



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**NAYRA SILVA DO VALE**

**ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLO ARENOSO DE UMA CRONOSSEQUÊNCIA**  
**LAVOURA-FLORESTAS SECUNDÁRIAS NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

**BELÉM**

**2022**

**NAYRA SILVA DO VALE**

**ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLO ARENOSO DE UMA CRONOSSEQUÊNCIA  
LAVOURA-FLORESTAS SECUNDÁRIAS NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós- Graduação em Agronomia, para obtenção do título de mestre.  
Área de Concentração: Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Norberto Cornejo Noronha.

Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Herdjania Veras de Lima.

**BELÉM**

**2022**

**NAYRA SILVA DO VALE**

**ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLO ARENOSO DE UMA CRONOSSEQUÊNCIA  
LAVOURA-FLORESTAS SECUNDÁRIAS NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós- Graduação em Agronomia, para obtenção do título de mestre.  
Área de Concentração: Agronomia.

---

**Data da Aprovação**

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Norberto Cornejo Noronha - Orientador  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

---

Prof. Dr. Daniel Pereira Pinheiro – 1º Examinador  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Sueli Rodrigues – 2ª Examinadora  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ

---

Prof. <sup>a</sup> Dr. Pedro Daniel – 3ª Examinadora  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

*À minha MÃE, exemplo de amor.*

*Ao meu PAI, exemplo de caráter.*

*À minha SOBRINHA, minha  
motivação.*

*Ao meu IRMÃO, por todo apoio.*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo seu amor que me ajudou a caminhar e ter disposição para concluir este trabalho.

Aos meus pais Edmilson Francisco do Vale e Odaiza Maria Silva do Vale e irmão Lucas Silva do Vale pelo interminável apoio, sem o qual não chegaria até aqui.

À minha sobrinha Ana Luísa Lobo Vale, o grande amor da minha vida.

Ao casal Luenir de Jesus Moreira Rocha e Marcos Reis Moura Pereira por terem me acolhido carinhosamente em sua residência durante todo o período de construção deste trabalho.

Ao professor Dr. Norberto Cornejo Noronha, pela incessante orientação na condução deste estudo, obrigada por toda a paciência, ensinamentos, apoio e principalmente motivação.

Ao colega de Pós-graduação Wendel Valter da Silveira Pereira, pela disponibilidade, paciência e por todo auxílio neste trabalho.

Aos colegas que são PIBICs, pela disposição em ajudar sempre da melhor maneira possível no campo ou em laboratório.

À minha amiga Raiana Rocha Pereira, pela amizade, força, por toda a ajuda em Belém, por todos os momentos alegres e apoio nas horas difíceis.

Ao meu amigo Francisco Laurimar do Nascimento Andrade, mesmo que distante sempre presente com momentos de descontração, carinho e apoio.

À todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

Muito Obrigada!

“Quando você tem uma meta, o que era obstáculo passa a ser uma etapa de seus planos.”

Gerhard Erich Boehme

## SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>9</b>
<b>1. CONTEXTUALIZAÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>12</b>
2.1 Solos arenosos são frágeis .....	13
2.2 Importância da cobertura orgânica em solos frágeis .....	14
2.3 Física de solos arenosos .....	14
2.3.1 Densidade e porosidade de solos arenosos .....	15
2.3.2 Curva de retenção de água no solo .....	17
<b>3. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>19</b>
4.1 Caracterização da área de estudo .....	21
4.2 Delineamento amostral e coleta das amostras .....	21
4.3 Parâmetros avaliados .....	22
4.3.1 Granulometria .....	22
4.3.2 Densidade, porosidade e retenção de água do solo .....	22
4.3.3 Carbono orgânico .....	Error! Indicador Não Definido .
4.4 Análises estatísticas .....	24
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>24</b>
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>35</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>36</b>

## RESUMO

Devido à baixa disponibilidade de recursos, grande parte da agricultura familiar adota a prática de corte e queima da vegetação para preparo de áreas agrícolas na Amazônia. Neste sistema, o solo é cultivado até apresentar o mínimo de fertilidade. O pousio tem sido adotado por um período limitado em muitas áreas de agricultura na Amazônia, o que tem causado sérios danos para a qualidade do solo, como a redução significativa (até 50%) dos estoques de carbono orgânico do solo, diminuindo o seu potencial agrícola. Este problema é ainda mais grave em solos arenosos, que são caracterizados por uma estrutura fraca ou inexistente. Para evitar a degradação destes solos e favorecer produtividades satisfatórias, é essencial realizar práticas adequadas de manejo. Neste contexto, objetivou-se avaliar a influência do tempo pousio sobre a matéria orgânica e os atributos físicos do solo arenoso de uma cronosequência agricultura-florestas com diferentes idades em área de agricultura familiar na região periurbana de Belém, na Amazônia Oriental. Foram coletadas 100 amostras deformadas e 100 amostradas indeformadas nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm de cinco áreas: quatro áreas sob florestas secundárias compostas por regeneração natural com diferentes idades (RN02, RN05, RN10 e RN20), e área de plantio de mandioca (AGRI-0 anos), localizadas no Assentamento Abril Vermelho. Foram mensuradas as variáveis: porosidade total (PT), macro e microporos (MAC e MIC), densidade do solo (Ds), granulometria, carbono orgânico (CO), e água disponível (AD) e as curvas de retenção de água no solo (CRAS) foram caracterizadas. Os resultados foram comparados pelo teste *t* de Student com correção de Bonferroni. Os resultados da análise granulométrica demonstraram que há predominância dos teores de areia, com classes texturais variando entre areia franca e areia. Os teores de carbono orgânico não foram afetados pelo tempo de pousio. Os parâmetros físicos (Ds, PT, MAC, MIC e AD) também não apresentaram diferenças significativas na cronosequência pelo teste *t*, no entanto quanto as profundidades, percebe-se que nas camadas mais profundas há maior densidade (Ds) e porosidade total mais baixa, com diminuição de MAC e aumento de MIC, evidenciando maior retenção de água nas camadas subsuperficiais abaixo de 5 cm. Em todas as profundidades há baixos teores de água disponível (AD). A falta de diferenças significativas dentro da cronosequência pode estar relacionada ao pequeno número amostral ( $n=5$ ) e a fatores ambientais não controlados na área.

**Palavras-chave:** Indicadores físicos do solo; matéria orgânica; retenção de água; solos arenosos; pousio.

## ABSTRACT

Due to the low availability of resources, much of family agriculture adopts the practice of cutting and burning vegetation for the preparation of agricultural areas in the Amazon. In this system, the soil is grown until the minimum fertility. The fallow has been adopted for a limited period in many areas of agriculture in the Amazon, which has caused serious damage to the quality of the soil, such as significant reduction (up to 50%) of soil organic carbon stocks, decreasing its potential agricultural. This problem is even more serious in sandy soils, which are characterized by a weak or nonexistent structure. In order to avoid the degradation of these soils and favor satisfactory productivities, it is essential to carry out adequate management practices. In this context, it was aimed to evaluate the influence of the landing time on organic matter and the physical attributes of the sandy soil of an agricultural-forests crop with different agricultural agricultural agriculture in the periurban region of Bethlehem in the Eastern Amazon. 100 deformed samples and 100 undefined samples were collected in the 0-5, 5-10, 10-20 and 20-40 cm of five areas: four areas under secondary forests composed of natural regeneration with different ages (RN02, RN05, RN10 and RN20), and cassava planting area (agri-0 years), located in the Red April settlement. The variables were measured: total porosity (PT), macro and microporos (MAC and MIC), soil density (DS), granulometry, organic carbon (CO), and water available (AD) and water retention curves in soil (CRAS) were characterized. The results were compared by Student's t-test with Bonferroni correction. The results of the fringulometric analysis demonstrated that there is a predominance of sand contents, with textured classes ranging from frank sand and sand. The organic carbon contents were not affected by the time of fallow. Physical parameters (DS, PT, Mac, MIC and AD) also did not present significant differences in the Test T-test, however as the depths, it is perceived that in the deeper layers there is higher density (DS) and lower total porosity, with decreased Mac and MIC increase, evidencing greater water retention in the subsurface layers below 5 cm. In all depths there are low available water contents (AD). The lack of significant differences within the correspondence may be related to the small sample number ( $n = 5$ ) and non-controlled environmental factors in the area.

**Keywords:** Soil physical indicators; organic matter; water retention; sandy soils; fallow

## 1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A mão de obra familiar tem posição de destaque nas atividades agrícolas do estado do Pará, mas comumente as terras agrícolas das zonas periurbanas, que anteriormente eram cobertas por florestas, hoje em sua maioria pertencem a pequenos e médios produtores e frequentemente são mal utilizadas, predominando pastos degradados e vegetação em vários estágios sucessionais.

A partir da década de 60 a região de Santa Bárbara do Pará, região metropolitana de Belém, apresentou um avanço populacional impulsionado com a construção da rodovia PA-391 e a instalação de granjas, fazendas e de uma empresa agroindustrial voltada ao cultivo do dendê (POEMA, 2007). Nos anos 2000 uma área equivalente a 6.803,149 ha foi destinada à Reforma Agrária, e em 2004 mais de 800 famílias ocuparam uma área denominada “Abril Vermelho” (BRIGIDA, 2020). Nesta área predominam solos de textura média e arenosa, sendo estes últimos considerados frágeis.

De acordo com Altieri (2002), os recursos naturais das terras destinadas à reforma agrária não apresentam posição de maior importância para que haja um manejo adequado por parte de seus ocupantes. Por outro lado, observa-se também um interesse de parte da sociedade brasileira por consumir alimentos mais saudáveis como os produtos orgânicos *in natura* (frutas, legumes e verduras) (LIMA et al., 2020). A produção destes alimentos é executada por meio do sistema familiar e escoada para o mercado local (ROCHA et al., 2012; SILVA; SOUZA, 2013) e sua perpetuação depende de investimentos e, sobretudo, da adoção de práticas de manejo que permitam a sua sustentabilidade. Portanto, na agricultura familiar existe o grande desafio de produzir alimentos e, ao mesmo tempo, promover um manejo sustentável, em especial em solos arenosos.

Em contraste aos anseios dos consumidores urbanos mais conscientes, em muitas partes do território brasileiro, o manejo agrícola ocorre de forma equivocada, ainda com práticas de cultivo itinerante de baixa produtividade, onde a vegetação é derrubada inadequadamente para dar lugar às plantações (FERNSIDE, 2002). A agricultura de corte-e-queima muitas vezes é a alternativa adotada por ser de fácil execução e baixo custo e vem persistindo em função da pouca fertilidade da maioria desses solos, do elevado custo de fertilizantes e corretivos, e, muitas vezes, da falta de políticas públicas de fomento e assistência técnica aos produtores (SÁ et al., 2007). Como resultado disso tem-se um rápido esgotamento dos nutrientes do solo e conseqüentemente uma produção de curta duração, além de colaborar para o aquecimento global (FERNSIDE, 2002).

Segundo Aide et al., (2000) a atividade de corte-e-queima colabora com efeitos significativos sobre a dinâmica de regeneração, modificando a produtividade do solo e a atividade dos organismos nele presente. Esta prática apresenta também outros efeitos negativos, como o aumento da erosão e alteração na dinâmica de nutrientes disponíveis no solo (RIBEIRO FILHO et al., 2013). Além disso, com a prática agrícola de utilização do fogo, o banco de sementes também é afetado, contribuindo para a diminuição da biodiversidade local (MAMEDE; ARAÚJO, 2008).

O fogo provoca mudanças na temperatura superficial do solo, na disponibilidade de água e nutrientes para as plantas e no teor de umidade (MEIRELLES, 1990). A porosidade do solo e as taxas de evapotranspiração e infiltração de água do solo também podem ser alteradas (CASSOL et al., 2004). Há muita perda de água por evaporação, podendo gerar uma camada compacta que dificulta a infiltração de água no solo (DE BANO et al., 1979; HERINGER et al., 2002). Ressalta-se ainda que, além da redução da taxa de infiltração de água no solo, a diminuição do tamanho de agregados e de macroporos estão entre as principais propriedades físicas que sofrem modificações com o uso do fogo na agricultura. Pode ocorrer também a elevação da densidade do solo e, conseqüentemente, da resistência à penetração de raízes (ALBUQUERQUE et al., 1995; UTSET; CID, 2001).

Segundo Lal (2000), o conhecimento da influência do manejo nas propriedades físicas dos solos é essencial para a manutenção da produtividade agrícola e para o combate à degradação do meio ambiente. No entanto estudos relacionados à influência do pousio nos atributos dos solos arenosos ainda são escassos no Brasil. Por se tratar de um país que em sua maior parte ainda utiliza agricultura tradicional, pouco é visto sobre a manutenção dos solos em descanso mais prolongado (PRADO et al., 2002). Portanto percebe-se a falta de pesquisas sobre o tempo mínimo de pousio considerado adequado para recuperação da qualidade do solo (SILVA, 1998).

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

A falta de assistência técnica, bem como de políticas públicas que auxiliem em operações bem planejadas para o uso e manejo dos recursos ambientais, implicam em sucessivas agressões ao meio físico, gerando danos ao ambiente tais como: destruição da floresta nativa além do permitido, afugentamento de espécies nativas que são mortas ou expulsas, poluição das águas e assoreamento, comprometimento dos atributos físicos, químicos e biológicos e erosão do solo (SOARES, 2009). Em paralelo, o uso descontrolado do solo, sem manejo e planejamento adequados e sem atenção a suas características físicas torna-o improdutivo em curto espaço de tempo, com perdas muitas vezes irreversíveis e sérios prejuízos ao meio ambiente e às populações que dependem diretamente da produção agrícola para seu sustento (SOARES et al., 2010).

De acordo com Alves et al., (2020), a prática da agricultura de corte-e-queima entre pequenos agricultores é tradicionalmente repassada desde as gerações mais antigas que, por vezes, o fazem devido à necessidade de limpar a área de forma acelerada, prática e menos onerosa. No entanto, Pedroso Júnior et al., (2008) advertem sobre os malefícios advindos do desmatamento e da prática de corte-e-queima na agricultura, tais como: a emissão de gases que promovem o aquecimento global, perda de biodiversidade das florestas, erosão e empobrecimento dos solos. Com a queima, a matéria orgânica é drasticamente reduzida, o que leva à diminuição da disponibilidade de alimento para os organismos do solo, principalmente a mesofauna e microorganismos do solo (REDIN et al., 2011).

Outro ponto a ser destacado em decorrência do uso indiscriminado do fogo na agricultura pode ser o desenvolvimento da hidrofobicidade no solo que se manifesta pela formação de uma camada superficial repelente à água devido às alterações nos compostos orgânicos presentes (GRANGED et al., 2011; VOLGELMANN et al., 2012) e, dessa forma, as superfícies minerais são expostas pelo fogo agravando os riscos de erosão do solo (CROMACK et al., 2000).

A recuperação das propriedades do solo poderia ser melhorada empregando-se técnicas que não envolvessem o uso do fogo. Nos sistemas agroflorestais, uma das principais atividades é o uso da vegetação de pousio como técnica para recuperação do solo. No pousio é mantida uma área sem qualquer tipo de cultivo durante um período de tempo para que se possa restabelecer os nutrientes perdidos no plantio anterior. Mas mesmo assim, ainda ocorre

perda de nutrientes do solo, causando empobrecimento e decréscimo da produtividade do mesmo, além da perda da habilidade de regeneração e redução da diversidade de fauna e flora (RANGEL-VASCONCELOS et al., 2016).

Uma possibilidade mais sustentável para a reutilização da terra para o cultivo após o pousio é apresentada no Projeto Tipitamba desenvolvido pela Embrapa (2001). Nele se propõe a substituição da utilização do fogo na vegetação pelo corte e trituração da mesma, com o intuito de melhorar as características físicas, químicas e biológicas do solo de áreas alteradas, uma vez que o material triturado é depositado sobre o solo na forma de cobertura morta com o tempo é decomposto, liberando os nutrientes retidos na biomassa à terra, uma alternativa que pode expandir a produção agrícola, e através dessa técnica aumentar a renda do produtor rural (KATO, 2020).

## **2.1 Solos arenosos são frágeis**

Os solos que se encaixam nas classes de textura areia e areia franca, cujo seu material contém 85% ou mais de areia, ou seja, a fração do solo  $> 0,05$  mm e  $\leq 2,00$  mm, são considerados arenosos (OLIVEIRA et al., 1992). Estes solos são mais suscetíveis à perda de nutrientes e à erosão, apresentando maior potencial de degradação quando manejados inadequadamente (LIMA; VAZ, 2014). Além disso, solos arenosos são pobres em nutrientes para as plantas e mesmo na camada mais superficial, que contém maior teor de matéria orgânica, apresentam baixa capacidade de retenção de cátions e às vezes são saturados com mais de 50% de alumínio (PRADO, 1991). Segundo Spera et al., (1998), devido aos solos arenosos apresentarem alta suscetibilidade à erosões e lixiviação de seus nutrientes, a manutenção de sua fertilidade é mais difícil, sendo necessária sua correção e monitoramento ao longo do tempo.

Como apresentam estrutura fraca ou grãos simples, estes solos são, como já relatado, suscetíveis à erosão, porém os processos de erosões subsuperficiais em solos arenosos são mais difíceis de serem visualizados, pois acontecem em subcamadas do solo apresentando difícil identificação e controle, e quando percebidas podem se encontrar em elevado estágio de desenvolvimento, podendo evoluir para grandes voçorocas (OLIVEIRA et al., 1992).

A manutenção sustentável em sistemas agrícolas à longo prazo é um grande desafio e demanda uma série de cuidados especiais de manejo, sobretudo em solo arenosos. Além de apresentarem limitações relacionadas à baixa fertilidade natural e à alta suscetibilidade à erosão, Farias et al., (2000) acrescentam que estes solos apresentam baixa capacidade de

retenção de água e, de acordo com Santos (2019), a baixa capacidade de retenção de água é concordante aos também baixos teores de argila e de matéria orgânica. Portanto, Fontana et al., (2015) afirmam que estes solos de textura arenosa podem ser considerados como “frágeis”, corroborando com Prado et al., (1991) e García et al., (2020) que acrescentam que estes solos arenosos frágeis encontram-se em várias regiões do Brasil e muitos são utilizados na produção de alimentos.

## **2.2 Importância da cobertura orgânica em solos frágeis**

Os solos arenosos são de fato naturalmente frágeis por sofrerem rápida degradação, quando incorretamente manejados e a situação é mais grave onde estes atingiram o estágio de desertificação pelo uso desenfreado, desconsiderando as técnicas de manejo e conservação adequadas. O uso impróprio do solo e os modelos de desenvolvimento tradicionais que visam à obtenção de resultados imediatos são os motivos principais do aumento de áreas desertificadas (SPERA et al., 1998). Dessa forma é preciso empregarem-se técnicas de manejo adequadas que promovam uma constante cobertura destes solos e, assim, aumento da matéria orgânica do solo (MOS).

Há maior quantidade de macroporos em solo arenoso do que em solo argiloso, possibilitando maior infiltração de água em seu perfil, porém, com menos microporos, a tendência é um menor armazenamento de água nos arenosos, fator que dificulta o manejo da água disponível para produção. Estudos revelam que, em elevados potenciais, a curva de retenção de água (CRA) é influenciada por poros estruturais associados ao efeito da MOS na formação e na estabilidade estrutural do solo (RAWLS et al., 1991).

## **2.3 Física de solos arenosos**

A qualidade física do solo é determinada por propriedades e processos que estão sujeitos às interações entre as fases sólida, líquida e gasosa e é relacionada ao conteúdo de água no solo (REYNOLDS et al., 2002). Geralmente, a qualidade física do solo indica a sua habilidade em proporcionar condições adequadas para que a agricultura aconteça, ligada à utilização de um manejo mais apropriado, em outras palavras, permitindo a conservação do solo e de seu ambiente com o decorrer do tempo (LIER, 2020).

Toda área agrícola em processo de regeneração ou não, quando submetidas a uma implantação de qualquer sistema agrícola, pode estar sujeita a alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas no solo. Quando há retirada da vegetação natural e o solo é exposto para algum tipo de exploração todo esse processo contribui para ocasionar diminuição nos processos de ciclagem de nutrientes, modificação de atributos físicos como estrutura, porosidade e densidade e distribuição de agregados, prejudicando o fornecimento de água, disponibilidade de nutrientes, aeração entre outros (ARCOVERDE et al., 2015).

A investigação sobre as propriedades físicas de um solo arenoso é essencial, através desse estudo pode-se ter fornecimento de elementos básicos como o estudo dos nutrientes presentes no solo e dinâmica da água (ANDRADE et al., 2012).

### **2.3.1 Densidade e porosidade de solos arenosos**

Uma propriedade física que pode ser usada como indicador da condição estrutural geral de determinado solo é a sua densidade. A massa do solo refere-se ao solo seco a 105°C e pode ser determinada a massa do solo seco por unidade de volume, já o volume é referente ao volume ocupado por sólidos ou vazios (REICHERT, 2009).

Segundo Reichert et al. (2009) há redução de porosidade quando o solo é compactado e por consequência sua densidade é aumentada. Porém, limites ideais e críticos de densidade do solo para o crescimento de diversas culturas dependem fortemente do tipo de solo, ou seja, diferentes valores de densidade são ideais para diferentes solos. De acordo com pesquisadores, a faixa de porosidade total (PT) varia de 0,44 a 0,50 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> para solos com textura arenosa (CUNHA et al., 2011). Para Reihert et al., 2015 e Reichert et al, 2014 os valores críticos de densidade para solos arenosos variam entre 1,6 a 1,8 Mg m<sup>-3</sup>.

Solos arenosos são naturalmente mais densos, consequentemente apresentam uma menor porosidade (principalmente microporos) e menor grau de desenvolvimento estrutural. O aumento na densidade do solo pode colaborar para a redução da macroporosidade, da porosidade total e da condutividade hidráulica (SANTOS et al., 2019).

A porosidade do solo é o conjunto de espaços oriundos do arranjo das partículas sólidas e nesses espaços ocorrem os processos dinâmicos do ar e solução do solo. O modo como os poros são distribuídos e o diâmetro dos poros condicionam o comportamento físico-hídrico do solo (KLEIN, 2012). Klein; Libardi (2002) indicam que os poros com diâmetro maior que 0,05 mm e que perdem água em tensões menores que 6 kPa são denominados macroporos e são condicionantes das trocas gasosas, infiltração, drenagem e percolação,

influenciando diretamente nos movimentos realizados pela água (KLEIN, 2012). Os poros com diâmetro entre 0,05 e 0,0002 mm que são esvaziados a tensões entre 6 e 1500 kPa são denominados de microporos.

A porosidade é uma das propriedades físicas do solo que sofre alterações devido a sua degradação com a modificação da estrutura, resultando na sua compactação com a redução do volume de macroporos e conseqüentemente do fluxo de água. Além disso, a compactação causa transformações na continuidade e distribuição de poros, reduz também quantidade de oxigênio presente no solo, aumentando sua resistência à penetração de raízes e limitando o crescimento das plantas (ANDRADE; STONE, 2008).

De acordo com Freitas (2013), existe menor porosidade total em solos arenosos, com baixo nível de matéria orgânica ou aqueles que são mais compactados devido manejo inadequado. É comum que solos arenosos apresentem a predominância de macroporos dentro de 35% a 50% da porosidade total. Quando há o aumento da densidade do solo, conseqüentemente, há redução de sua porosidade, causando interferência quanto a permeabilidade, disponibilidade de nutrientes e água do solo. Alguns pesquisadores abordam que em solos arenosos há menor espaços vazios, apontando que o arranjo entre as partículas sólidas tem contato mais próximo, indicando maiores valores de densidade ( $D_s$ ) e menores valores de porosidade total (PT) (RIBEIRO, et al., 2013).

O solo pode sofrer grande alteração no seu preparo para a produção agrícola e seu espaço poroso é de grande importância para a movimentação da água e do ar e no crescimento de raízes. Porém implementos agrícolas, tráfego de máquinas e revolvimento do solo colaboram para a alteração da estrutura do solo, resultando na redução da porosidade total, e isso afeta conseqüentemente a condutividade hidráulica saturada, há aumento da densidade do solo, alterações no tamanho dos agregados do solo (DAVALO, 2013).

Na região amazônica existem dois tipos de estação bem definidas durante o ano, o período chuvoso de janeiro à junho e o período seco que ocorre nos meses de julho à dezembro, isso está diretamente relacionado com o umedecimento e secagem do solo. Diante disso, a água tem papel fundamental na produtividade, com o controle de umidade e aeração do solo. Quando acontece os ciclos de molhamento e secagem repetidamente nos solos, conseqüentemente, é promovido o endurecimento a longo prazo durante o processo de secagem aumentando a coesão das partículas do solo (SIQUEIRA, et al., 2019). Resíduos de material vegetal podem ser aplicados sobre o solo com objetivo de aumentar a matéria orgânica, preservando a umidade do solo (BECHER et al., 1997).

### 2.3.2 Curva de retenção de água no solo

A curva de retenção de água (CRA) é obtida pelo conteúdo de água no solo relacionado à tensão com que ela está retida pelo mesmo. Com o estudo em determinada profundidade é possível estimar o teor água disponível para as plantas. É uma propriedade físico-hídrica, determinada em laboratório (LIBARDI, 2009). Segundo Valle (2013), auxilia na caracterização do desempenho da água no solo e na estimativa de parâmetros de resistência. Assim, pode-se dizer que a CRA é uma representação da quantidade de água e de seu comportamento no solo.

De acordo com Bonder (2008), a distribuição granulométrica, a distribuição dos poros, a estrutura e a mineralogia das partículas mostram-se como principais fatores que influenciam a forma da curva de retenção de água no solo. O solo saturado e sob pressão atmosférica, terá parte de sua água drenada e parte dos poros ocupados pelo ar quando submetido a uma força de sucção. Os poros menores perderão mais água e ocorrerá entrada de mais ar com aumentos gradativos de sucção fazendo com que a espessura da película de água das partículas diminua, aumentando a força de adsorção e exigindo maiores sucções para retirar a água (DEXTER, 2004).

A curva de retenção de água no solo também é uma importante ferramenta no que diz respeito a descrever o comportamento físico-hídrico e o cenário dos solos não saturados (SILVA et al., 2010). A CRA é dividida em três etapas: na primeira, quase todos os poros estão preenchidos com água e ocorre até o valor da entrada de ar. A segunda etapa acontece entre a pressão de entrada de ar e o ponto de início da umidade residual, por sua vez o solo é drenado com o aumento da sucção. Por último, na terceira etapa a água nos poros é bastante reduzida e acréscimos adicionais na sucção expressam pequenas variações no grau de saturação do solo (SILVA, 2005).

A CRA mostra a dinâmica da água no solo, permitindo calcular a quantidade de água retida em um solo sob determinados limites de potencial matricial e admite interpretar as características do armazenamento de água no solo em relação às necessidades hídricas de determinada cultura (URACH, 2007).

Pesquisadores utilizam a curva de retenção de água capaz de determinar a qualidade do mesmo gerando resultados sólidos com vista em almejar boas práticas de uso e o manejo sustentável dos sistemas de produção agrícola (MACHADO et al., 2008). Este atributo portanto é um importante indicador de qualidade física do solo e está diretamente relacionado

com o desenvolvimento das plantas, com variações de volume com umedecimento e secagem e tem grande importância para caracterização dos solos (SILVA et al., 2010).

Desta forma a pesquisa se torna essencial uma vez que permite sabermos sobre o comportamento da água no solo de forma mais detalhada e a quantidade disponível para as plantas (NASCIMENTO et al., 2012). Essa informação é importante para a exploração racional dos recursos físico- hídricos do solo em diferentes áreas de regeneração vegetal e do solo agrícola.

O conteúdo de matéria orgânica disponível no solo é responsável pela sua retenção de água, especialmente em Neossolos Quartzarênicos, isso se deve à sua alta área específica se comparada com a fração mineral, assim, explicam (REZENDE et al., 2007). Com os resultados da curva de retenção de água, é possível prever a capacidade de água disponível (CAD), muito importante dentre outros fatores para o movimento e absorção de nutrientes para produção das culturas (BEUTLER et al., 2002).

Para a realização de uma análise sobre o comportamento físico-hídrico de um solo são obtidos alguns dados para posteriormente fazer o ajuste da curva de retenção de água podendo ser realizada por diferentes metodologias, em condições de campo ou laboratório. Quando feita em laboratório pode-se utilizar a mesa de tensão e as câmaras de Richards (RICHARDS, 1965). A partir da obtenção dos dados, faz-se necessária o emprego de um modelo matemático para o ajuste da curva, com o intuito de tornar mínimo os erros entre os valores (relação entre umidade do solo e pressão) com os valores indicados pelos modelos. Portanto, para a realização de uma análise como essa, vários modelos empíricos têm sido utilizados para a definição da curva de retenção de água no solo (CRA), dentre eles destaca-se Brooks & Corey (1964) e Van Genuchten (1980).

É importante a escolha da quantidade adequada de pontos a serem amostrados e usados para o ajuste da curva de retenção e a utilização equivocada de um determinado conjunto de pontos, pode resultar em curvas de retenção de água não representativas do solo, reforçam (SILVA et al., 2006). Logo, é imprescindível a escolha do método para o alcance dos dados e dos modelos para o ajuste correto da curva (REZANEZHAD et al., 2016).

### 3. INTRODUÇÃO

Áreas de assentamento são frequentemente encontradas no Brasil e desempenham papel importante na produção de alimentos, emprego de mão-de-obra local (especialmente familiar) e na geração de renda para a população do campo. No entanto, o modelo de desenvolvimento agrário no Brasil não priorizou as pequenas propriedades de agricultura familiar e favoreceu as grandes propriedades (GOSCH, 2020). Frequentemente, as terras destinadas aos assentamentos apresentam sérias limitações agrícolas, principalmente relacionadas ao uso incorreto da terra e à baixa qualidade física do solo (GOSCH, 2020).

Devido à baixa disponibilidade de recursos, grande parte da agricultura familiar adota a prática de corte e queima da vegetação para preparo de áreas agrícolas na Amazônia. Neste sistema, o solo é cultivado até apresentar o mínimo de fertilidade e, após isso, a área é submetida a um regime de pousio que varia entre 8 e 10 anos, favorecendo o processo de regeneração natural. Todavia, o pousio tem sido adotado por um período limitado em muitas áreas de agricultura na Amazônia (ALVES et al., 2020), o que tem causado sérios danos para a qualidade do solo, como a redução significativa (até 50%) dos estoques de carbono orgânico do solo (SOUZA et al., 2018), diminuindo o seu potencial agrícola (SILVA et al., 2015).

Este problema é ainda mais grave em solos arenosos, que são caracterizados por uma estrutura fraca ou inexistente (BAIAMONTE et al., 2019), alta permeabilidade e baixa capacidade de retenção de água (ŠIMANSKÝ et al., 2019), baixos teores de matéria orgânica (BAIAMONTE et al., 2019), superfície específica limitada e, conseqüentemente, baixa capacidade de retenção de nutrientes (NOVAK et al., 2012). Estes solos são usados na agricultura em várias partes do mundo, mas geralmente são associados à baixas produtividades (ŠIMANSKÝ et al., 2019). Para evitar a degradação destes solos e favorecer produtividades satisfatórias, é essencial realizar práticas adequadas de manejo (REICHERT et al., 2003; KRAVCHENKO et al., 2014).

Os efeitos da regeneração natural são fundamentais para a qualidade do solo, principalmente com a técnica de pousio, que permite o restabelecimento dos teores de nutrientes para as culturas agrícolas. Rangel-Vasconcelos et al., (2016) indicam que, em aproximadamente 10 anos, a vegetação secundária e os estoques de matéria orgânica do solo são restabelecidos mais efetivamente. Com o tempo adequado de pousio e a e o restabelecimento da cobertura vegetal, a atividade biológica e a dinâmica da ciclagem de

nutrientes são retomadas, agregando benefícios que refletem na melhoria da qualidade do solo. Estas mudanças podem ser ainda mais efetivas em solos arenosos, devido à maior fragilidade que estes solos apresentam, o que torna importante o desenvolvimento de estudos quanto aos efeitos da regeneração natural em solos com predominância da fração areia.

O assentamento Abril Vermelho, que ocupa um espaço anteriormente usado para cultivo de palma de óleo, é um dos maiores produtores de alimentos da região metropolitana de Belém, norte do Brasil (BRIGIDA, 2020). Este assentamento apresenta forte ocorrência de solos arenosos (baixo potencial agrícola natural) em regime de pousio por variados períodos, visando promover a recuperação ambiental. No entanto, não existem estudos sobre o papel do tempo de regeneração natural na qualidade destes solos, que devido aos elevados teores de areia, podem demandar um tempo de recuperação maior.

Sob as hipóteses de que o conteúdo de matéria orgânica e as propriedades físico-hídricas do solo são alterados pela prática de corte e queima e que estas propriedades não são recuperadas a curto prazo, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência do tempo de pousio sobre os teores de matéria orgânica e os atributos físicos de um solo arenoso em uma cronosequência agricultura-florestas secundárias na região periurbana de Belém, na Amazônia Oriental.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

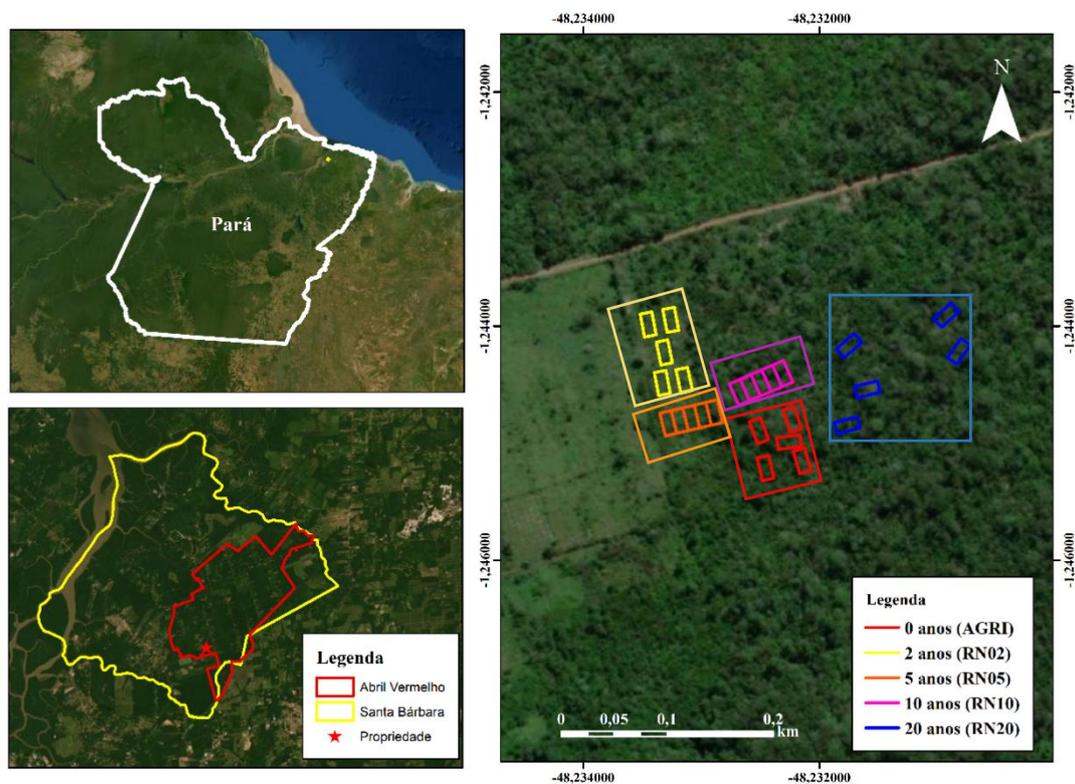
### 4.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado no município de Santa Bárbara do Pará, com extensão territorial de 278,154 km<sup>2</sup> (IBGE,2020). Este município é parte da Mesorregião Metropolitana de Belém, com uma densidade demográfica de 72,2 habitantes/km<sup>2</sup>, localizado sob as coordenadas 01°13'25" S de latitude e 48°17'40" O de longitude, com clima do tipo Af de acordo com a classificação de Köppen, temperatura média anual de 26°C e precipitação entre 2.200 e 3.000 mm.

### 4.2 Delineamento amostral e coleta das amostras

Com base no reconhecimento em campo, informações dos proprietários locais e imagens temporais adquiridas por satélite LANDSAT, foram identificadas cinco áreas com diferentes idades de regeneração na propriedade: uma sob cultivo de mandioca (AGRI) e quatro áreas de florestas secundárias formadas por regeneração natural com diferentes idades: RN02 (2 anos), RN05 (5 anos), RN10 (10 anos) e RN20 (20 anos), compondo uma cronossequência (Figura 1).

**Figura 1** - Mapa de localização da cidade de Santa Bárbara e Assentamento Abril Vermelho.



Fonte: Marina Duarte (2020).

Nas áreas da cronossequência (AGRI, RN02, RN05, RN10 e RN20), foram coletadas amostras deformadas e indeformadas de solo em 5 parcelas com dimensões de 10 x 20 m. Em cada parcela, uma pequena trincheira (60 x 60 x 60 cm) foi aberta para coleta de amostras indeformadas com uso de anéis inox. Quatro anéis foram utilizados por parcela, sendo um para cada profundidade (0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm), totalizando 100 amostras indeformadas, visando determinar o conteúdo relativo de água (CRA) nos potenciais 10, 30, 60, 100, 200, 300, 500 e 750 hPa, densidade do solo (DS), porosidade total (PT), macroporosidade (MAC) e microporosidade (MIC), além da água disponível (AD) e da distribuição do tamanho de poros do solo.

Também foram coletadas 100 amostras deformadas com auxílio de trado holandês, em 3 pontos, para compor uma amostra composta por parcela e profundidade. Após a coleta, as amostras foram destorroadas, secas ao ar e peneiradas a 2 mm, para análise do teor carbono de orgânico do solo (C), granulometria e CRA em potenciais maiores de 5.000 e 15.000 hPa.

### **4.3 Parâmetros avaliados**

#### **4.3.1 Granulometria**

A granulometria foi determinada pelo método da pipeta. Foi realizada dispersão química com NaOH 1 mol L<sup>-1</sup> e dispersão física com agitação dos frascos durante 16 h em mesa agitadora a 120 rpm. A fração argila foi separada por sedimentação, a fração areia por peneiração e a fração silte foi calculada a partir da diferença (GEE; BAUDER, 1986).

#### **4.3.2 Densidade, porosidade e retenção de água do solo**

As amostras indeformadas (coletadas com anéis de 5 x 5 cm) foram niveladas, destinadas ao laboratório de física do solo de Universidade Federal Rural da Amazônia (Belém), lentamente saturadas por ascensão gradual de lâminas de água em bandejas até atingir aproximadamente 2/3 da altura da amostra, posteriormente a lâmina de água foi aumentada para cerca de 2 a 5 mm da altura dos anéis para garantir a saturação da amostras (EMBRAPA, 1997) e, em seguida, as amostras foram drenadas em mesa de tensão, nos potenciais matriciais de -10, -30, -60, -100, -200, -300, -500, -750 hPa, até não haver mais drenagem de água, ou seja, atingindo a condição de equilíbrio. Posteriormente, para as tensões maiores, de 5.000 e 15.000 hPa, 100 amostras deformadas foram encaminhadas para o laboratório de física do solo na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) – Amazônia Oriental e submetidas à câmara de Richards (Klute, 1986). Foram dispostas em anéis de dimensões menores de 13 mm de altura e 50 mm de diâmetro. Após atingir o

equilíbrio em cada potencial, as amostras foram pesadas e então secas em estufa à 105 °C por 48 h.

A densidade do solo (DS) foi calculada pela razão entre massa de solo seco e volume do anel (Grossman & Reinsch, 2002), usando a equação:

$$DS = \frac{MS}{V} \quad (1)$$

Onde Ds é a densidade do solo ( $\text{kg dm}^{-3}$ ), MS é a massa do solo seco (g), e V é o volume do cilindro ( $\text{cm}^3$ ).

A porosidade total (PT) do solo ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) foi obtida a partir dos dados de DS e DP, seguindo a equação:

$$PT = 1 - \frac{DS}{DP} \quad (2)$$

Onde DP é a densidade de partícula, igual a  $2,65 \text{ kg dm}^{-3}$  (média dos solos minerais).

A microporosidade foi obtida a partir da curva de retenção de água no solo, na tensão equivalente a 60 hPa, enquanto a macroporosidade resultou da diferença entre porosidade total e microporosidade (TEIXEIRA et al. 2017). O conteúdo de água disponível (AD) no solo foi determinado pela diferença entre a capacidade de campo (100 hPa) e o ponto de murcha permanente (15000 hPa).

Os dados das curvas de retenção de água do solo (CRAS) foram ajustados com base em procedimentos sugeridos por Van Genuchten (1980), usando o *software Retention Curve - RetC* (Van Genuchten et al., 1994), conforme determinação dos parâmetros da equação abaixo:

$$\theta = \theta_R + \frac{\theta_s - \theta_R}{[1 + (\alpha\psi)^n]^m} \quad (3)$$

Onde  $\theta$  é a umidade do solo ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ),  $\theta_R$  é a umidade volumétrica residual ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ),  $\theta_S$  é a umidade volumétrica saturada ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ),  $\psi$  é o potencial matricial (hPa), e  $\alpha$ ,  $m$  e  $n$  são parâmetros empíricos da equação (PARAHYBA, et al., 2019).

Para executar o ajuste dos dados obtidos, utilizou-se o programa RETC e o modelo de Van Genuchten (1980), representado pela equação (2). No RETC, os parâmetros iniciais ( $\theta_S$

$\theta_R$ , foram fixados como sendo os obtidos nos potenciais 0 e 15000 hPa, respectivamente, correspondentes ao ponto de murcha permanente e capacidade de campo. Sendo Alpha 0,145 e n 2,68. Considerando que m é dependente de n. Equação 3. Sob a restrição de Mualem.

$$m = 1 - \frac{1}{n} \quad (4)$$

Com a adoção do modelo de Van Genuchten, o parâmetro n controla a inclinação da CRA, enquanto m controla a inflexão da parte inferior da curva de retenção de água, consequentemente, a  $\theta_R$  da mesma. Se o valor de n não é grande, a curva apresenta elevada inclinação, com rápido decréscimo de água a medida que o potencial matricial fica mais negativo. Por outro lado se n é alto, a mudança no conteúdo de água é lenta (MEDEIROS, 2012).

A distribuição de tamanho de poros  $\emptyset$ , foi determinada utilizando a umidade do solo ( $\theta$ ) correspondentes aos pontos da curva de retenção de água no solo ( $\psi$ ) (SILVA et al., 2020). O tamanho dos poros foram classificados conforme:  $\emptyset > 0,05$  classificado como macroporos, perdem água em potenciais menores que -60 hPa;  $\emptyset$  entre 0,05 e 0,0002 mm são microporos que perdem água entre -60 e -15000 hPa.

#### 4.3.3 Carbono orgânico

O teor de C total foi quantificado com o auxílio de um analisador LECO (modelo TruSpec C H N S Micro), por combustão a seco das amostras.

#### 4.4 Análises estatísticas

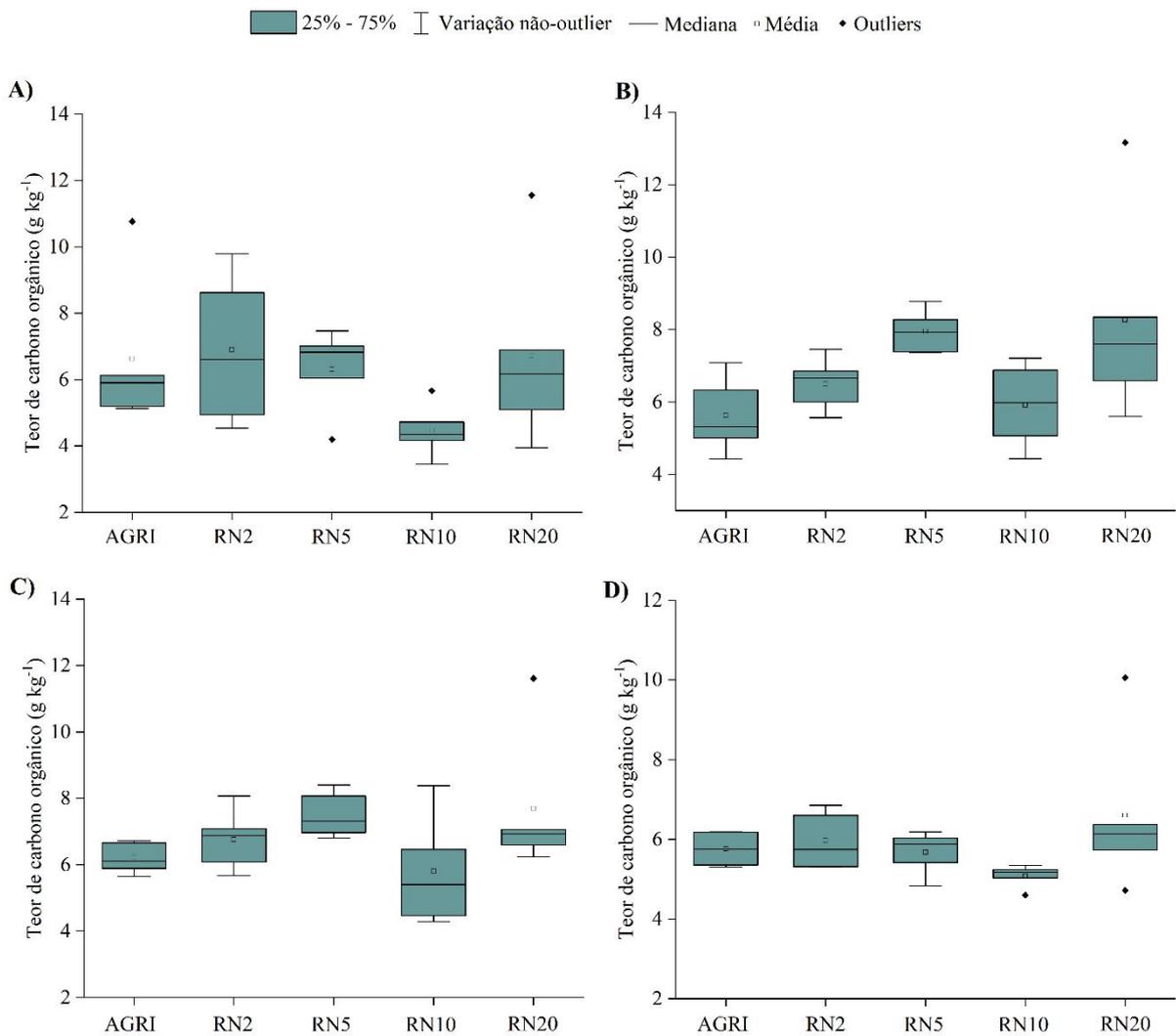
Os resultados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Dados que não seguiram a distribuição normal foram transformados por Box-Cox ou Log10. Após a normalização, os resultados foram submetidos ao teste *t*, com correção de Bonferroni, ao nível de 5% de significância. Todas as análises estatísticas foram realizadas usando o *software* RStudio®.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Teores de carbono orgânico

Não foram observadas diferenças significativas ( $p < 0,5$ ) entre os teores de carbono orgânico nas áreas estudadas (Figura 2). Os teores variaram entre 4,47 e 6,90 g kg<sup>-1</sup> na camada de 0-5 cm, 5,63 a 8,26 g kg<sup>-1</sup> na camada de 5-10 cm, 5,80 a 7,69 g kg<sup>-1</sup> na camada de 10-20 cm, e de 5,08 a 6,60 g kg<sup>-1</sup> na camada de 20 a 40 cm. Estes resultados indicam que os teores de C não foram afetados pelo tempo de pousio (regeneração natural). Os valores de carbono orgânico do solo neste estudo são considerados baixos e estão concordantes com os valores encontrados na literatura para solos arenosos (LAL et al., 2007), uma vez que solos arenosos acumulam naturalmente pouco carbono, devido sofrerem com elevado índice de lixiviação, suas partículas são menos agregadas, além da baixa atividade das argilas (BODDEY et al., 2004) e apresentam alta taxa de mineralização da MOS (LIMA et al., 2008). Dependendo do manejo do solo, podem ocorrer mudanças nos estoques de carbono orgânico, muitas vezes causado devido pelo manejo impróprio colaborando para diminuição de carbono orgânico nesses solos (LIMA et al., 2006).

**Figura 2** - Teores de carbono orgânico em solos, nas profundidades de 0-5 cm (A), 5-10 cm (B), 10-20 cm (C), e 20-40 cm (D), atualmente cultivados (AGRI) e em regime de pousio por 2 anos (RN2), 5 anos (RN5), 10 anos (RN10) e 20 anos (RN20) na Amazônia Oriental.



## 5.2. Propriedades físicas do solo

As propriedades físicas não sofreram influência significativa ( $p < 0,05$ ) do tempo de regeneração natural (Tabela 1). A densidade do solo (DS) apresentou resultados variando entre 1,32 e 1,59 g cm<sup>-3</sup>, com uma tendência de aumento de acordo com a profundidade.

Os valores de porosidade total (PT) variaram entre 0,40 e 0,50 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> e, como esperado, tiveram o comportamento oposto ao observado para a DS, ou seja, diminuíram a partir de 5 cm de profundidade. A macroporosidade (MAC) e a microporosidade (MIC) apresentaram valores entre 0,17 e 0,36 e 0,13 e 0,26 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, respectivamente. O conteúdo de água disponível (AD), por sua vez, apresentou resultados variando entre 0,09 e 0,19 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>.

Os valores de densidade deste solo arenoso corroboram com os encontrados na literatura para solos arenosos, segundo os autores Reihert et al., (2015) e Reichert et al., (2014) o valor crítico máximo de densidade para solos arenosos é 1,8 Mg m<sup>-3</sup>. Solos que apresentam menores teores de argila, conseqüentemente, tem elevada densidade devido ao maior peso das partículas de quartzo da fração areia e baixa matéria orgânica encontradas nestes solos

(FREITAS, 2013) porém, os solos estudados ainda encontram-se abaixo dos valores considerados críticos para o desenvolvimento das plantas para solos de textura franca e arenosos segundo o exposto por Reichardt et al. (2003) que é de 1,6 a 1,8 g cm<sup>-3</sup>. Os valores de densidade do solo encontrados neste trabalho estão abaixo dos apresentados por (PARAHYBA, 2015).

A menor densidade do solo observada na camada mais superficial concorda com os maiores valores de porosidade total nesta camada que apresenta também maior volume de macroporos que de microporos, enquanto que nas camadas subsuperficiais, de maneira geral, há uma equivalência no volume de MAC e MIC, com diminuição de MAC e aumento de MIC, com relação à camada superficial. O aumento relativo do volume de microporos em subsuperfície colabora para uma maior retenção de água nas camadas abaixo de 5 cm de profundidade neste solo arenoso.

Os macroporos são muito importantes, uma vez que são responsáveis pelo movimento do ar e da água. Destacando que apesar dos solos arenosos, comumente apresentarem baixa porosidade total, o fluxo de ar e água é intenso, por conterem elevada quantidade de macroporos, já os microporos também ocupam lugar de importância, geralmente estão preenchidos com água, porém como seu tamanho é reduzido não há espaço para movimentação de ar e movimento da água é lento (BRADY; WEIL, 2009). Pesquisas realizadas com solos arenosos mostram uma elevada permeabilidade à água, contudo estes solos apresentam baixa capacidade de retenção de água, indicando ainda baixos valores de água disponível (AD) (SCOPEL, 1997). Os valores de água disponível no solo (AD) seguem os valores da literatura científica, indicando que são baixos (SPERA et al., 1999.).

Vários fatores podem estar envolvidos na expressão da densidade e porosidade em solos arenosos, entre eles o tipo de uso e cobertura do solo (SOUZA, 2018), o arranjo e dimensão das partículas (BRADY; WEIL, 2009), o conteúdo de matéria orgânica (DEXTER, 2004).

**Tabela 1** - Densidade do solo (DS), porosidade total (PT), macroporosidade (MAC), microporosidade (MIC), e conteúdo de água disponível (AD) em solos atualmente cultivados e em regime de pousio por 2 anos (RN2), 5 anos (RN5), 10 anos (RN10) e 20 anos (RN20) na Amazônia Oriental.

Área	DS	PT	MAC	MIC	AD
------	----	----	-----	-----	----

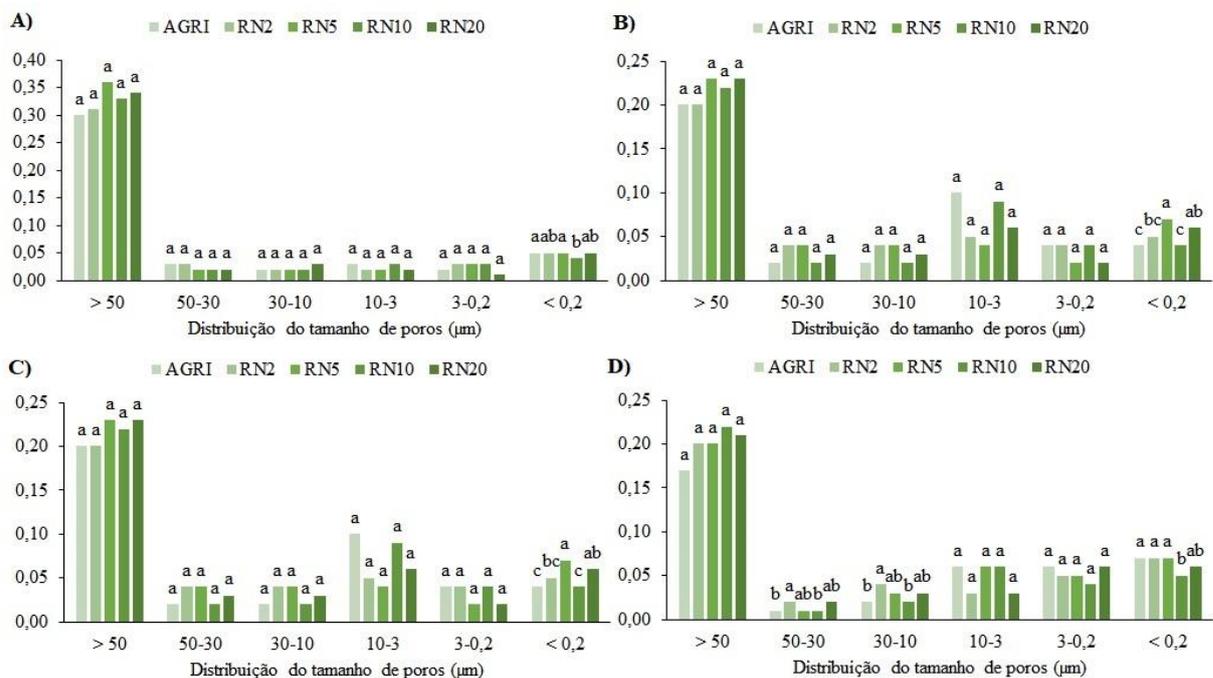
	$\text{g cm}^{-3}$	$\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$			
		<b>0-5 cm</b>			
Cultivo	1,45 a	0,45 a	0,30 a	0,15 a	0,09 a
RN2	1,42 a	0,46 a	0,31 a	0,16 a	0,13 a
RN5	1,32 a	0,50 a	0,36 a	0,14 a	0,09 a
RN10	1,43 a	0,46 a	0,33 a	0,13 a	0,10 a
RN20	1,40 a	0,47 a	0,34 a	0,13 a	0,09 a
		<b>5-10 cm</b>			
Cultivo	1,52 a	0,43 a	0,20 a	0,23 a	0,18 a
RN2	1,53 a	0,42 a	0,20 a	0,22 a	0,17 a
RN5	1,48 a	0,44 a	0,23 a	0,21 a	0,15 a
RN10	1,50 a	0,44 a	0,22 a	0,21 a	0,17 a
RN20	1,49 a	0,44 a	0,23 a	0,20 a	0,14 a
		<b>10-20 cm</b>			
Cultivo	1,55 a	0,42 a	0,22 a	0,20 a	0,15 a
RN2	1,56 a	0,41 a	0,20 a	0,21 a	0,14 a
RN5	1,51 a	0,43 a	0,24 a	0,19 a	0,12 a
RN10	1,54 a	0,42 a	0,26 a	0,16 a	0,12 a
RN20	1,52 a	0,43 a	0,20 a	0,23 a	0,19 a
		<b>20-40 cm</b>			
Cultivo	1,59 a	0,40 a	0,17 a	0,23 a	0,14 a
RN2	1,57 a	0,41 a	0,20 a	0,21 a	0,14 a
RN5	1,55 a	0,41 a	0,20 a	0,22 a	0,14 a
RN10	1,58 a	0,41 a	0,22 a	0,19 a	0,14 a
RN20	1,55 a	0,41 a	0,21 a	0,21 a	0,15 a

Letras iguais na coluna, não diferem entre si, a nível de 5% de probabilidade pelo teste *t*.

Os poros neste solo são mal distribuídos, com predomínio de poros  $> 50 \mu\text{m}$ , ou seja, observa-se uma concentração da porosidade nessa faixa de diâmetro, o que se relaciona com valores do parâmetro *n* mais elevados (Tabela3), correspondendo a uma maior inclinação da CRA, sobretudo na camada mais superficial, que apresenta, de forma geral, menores teores de silte e argila, em relação às outras camadas (Tabela 2). A análise estatística sobre a distribuição do tamanho de poros (DTP) revelou que somente a classe  $< 0,2 \mu\text{m}$  varia significativamente nas duas primeiras camadas superficiais de coleta (0-5 e 5-10 cm). Em

relação às duas camadas mais profundas, a classe de poros entre 30-10  $\mu\text{m}$  variou estatisticamente na camada de 10-20 cm, enquanto as classes 50-30, 30-10 e  $< 0,2$   $\mu\text{m}$  variaram estatisticamente na camada de 20-40 cm (Figura 3).

**Figura 3** - Distribuição do tamanho de poros nas profundidades de 0-5 cm (A), 5-10 cm (B), 10-20 cm (C), e 20-40 cm (D) em solos atualmente cultivados (AGRI) e em regime de pousio por 2 anos (RN2), 5 anos (RN5), 10 anos (RN10) e 20 anos (RN20) na Amazônia Oriental.



Letras comparam os tratamentos na mesma profundidade.

### 5.3 Granulometria

Os teores de areia foram extremamente elevados em todos os solos estudados (Tabela 2), com classes texturais variando entre areia franca e areia (SANTOS et al., 2018). A análise estatística revelou diferenças significativas para os teores de areia apenas na camada mais profunda (20-40 cm). A fração silte, por sua vez, apresentou diferenças significativas nas camadas de 0-5, 10-20 e 20-40 cm. Para a fração argila, foram observadas diferenças nas camadas de 5-10 e 20-40 cm de profundidade (Tabela 2).

**Tabela 2** - Teores de areia, silte e argila em solos atualmente cultivados (AGRI) e em regime de pousio por 2 anos (RN2), 5 anos (RN5), 10 anos (RN10) e 20 anos (RN20) na Amazônia Oriental.

Área	Areia	Silte	Argila	Classe textural
------	-------	-------	--------	-----------------

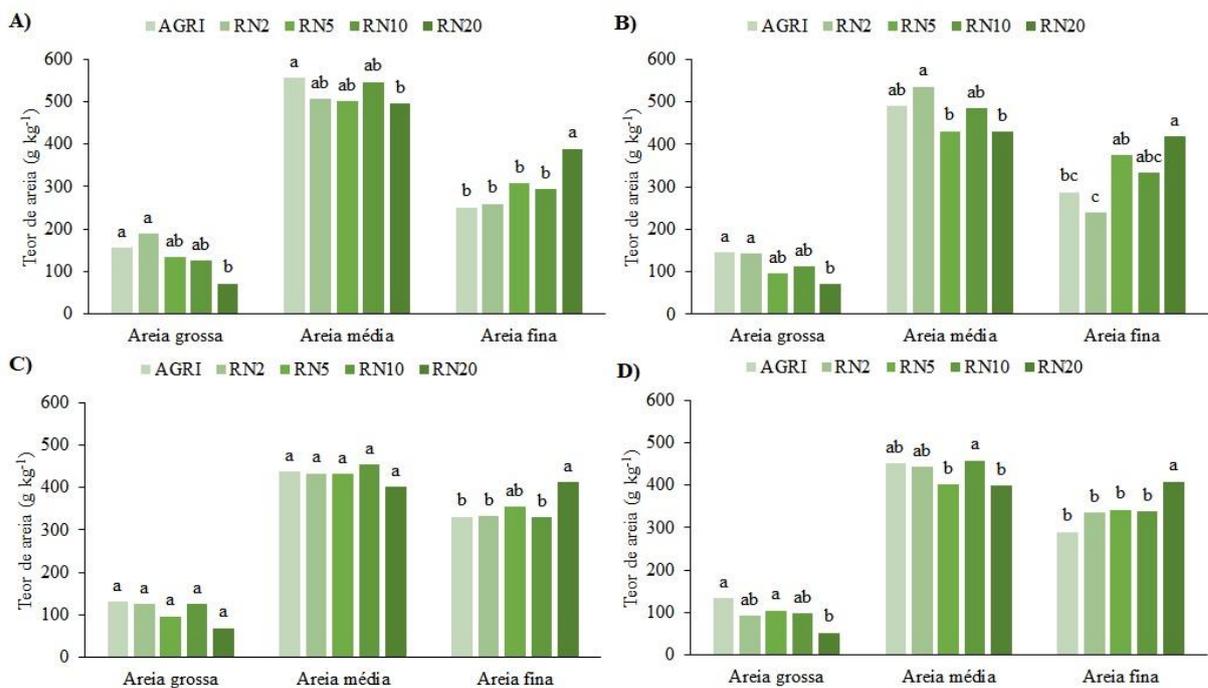
-----g kg <sup>-1</sup> -----				
----- 0-5 cm -----				
Cultivo	961 a	23 ab	16 a	Areia
RN2	952 a	28 ab	20 a	Areia
RN5	942 a	42 a	16 a	Areia
RN10	965 a	17 b	18 a	Areia
RN20	953 a	24 ab	23 a	Areia
----- 5-10 cm -----				
Cultivo	923 a	53 a	24 b	Areia
RN2	916 a	51 a	33 ab	Areia
RN5	900 a	60 a	40 a	Areia
RN10	928 a	43 a	28 ab	Areia
RN20	917 a	53 a	30 ab	Areia
----- 10-20 cm -----				
Cultivo	900 a	73 ab	27 a	Areia
RN2	891 a	80 a	29 a	Areia
RN5	884 a	72 ab	44 a	Areia
RN10	908 a	56 b	36 a	Areia
RN20	883 a	73 ab	44 a	Areia
----- 20-40 cm -----				
73 ab	871 ab	84 ab	45 ab	Areia franca
RN2	870 ab	97 a	33 b	Areia
RN5	846 b	94 ab	60 a	Areia franca
RN10	892 a	67 b	41 ab	Areia
RN20	859 b	89 ab	52 ab	Areia franca

Letras iguais na coluna, não diferem entre si, a nível de 5% de probabilidade pelo teste *t*.

Os teores de areia grossa, média e fina diferiram entre as áreas estudadas (Figura 4). Observa-se uma diminuição de conteúdo de areia grossa na área de pousio com 20 anos, em relação à área de cultivo e de pousio de 2 anos nas duas primeiras camadas mais superficiais. Na profundidade de 20-40 cm o conteúdo de areia grossa foi inferior na área de 20 anos, em relação às áreas de cultivo e de 5 anos de pousio. Os conteúdos de areia média variaram entre as áreas de estudo, salvo na profundidade de 10 a 20 cm, onde não houve diferença para esta fração de areia. Já para a fração areia fina, observa-se que RN20 apresentou uma maior

quantidade de areia fina que as demais áreas nas profundidades de 0-5 e 20-40 cm. O pousio de 20 anos também apresentou superioridade nos valores de areia fina, em relação à área de cultivo e RN2 na profundidade de 5-10 cm e às outras áreas estudadas, exceto RN5, na profundidade de 10-20 cm. As frações finas representadas pelo silte e argila e os conteúdos de areia média e fina são fatores que contribuem para a retenção de água de solos arenosos (BRADY; WEIL, 2009; PARAHYBA et al., 2010). Esses autores encontraram aumento de água disponível em solos arenosos que tinham mais partículas finas (areia fina, silte e argila).

**Figura 4** - Teores de areia grossa, areia média e areia fina nas profundidades de 0-5 cm (A), 5-10 cm (B), 10-20 cm (C), e 20-40 cm (D), em solos atualmente cultivados (AGRI) e em regime de pousio por 2 anos (RN2), 5 anos (RN5), 10 anos (RN10) e 20 anos (RN20) na Amazônia Oriental.



Letras iguais comparam os tratamentos na mesma profundidade, a nível de 5% de probabilidade pelo teste *t*.

#### 5.4 Curva de retenção da água no solo

Os valores mais elevados do parâmetro  $\alpha$  foram observados para os solos da profundidade de 0-5 cm nas áreas de cultivo, RN10 e RN20, com maiores variações entre tratamentos. As demais profundidades tiveram menor variação no valor de  $\alpha$ , com resultados entre 0,4 e 0,10 na camada de 5-10 cm, 0,8 e 0,16 na camada de 10-20 cm, e 0,7 e 0,11 na

camada de 20-40 cm (Tabela 3). Os valores de  $n$  foram mais elevados em RN2 em quase todas as profundidades, com exceção de 10-20 cm, na qual RN2 apresentou maior  $n$ . O parâmetro  $m$  variou entre 0,28 (Cultivo – 5-10 cm) e 0,46 (RN2 – 0-5 cm). Os valores de  $\theta_R$  e  $\theta_S$ , por sua vez, tiveram baixa variação entre os tratamentos, com resultados de  $\theta_R$  entre 0,5 e 0,10, e resultados de  $\theta_S$  entre 0,40 e 0,48. Engler (2007) explica que o  $\alpha$  está relacionado com o ponto de inflexão da curva de retenção de água, valores elevados deste parâmetro provocam inflexão em potenciais de pressão menos negativos. Ainda a mesma autora refere-se ao parâmetro  $n$  sendo relacionado está relacionado à inclinação da curva. Com valores de  $n$  próximos a 1 a inclinação da curva fica mais suavizada e há maior uniformidade de tamanho de poros.

**Tabela 3** - Parâmetros utilizados na estimativa das curvas de retenção de água em solos atualmente cultivados (AGRI) e em regime de pousio por 2 anos (RN2), 5 anos (RN5), 10 anos (RN10) e 20 anos (RN20) na Amazônia Oriental.

Área	$\alpha$	$n$	$m$	$\theta_R$	$\theta_S$
-----0 - 5 cm-----					
Cultivo	0,24 ± 0,10	1,55 ± 0,12	0,35 ± 0,05	0,06 ± 0,01	0,45 ± 0,01
RN2	0,08 ± 0,05	1,96 ± 0,47	0,46 ± 0,12	0,06 ± 0,01	0,46 ± 0,03
RN5	0,11 ± 0,02	1,68 ± 0,06	0,40 ± 0,02	0,05 ± 0,00	0,48 ± 0,05
RN10	0,33 ± 0,12	1,55 ± 0,14	0,35 ± 0,05	0,05 ± 0,00	0,46 ± 0,01
RN20	0,26 ± 0,15	1,64 ± 0,15	0,38 ± 0,05	0,05 ± 0,00	0,47 ± 0,01
-----5 - 10 cm-----					
Cultivo	0,09 ± 0,04	1,41 ± 0,13	0,28 ± 0,06	0,08 ± 0,01	0,43 ± 0,03
RN2	0,04 ± 0,01	1,78 ± 0,19	0,43 ± 0,06	0,06 ± 0,02	0,42 ± 0,01
RN5	0,06 ± 0,02	1,73 ± 0,21	0,41 ± 0,07	0,08 ± 0,01	0,44 ± 0,02
RN10	0,10 ± 0,05	1,43 ± 0,08	0,30 ± 0,04	0,07 ± 0,01	0,44 ± 0,03
RN20	0,06 ± 0,01	1,72 ± 0,16	0,41 ± 0,07	0,07 ± 0,02	0,45 ± 0,01
-----10 - 20 cm-----					
Cultivo	0,08 ± 0,03	1,54 ± 0,14	0,34 ± 0,06	0,06 ± 0,01	0,42 ± 0,02
RN2	0,09 ± 0,04	1,57 ± 0,23	0,35 ± 0,09	0,07 ± 0,01	0,41 ± 0,01
RN5	0,16 ± 0,06	1,52 ± 0,18	0,33 ± 0,08	0,07 ± 0,02	0,43 ± 0,01
RN10	0,11 ± 0,02	1,56 ± 0,14	0,36 ± 0,06	0,06 ± 0,00	0,42 ± 0,01
RN20	0,09 ± 0,10	1,72 ± 0,25	0,41 ± 0,08	0,07 ± 0,01	0,43 ± 0,01
-----20 - 40 cm-----					
Cultivo	0,11 ± 0,10	1,36 ± 0,08	0,26 ± 0,04	0,10 ± 0,02	0,40 ± 0,01
RN2	0,07 ± 0,04	1,59 ± 0,06	0,37 ± 0,02	0,08 ± 0,01	0,41 ± 0,00
RN5	0,09 ± 0,01	1,47 ± 0,12	0,31 ± 0,05	0,09 ± 0,01	0,41 ± 0,02
RN10	0,09 ± 0,02	1,45 ± 0,06	0,31 ± 0,03	0,07 ± 0,01	0,41 ± 0,01

RN20	$0,07 \pm 0,02$	$1,53 \pm 0,07$	$0,34 \pm 0,03$	$0,07 \pm 0,01$	$0,41 \pm 0,02$
------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

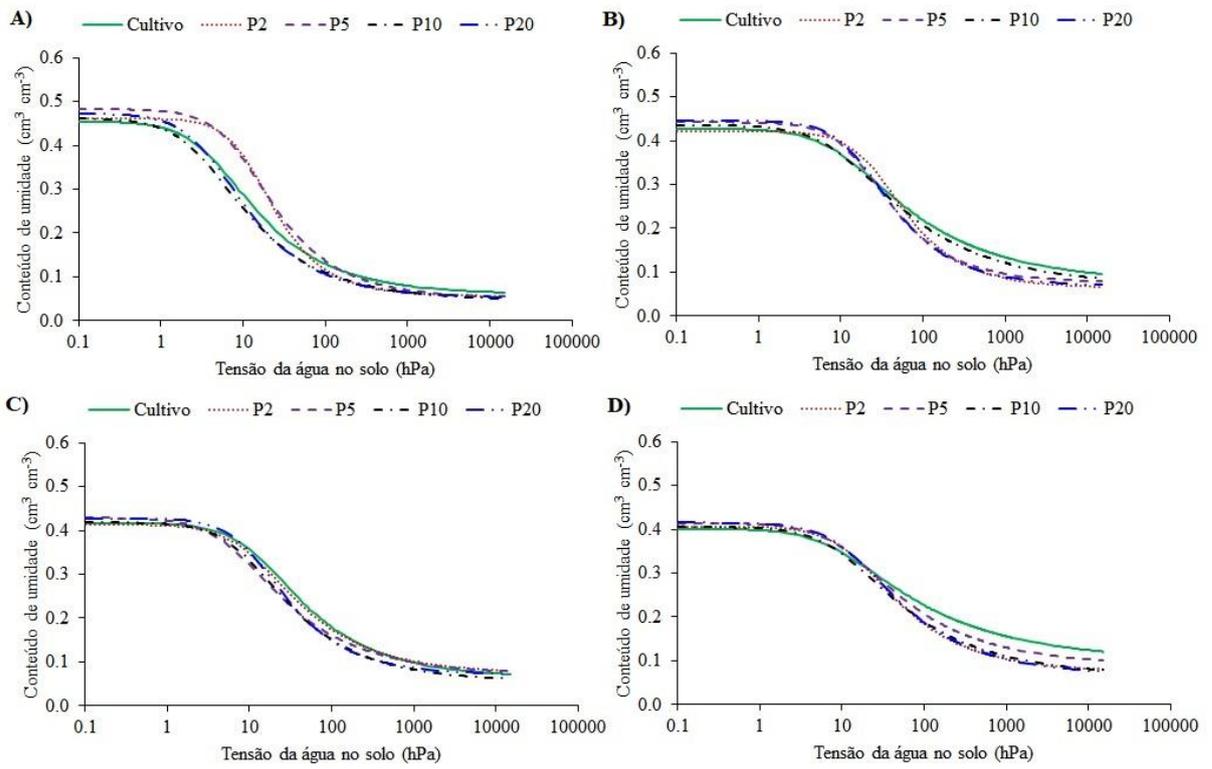
$\alpha$ ,  $m$  e  $n$  são parâmetros empíricos da equação;  $\theta_R$  é a umidade volumétrica residual ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $\theta_S$  é a umidade volumétrica saturada ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ).

O comportamento da curva de retenção de água do solo observado em todas as áreas estudadas é o esperado para solos arenosos. A declividade das curvas aponta rápida perda de água já a partir de baixos potenciais (FIGURA 5) e esse comportamento é típico de solos que apresentam predomínio de volume de macroporos sobre os de microporo, de acordo com Hillel, (1982) e está de acordo com os valores do parâmetro  $n$  obtidos na equação de ajuste, pois valores mais elevados desta variável estão relacionados à curvas mais inclinadas, dando maior concentração de poros numa faixa mais estrita de diâmetro (LIER, 2020). Observa-se em RN2 e RN5 uma maior equidade de tamanho de poros maiores e maior retenção de água em potenciais elevados, em relação à área de cultivo e demais áreas de pousio. Andrade et al, (1991) encontraram tensões de -4,76 e -5,50 kPa relacionadas à capacidade de campo de areais quartzosas, valores menos negativos para o cálculo da água disponível, que é de 10 kPa.

O fato de RN2 e RN5, a 0-5 cm, apresentarem retenção de água ligeiramente maior a potenciais menos negativos que as demais áreas e camadas pode ter relação com a estrutura de melhor qualidade nessas parcelas. Nas demais áreas e nas profundidades inferiores a 5 cm, uma ligeira suavização da inclinação da curva de retenção pode estar relacionada maior participação das frações areia média e fina (PARAHYBA et al., 2019; PARAHYBA et al., 2015), aliadas a um pequeno incremento na fração argila nestas camadas (PARAHYBA et al., 2015).

As curvas de retenção de água indicaram que os tratamentos RN2 e RN5 apresentaram capacidade de retenção de água ligeiramente maior que os demais tratamentos nas duas camadas mais superficiais de coleta (0-5 cm e 5-10 cm) (Figura 5).

**Figura 5** - Curvas de retenção da água no solo, nas profundidades de 0-5 cm (A), 5-10 cm (B), 10-20 cm (C), e 20-40 cm (D), em áreas atualmente cultivadas (AGRI) e em regime de pousio por 2 anos (RN2), 5 anos (RN5), 10 anos (RN10) e 20 anos (RN20) na Amazônia Oriental.



## 6. CONCLUSÃO

Os teores de carbono orgânico não foram afetados pelo tempo de pousio. Os parâmetros físicos (Ds, PT, MAC, MIC e AD) também não apresentaram diferenças significativas na cronossequência pelo teste *t*, no entanto quanto as profundidades, observa-se maiores valores de densidade (Ds), menor porosidade total, com diminuição de MAC e aumento de MIC, evidenciando maior retenção de água nas camadas subsuperficiais abaixo de 5 cm. Em todas as profundidades há baixos teores de água disponível (AD). A falta de diferenças significativas para a maioria dos atributos estudados dentro da cronossequência pode estar relacionada ao pequeno número amostral (n=5) e a fatores ambientais não controlados na área.

## REFERÊNCIAS

- AIDE, M.T. Z.; J.K., PASCARELLA, J.B.R.L.; Marcano-Vega, H. 2000. Forest regeneration in a chronosequence of tropical abandoned pastures: Implications for restoration ecology. **Restoration Ecology** 8: 328–338.
- ALBUQUERQUE, J. A. et al. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, n. 1, p. 115-119. 1995.
- ALTIERI, M. Agricultura tradicional. In: ALTIERI, M. **Agroecologia bases científicas para uma agricultura sustentável**. Guaíba: AS-PTA. 2002. 179-235p.
- ALVES, R. N. B.; MODESTO JUNIOR, M. D. S. **Roça sem fogo: Da tradição das queimadas à agricultura sustentável na Amazônia**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. 184 p.
- ANDRADE, R. DA S.; STONE L. F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.13, n.4, p.382–388, 2009.
- ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 1099-1108, 2007.
- ARCOVERDE, S. N. S., SALVIANO, A. M., OLSZEWSKI, N., MELO, S. B., CUNHA, T. J. F., GIONGO, V., PEREIRA, J. S. Qualidade Física de solos em uso agrícola na região semiárida do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. n. 39 p. 1473-1482, 2015
- BAIAMONTE, G. et al. Effect of biochar on the physical and structural properties of a sandy soil. **CATENA**, v. 175, p. 294–303, abr. 2019.
- BARBOSA, T.D.C.S. Qualidade física do solo em áreas sob manejo agroecológico e convencional. **Brazilian Journal of Development**. Curitiba, v. 6, n. 7, p. 48899-48909, jul. 2020.
- BECHER, H.H., BREUER, J. & KLINGLER, B. An index value for characterizing hardsetting soils by fall-cone penetration. **Soil Technology**, v.10, p. 47–56, 1997.
- BEUTLER, A.N; CENTURION, J.F.; SOUZA, Z.M.; ANDRIOLI, I.; ROQUE, C.G. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:829-834, 2002.
- BODDEY, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. S. Sequestro de carbono em solos sob sistemas agropecuários produtivos. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 4 p. Boletim técnico, 2004.
- BONDER, B. H. **Curvas de retenção de água de um solo coluvionar de Campinas obtidas mediante a técnicas de laboratório e de campo**. 2008. 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, 2008.
- BRADY N.C. Alternatives to slash and burn: a global imperative. **Agric Ecosyst Environ** 58:3–11. (1996)

- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 627 p.
- CASSOL, E. A. et al. Erosividade das chuvas em Taquari, RS, determinada pelo índice EI30, no período de 1963 a 1999. In: **REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DE SOLO E ÁGUA**, 15. 2004, Santa Maria. Anais.Santa Maria: SBCS, 2004.
- CIRNE, M. B.; SOUZA, A. G. S. M. **POUSIO**: o que é e quais são os seus possíveis reflexos nas questões ambientais. *Veredas do Direito*, Belo Horizonte. v.11, n.21, p.75-106 Janeiro/junho de 2014.
- COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.32, p.933-942, 2008.
- COPERSUCAR, 1982. **Compactação dos Solos**. in: Anais do Seminário de tecnologia Agrônômica, 1, Piracicaba: Centro de Tecnologia Copersucar, Piracicaba, p. 169- 177.
- CROMACK Jr., K. et al. Assessing the impacts of severe fire on forest ecosystem recovery. **Journal of Sustainable Forestry**, Washington, v. 11, n. 1-2, p. 177-228, 2000.
- CUNHA, E.Q.; STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A.; FERREIRA, E.P.B.; DIDONET, A.D.; LEANDRO, W.M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. Atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.2, p.589- 602, 2011.
- DAVALO, M.J. **Curva de retenção de água no solo estimado pelo método da câmara de richards e psicrômetro**. Orientador: José Frederico Centurion. 2013. 48 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Jaboticabal, 2013.
- DE BANO, L. et al. Effects of burning on Chaparral soils: I - Soil Nitrogen. *Soil Science Society America Journal*, Madison, v. 43, n. 3, p. 504-509, 1979.
- DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part II. Friability, tillage, filth and hard-setting. **Geoderma**, v. 120, p. 215-225, 2004b.
- DEXTER, A. R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Res. Elsevier v.120, p.201-214, 2004.
- DONAGEMMA, G. K.; FREITAS, P. L.; BALIEIRO, F. C.; FONTANA, A.; SPERA, S. T.; LUMBRERAS, J. F.; VIANA, J. H. M. Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p.1003-1020, 2016.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos e análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 2112 p.
- ENGLER, M. P. DE C. **Desenvolvimento de metodologia para a determinação da mobilidade de água no solo**. 2007. 70 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.
- FIALHO, J. S.; GOMES, V. F. F.; OLIVEIRA, T. S.; SILVA JÚNIOR, J. M. T. Indicadores da qualidade do solo em áreas sob vegetação natural e cultivo de bananeiras na Chapada do Apodi-CE. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 37, n.3, p.250-257, 2006.
- FONTANA, A. *et al.* **Solos frágeis: caracterização, manejo e sustentabilidade**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2015. 370 p.

- FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G.; BALIEIRO, F. C.; MOURA, T. P. A.; MENEZES, A. R.; IGNEZ, C. Características e atributos de Latossolos sob diferentes usos na região oeste do estado da Bahia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1457-1465, 2016.
- FREITAS, L. DE; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A. DE; MORETI, T. C. F.; CARMO, D. A. B. DO. Avaliação de atributos químicos e físicos de solos com diferentes texturas cultivados com cana-de-açúcar. **Enciclopédia Biosfera**, v.9, n.17; p. 362-373, 2008.
- GARCÍA, A. C., TAVARES, O. C. H., DE OLIVEIRA, D. F. Biochar as agricultural alternative to protect the rice plant growth in fragile sandy soil contaminated with cádmium. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**. 2020.
- GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. (Ed.). . **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 383–411.
- GOSCH, M. S. **A Criação dos Assentamentos Rurais no Brasil e seus Desafios**: algumas Considerações sobre Cerrado Goiano. RP3 -Revista de Pesquisa em Políticas Públicas, 2020.
- GRANGED, A. J. P. et al. Short-term effects of experimental fire for a soil under eucalyptus forest (SE Australia). **Geoderma**, Amsterdam, v. 167-168, n. 11, p. 125-134, 2011.
- GROSSMAN, R.B.; REINSCH, T.G. Bulk density and linear extensibility. In: DANE, J.H.; TOPP, G, C (Ed.). **Methods of analysis. IV: Physical methods. Madison: Soil Science society of America**, 2002. P. 201-225.
- HERINGER, I. et al. Características de um Latossolo Vermelho sob pastagem natural sujeita à ação prolongada do fogo e de práticas alternativas de manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 2, p. 309-314. 2002.
- HIGA, R. C. V.; XAUD, H. A. M.; ACCIOLY, L. J. O.; LIMA, R. M. B.; VASCONCELOS, S. S.; RODRIGUES, V. G. S.; CARVALHO, C. J. R.; SOUZA, C. R.; LEONIDAS, F. C.; TONINI, H.; FERRAZ, J. B. S.; XAUD, M. R.; OLIVEIRA, M. C. M. J.; COSTA, R. S. C. In: LIMA, M. A.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; MACHADO, P. L. O. A.; URQUIAGA, S. (Eds). **Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira**. Brasília, Embrapa, p. 33-80, 2012.
- HILLEL, D. **Introduction to Soil Physics**. San Diego: Academic Press, 1982. 264 p.
- Huang, J.; Hartemink, A. E. Soil and environmental issues in sandy soils. **Earth-Science Reviews**. 2020
- IBGE. Cidades, 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/santa-barbara-do-para/historico>. Acesso em: 12 de agosto 2020.
- KATO, O. R; BORGES, A. C. M. R; AZEVEDO, C. M. B. C; ARAGÃO, D. V; MATOS, G. B; MATOS, L. M. S; SHIMIZU, M. K; VASCONCELOS, S. S; SÁ, T. D. A. Projeto Tipitamba – Transformando paisagens e compartilhando conhecimento na Amazônia. Escritório no Brasil da Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL) das Nações Unidas, 2020. 16p.
- KIEHL, E.J. **Manual de edafologia: Relação solo-planta**. Piracicaba, Ceres, 1979. 262p.
- KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 6, p. 945-953, 2002.

- KLEIN, V. A. Física do solo. 2. Ed. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 240p, 2012.
- KRAVCHENKO, A. N.; NEGASSA, W. C.; GUBER, A. K.; HILDEBRANDT, B.; MARSH, T. L.; RIVERS, M. L. Intra-aggregate pore structure influences phylogenetic composition of bacterial community in macroaggregates. **Soil Science Society of America Journal**, v. 78, n. 6, p.1924- 1939, 2014.
- LAL, R. Carbon management in agricultural soils. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 12, n. 2, p. 303-322, 2007.
- LAL, R. Physical management of the soils of the tropics: priorities for the 21st century. **Soil Science**, Baltimore, v. 165, n. 3, p.191-207, 2000.
- LIER, Q. D. J. V. **Física do Solo baseada em processos**. Piracicaba, SP: Edição do autor, 2020. 413 p.
- LIMA A.M.N.; SILVA, I.R.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; MENDONÇA, E.S.; DEMOLINARI, M.S.M. & LEITE, F.P. Frações da matéria orgânica do solo após três décadas de cultivo de eucalipto no Vale do Rio Doce-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32 p.1053-1063, 2008.
- LIMA, A.M.N.; SILVA, I.R.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; MENDONÇA, E.S.; SMYTH, T.J.; MOREIRA, M.S. & LEITE, F.P. Soil organic carbon dynamics following afforestation of degraded pastures with eucalyptus in Southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**. n.235: p. 219-231, 2006.
- LIMA, J.Z.; PAZ, C.M.P. Avaliação de propriedades físicas de solos arenosos do Cerrado sob área nativa, cultivada com soja ou pastagem. Simpósio Nacional de instrumentação agropecuária. São Carlos, 2014.
- MACHADO, J.L.; TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J. & SCAPIM, C.A. Inter-relações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção da água de um latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Solo, 32:495- 502, 2008.
- Mamede, M. de A.; Araújo, F.S. Effects of slash and burn practices on a soil seed bank of caatinga vegetation in Northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**. 458–470. 2008.
- MEDEIROS, J.C. **Funções de pedotransferência em estudos do funcionamento hídrico do solo da região sudeste do estado do Pará**. Orientador: Miguel Cooper. 2012. 121 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo/ Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 2012.
- MEIRELLES, M. L. Efeito do fogo sobre a umidade do solo em área de campo sujo de cerrado. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 42, n. 7, p. 359-360, 1990.
- MOTA, J. A.; ALENCAR, T. L.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Alterações físicas de um cambissolo cultivado com bananeira irrigada na chapada do Apodi, Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 4, p. 1015-1024, 2015.
- NASCIMENTO, E.F.D.; PEREIRA, F.A.D.C.; NETTO, A.D.O.A; CAMPECHE, L.F.S.M.; SANTOS, C.A. Comportamento físico-hídrico dos solos do perímetro irrigado Curaçá em Juazeiro/BA. **Irriga**, Botucatu, v. 17, p. 435 - 447, dezembro. 2012.
- NOVAK, J. M. et al. Biochars Impact on Soil-Moisture Storage in an Ultisol and Two

Aridisols. **Soil Science**, v. 177, n. 5, p. 310–320, maio 2012.

OLIVEIRA, J.B. de; JACOMINE, P.K.T.; CAMARGO, M.N. **Classes Gerais de Solos do Brasil: Guia Auxiliar para seu Reconhecimento**. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201p.

PARAHYBA, R. DA B. V.; ARAÚJO, M. DO S. O B. DE; ALMEIDA, B. G. DE; ROLIM NETO, F. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CALDAS, A. M. Water retention capacity in Arenosols and Ferralsols in a semiarid area in the state of Bahia, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. 2019.

PARAHYBA, R. DA B. V.; ARAÚJO, M. DO S. O B. DE; ALMEIDA, B. G. DE; ROLIM NETO, F. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CALDAS, A. M. **Retenção de água em solos arenosos da Bacia Sedimentar do Tucano, Bahia**. In: XXXV Congresso brasileiro de Ciência do solo, Natal/ RN. 2015.

PRADO, H. do. **Manejo Dos Solos: Descrições Pedológicas E Suas Implicações**. São Paulo: Nobel, 1991. 116p.

PRADO, R.M., ROQUE, C.G.; SOUZA, Z.M. **Sistemas de preparo e resistência à penetração e densidade de um latossolo Vermelho eutrófico em cultivo intensivo e pousio**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 37, n. 12, p.1795-1801, 2002.

RALISCH; R.; MIRANDA, T. M.; OKUMURA, R. S.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; SCOPEL, E.; BALBINO, E. C. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 12, p. 381-384, 2008.

RANGEL VASCONCELOS, L. G. T. et al. Acúmulo de biomassa e nutrientes de duas leguminosas arbóreas introduzidas em sistema de pousio na Amazônia. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 3, p. 735-746, 2016.

RAWLS, W. J.; GISH, T. J.; BRAKENSIEK, D. L. Estimating soil water retention from soil physical properties and characteristics. **Advances in Soil Science**, v.16, p.213-234, 1991.

REDIN, M.; SANTOS, G. F.; MIGUEL, P.; DENEGA, G. L.; LUPATINI, M.; DONEDA, A.; SOUZA, E. L. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 381-392, abr.-jun., 2011.

REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J. A.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; URACH, F. L.; CARLESSO, R. Estimation of water retention and availability in soils of Rio Grande Do Sul. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 33, n. 6, p. 1547-1560, 2009.

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

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

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HÅKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil Tillage Research** V. 102, p. 242–254, 2009.

REICHERT, J.M.; BERVALD, C.M.P.; RODRIGUES, M.F.; KATO, O.R.; REINERT, D.J. **Mechanized land preparation in eastern Amazon in fire-free forest-based fallow systems as**

**alternatives to slash-and-burn practices:** Hydraulic and mechanical soil properties. **Agriculture Ecosystems Environment**, v.192, n.2, 47-60, 2014.

REICHERT, J.M.; RODRIGUES, M.F.; BERVALD, C.M.P.; KATO, O.R. Fire-free fallow management by mechanized chopping of biomass for sustainable agriculture in eastern Amazon: Effects on soil compactness, porosity, and water retention and availability. **Land Degradation and Development**, v.27, 2015.

RESENDE, M.; CURTI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. 5 ed. Lavras: ed. Ufla, 2007. 322p.

REYNOLDS, W.D.; BOWMAN, B.T.; DRURY, C.F.; TAN, C.S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, Canadá, v. 110, p. 131-146, jul. 2002.

REZANEZHAD, F.; PRICE, J. S.; QUINTON, W. L.; LENNARTZ, B.; MILOJEVIC, T. E.; VAN CAPPELLEN, P. Structure of peat soils and implications for water storage, flow and solute transport: A review update for geochemists. **Chemical Geology**, v. 429, p. 75-84, 2016

RIBEIRO FILHO, A.A., ADAMS, C.; MURRIETA, R.S.S. The impacts of shifting cultivation on tropical forest soil: a review. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas** .693–727. 2013.

RIEDER, A.; DORES, E. F. G. C.; HIGA, N.; MORAES, M. P. L. Alterações no teor de matéria orgânica de solos e provável efeito no poder de proteção ambiental nas bordas do Pantanal diante da poluição por pesticidas. Pesticidas: **Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 10. p. 87-112, 2000.

ROCHA, H. C.; COSTA, C.; CASTOLDI, F. L. Comercialização de Produtos da Agricultura Familiar: um estudo de caso em Passo Fundo – RS. RAIMED – **Revista de Administração IMED**, v.2, n.3, p. 151-157. 2012

SANTOS, H. G. DOS et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília-DF: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Embrapa Solos, 2018.

SANTOS, N. G. N.; OLSZEWSKI, N.; SALVIANO, A. M.; CUNHA, T. J. F.; GIONGO V.; PEREIRA, J. S. Granulometric fractions and physical-hydric behavior of sandy soils. **Revista Agrarian**, v.12, n.45, p. 318-327, 2019.

SCOPEL, I. **Características físicas de solos do litoral-norte do Rio Grande do Sul**. 1977. 129 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SILVA, A. M. da. **Banco de dados de curvas de retenção de água de solos brasileiros**. 2005. 141 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

SILVA, A. P. da; TORMENA, C. A.; DIAS JUNIOR, M. de S.; IMHOFF, S.; KLEIN, V. A. **Indicadores da qualidade física do solo**. In: VAN LIER, Q. de J. Física do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2010. p. 241-281

SILVA, A. P. F.; SOUZA, A. A. Alimentos Orgânicos da Agricultura Familiar no Programa Nacional de Alimentação Escolar do Estado de Santa Catarina, Brasil. **Revista Nutrição**. Campinas, v. 26, n.6, p.701-714, 2013.

- SILVA, E. M.; LIMA, J. E. F. W.; AZEVEDO, J. A. de; RODRIGUES, L. N. **Valores de tensão na determinação da curva de retenção de água de solos do Cerrado**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 41, n. 2, p. 323-330, 2006.
- SILVA, M. M. D.; OLIVEIRA, F. D. A.; SANTANA, A. C. Mudanças na dinâmica de uso das florestas secundárias em Altamira, Estado do Pará, Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 58, n. 2, p. 176-183, 2015.
- SILVA, P. L. F. DA, et al; **DISTRIBUIÇÃO DE POROS POR TAMANHO E SUA RELAÇÃO COM OS PARÂMETROS DE AJUSTES DA CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO**. **Revista Agri-Environmental Sciences**, v. 6, 2020.
- SILVA, R.F. **Roça caiçara: dinâmica de nutrientes, propriedades físicas e fauna do solo em um ciclo de cultura**. 1998. 165 p. Dissertação – Mestrado em Agronomia. Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica.
- ŠIMANSKÝ, V. et al. How relationships between soil organic matter parameters and soil structure characteristics are affected by the long-term fertilization of a sandy soil. **Geoderma**, v. 342, p. 75–84, maio 2019.
- SOARES, M. C. E.; CAMPOS, S.; CAVASINI, R.; GRANATO, M.; MASHIKI, M.Y.; RUGGIERO, J. **Delimitação e caracterização de áreas de preservação permanente por meio de SIG**. In: VII Congresso Iteano de Iniciação Científica. 2010.
- SOUZA, E. S. D. et al. Physical, chemical and mineralogical attributes of a representative group of soils from the Eastern Amazon, Brazil. **Soil**, v. 4, n. 1, p. 195-212, 2018.
- Souza, J.C.; Lopes, E.R.N.; Sousa, J.A.P.; Lourenço, R.W. Avaliação dos aspectos físico-químicos dos solos em diferentes coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**. n.49, p. 123-139, 2018.
- SPERA, et. al. Solos arenosos no Brasil: problemas, riscos e opções de uso. **Revista de Política Agrícola**, n. 2, 1998
- SPERA, S. T., et al. **Solos areno-quartzosos no Cerrado: problemas, características e limitações ao uso**. Planaltina/DF: Embrapa Cerrados, 1999. 48p. Documentos n. 7.
- Tavares, N.; Nogueira, S. C. A desigualdade agrária no Brasil: o caso do Centro Paulo Freire. **Le Monde Diplomatique Brasil**. 2021. Disponível em: <https://diplomatique.org.br/a-desigualdade-agraria-no-brasil-o-caso-do-centro-paulo-freire/> Acesso em: 24 jan. 2022.
- TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**– 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017.
- TIRZAH M. SIQUEIRA, JOSÉ A. S. LOUZADA, OLAVO C. PEDROLLO, NILZA M. DOS R. CASTRO, MARQUIS H. C. DE OLIVEIRA. Soil physical and hydraulic properties in the Donato stream basin, RS, Brazil. Part 1: Spatial variability. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.23, n.9, p.669-674, 2019.
- TORRES, G. N. **Distribuição de partículas e retenção de água em solos arenosos do estado de Mato Grosso**. Orientador: Eduardo Guimarães Couto. 2017. 153 f. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical) - Faculdade de Agronomia e Zootecnia da Universidade Federal de Mato Grosso, 2017.

URACH, F. L. **Estimativa da retenção de água em solos para fins de irrigação**. 2007. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

UTSET, A.; CID, G. Soil penetrometer resistance spatial variability in a ferralsol at several soil moisture conditions. **Soil Tillage Research**, Oxford, v. 61, n. 3-4, p. 193-202. 2001.

VALLE, J.B.S. **Avaliação da aplicação de modelo simplificado para previsão de curva de retenção de umidade de solos em análises de estabilidade de taludes**. 2013. 258 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Transportes) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.

VOGELMANN, E. S. et al. Soil hydro-physical changes in natural grassland of southern Brazil subjected to burning management. **Soil Research**, Collingwood, v. 50, n. 6, p. 465–472, 2012.