.

PIMENTEL, M. L. et al. **Mudanças de uso da terra e expansão da agricultura no Oeste da Bahia.** Embrapa Solos-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECAE), 2011.

RALISCH, Ricardo et al. **Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 12, n. 4, p. 381-384, 2008.

SANTOS, M. H. F. RIBON, A. A.; FRENANDES, K. L.; SILVA, O. C. C.; OLIVEIRA, L. C.; SILVA, A. **Estimativa da compactação através da resistência do solo à penetração em solo sob diferentes culturas e mata nativa.** Revista Científica Eletrônica de Agronomia, Garça-SP, v. 14, n. 27, p. 49-62, 2015.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. **Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo.** Revista Brasileira Ciência do Solo, Viçosa, v.21, p.113-117, 1997.

SILVEIRA, Dreid de Cerqueira et al. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 34, p. 659-667, 2010.

SOANE, B.D.: **The role of organic matter in soil compactability: a review of some practical aspects**. Soil and Tillage Research, Amsterdam, v.16, p.179-201, 1990.

STOLF, R. **Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo**. R. Bras. Ci. Solo, 15:229-235, 1991.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. **Organic matter and water-stable aggregation in soils**. Journal of Soil Science, London, v. 33, p. 141-163, jun. 1982

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, A. C. A. 2002. **Densidade, porosidade e resistência à penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo**. Scientia Agricola, v. 59, n. 4, p. 795-801.

Torres, E., SARAIVA, O., MOREIRA, J., Urchei, M. A., Hernani, L. C., GAUDENCIO, C. D. A., ... & Franz, C. A. B. (1998). **Compactação do solo**. *Embrapa Pecuária Sudeste-Capítulo em livro científico*.