

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS – CAMPUS SOROCABA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO E USO DE
RECURSOS RENOVÁVEIS

FLAVIA SANTOS FERNANDES

**INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS
DE MANEJO**

Sorocaba

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS – CAMPUS SOROCABA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO E USO DE
RECURSOS RENOVÁVEIS

FLAVIA SANTOS FERNANDES

**INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS
DE MANEJO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis, da Universidade Federal de São Carlos – *Campus Sorocaba*, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis.

Orientação: Prof^a. Dr^a. Kelly Cristina Tonello

Sorocaba

2019

Santos Fernandes, Flavia

INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO EM DIFERENTES
SISTEMAS DE MANEJO / Flavia Santos Fernandes. -- 2019.

78 f. : 30 cm.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São Carlos, campus
Sorocaba, Sorocaba

Orientador: Kelly Cristina Tonello

Banca examinadora: Julieta Bramorski, Júlio César Pereira

Bibliografia

1. Indicadores de qualidade de solo. I. Orientador. II. Universidade
Federal de São Carlos. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo Programa de Geração Automática da Secretaria Geral de Informática (SIn).

DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

Bibliotecário(a) Responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano – CRB/8 6979

FLAVIA SANTOS FERNANDES

INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO EM
DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação para obtenção do título de
mestre em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis,
Universidade Federal de São Carlos,
Sorocaba, 12 de fevereiro de 2019.

Orientador:



Profa. Dra. Kelly Cristina Tonello
Universidade Federal de São Carlos – *Campus* Sorocaba

Examinadores:



Dra. Julieta Bramorski
Universidade Federal do Amapá



Dr. Júlio César Pereira
Universidade Federal de São Carlos – UFSCar Sorocaba

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Kelly Cristina Tonello, que aceitou me orientar, tão de repente, pelo empenho, disponibilidade e paciência. Muito obrigada por me ter corrigido quando necessário sem nunca me desmotivar. Tenho certeza que não chegaria neste ponto sem o seu apoio.

Aos membros da banca examinadora, Prof^o. Dr^o. Júlio César Pereira e Prof^a Dr^a. Julieta Bramorski que tão gentilmente aceitaram participar e colaborar com esta dissertação.

Ao Carlão e Márcia por permitir que todo mês eu estivesse na propriedade deles, fazendo as medições e mil perguntas.

A minha companheira de vida, minha irmã Fernanda por me acompanhar nessa jornada.

Aos meus pais pelo suporte e apoio quando decidi me aventurar nessa nova jornada.

A minha irmã Fabiana por me ajudar com os truques do Word.

A Gabriela Fiori pelos ensinamentos no laboratório e disposição em me ajudar.

Lista de Figuras

Figura 1. Localização dos tratamentos no Sítio São João, Salto de Pirapora, SP. 2017.

Figura 1: Localização da área de estudo.

Figura 2: Sistema Agroflorestal (SAF) em outubro de 2017 (a) e fevereiro de 2018 (b); Área de pasto (PAS) em outubro de 2017 (c) e março de 2018 (d); Plantio de Lichia em dezembro de 2017 (e) e março de 2018 (f). Sítio São José, Salto de Pirapora, SP.

Figura 3. Infiltrômetro Mini Disk (a), Penetrógrafo de solos (b) e (c); e quadrante para monitoramento da cobertura do solo (d).

Figura 4. Precipitação acumulada ao longo do período monitorado (outubro/2017 a setembro/2018) e normais climatológicas de do período de 1981 a 2010. Salto de Pirapora, SP, Brasil.

Figura 5: Médias das densidades do solo no Sistema Agroflorestal (SAF) pasto em transição (PAS) e lichia (LIC) monitorado no período de outubro/17 a setembro de 2018. Salto de Pirapora, SP.

Figura 6. Relação da condutividade hidráulica com a chuva no Sistema Agroflorestal (SAF) pasto em transição (PAS) e lichia (LIC) monitorado no período de outubro/17 a setembro de 2018. Salto de Pirapora, SP

Figura 7: Médias das umidades do solo no Sistema Agroflorestal (SAF) pasto em transição (PAS) e lichia (LIC) monitorado no período de outubro/17 a setembro de 2018. Salto de Pirapora, SP.

Figura 8. Médias da condutividade hidráulica no Sistema Agroflorestal (SAF) pasto em transição (PAS) e lichia (LIC) monitorado no período de outubro/17 a setembro de 2018. Salto de Pirapora, SP.

Figura 9. Relação da condutividade hidráulica com a chuva no Sistema Agroflorestal (SAF) pasto em transição (PAS) e lichia (LIC) monitorado no período de outubro/17 a setembro de 2018. Salto de Pirapora, SP.

Figura 10. Médias da infiltração no Sistema Agroflorestal (SAF) pasto em transição (PAS) e lichia (LIC) monitorado no período de outubro/17 a setembro de 2018. Salto de Pirapora, SP.

Figura 11. Relação da condutividade hidráulica com a chuva no Sistema Agroflorestal (SAF) pasto em transição (PAS) e lichia (LIC) monitorado no período de outubro/17 a setembro de 2018. Salto de Pirapora, SP

Figura 12: Médias da RMSP com a chuva no Sistema Agroflorestal (SAF) pasto em transição (PAS) e lichia (LIC) monitorado no período de outubro/17 a setembro de 2018. Salto de Pirapora, SP

Figura 13. Médias RMSP por profundidade no Sistema Agroflorestal (SAF) pasto em transição (PAS) e lichia (LIC) monitorado no período de outubro/17 a setembro de 2018. Salto de Pirapora, SP.

Lista de tabelas

Tabela 1: Valores condutividade hidráulica.

Tabela 2: Classificação do solo a partir da VI.

Tabela 3: Limites de classes de resistência de solos à penetração e graus de limitação ao crescimento das raízes.

Tabela 4: Anova densidade do solo

Tabela 5: Resistências mecânicas médias a penetração nas camadas de solo.

Tabela 6: Médias dos atributos monitorados

Tabela 7. Correlação de Pearson entre atributos monitorados

RESUMO

A avaliação da estrutura física-hídrica do solo em função de seu uso e manejo é necessária para o dimensionamento de sua qualidade física, de forma a caracterizar e entender a dinâmica das mudanças no ambiente. Neste sentido, este estudo teve como objetivo caracterizar e avaliar a influência de diferentes sistemas de uso e manejo na qualidade do solo. O estudo foi conduzido no sítio São João, localizado no município de Salto de Pirapora, SP, onde avaliou-se ao longo de um ano a resistência mecânica à penetração, condutividade hidráulica e infiltração do solo, em três sistemas de manejo: (1) Sistema Agroflorestal (SAF); (2) plantio de lichia (LIC) e (3) área em transição para plantação de bananas (PAS). Em cada tratamento, também foram mensurados a cobertura do solo com auxílio de um quadrante de 0,24m², assim como foram obtidas amostras de solo indeformadas nas camadas 0-10 cm para determinação de sua densidade e umidade. Dados de chuva foram registrados mensalmente para correlacionar com os atributos físicos de cada tratamento. Os sistemas em que o manejo é maior e mais frequente (SAF e PAS) apresentaram melhores resultados em relação a qualidade do solo do que o sistema com menor manejo (LIC), com exceção dos parâmetros umidade e cobertura do solo, onde a LIC apresentou melhores condições. As características físicas do SAF e PAS foram semelhantes entre si e diferentes da área LIC. Desse modo, conclui-se que a DS, K, VI, RMSP nos solos manejados com SAF e PAS apresentaram uma melhor qualidade em relação à LIC.

Palavras-chave: recuperação do solo; recuperação ambiental; resistência mecânica à compactação; propriedades físicas do solo.

ABSTRACT

The use and management of the soils have caused physical-water changes of them. The evaluation of these modifications is necessary for the dimensioning of the physical quality of the soils, in order to characterize and understand the dynamics of the changes in the environment. In this sense, this study has the goal of characterize and evaluate the influence of different systems of use and management of the soil. The study was conducted at the São João site, located in the city of Salto de Pirapora,

SP, Brazil, where the mechanical resistance to penetration, hydraulic conductivity and soil infiltration were evaluated over a year in three management systems: (1) Agroforestry System (SAF); (2) lytic planting (LIC) and (3) area in transition for banana plantation (PAS). In each treatment, the soil cover was also measured using a 0.24m² quadrant, as well as undisturbed soil samples in the 0-10 cm layers to determine their density and humidity. Rainfall data were recorded monthly to correlate with the physical-water attributes of each treatment. The systems with the highest and most frequent management (SAF and PAS) presented better results in relation to soil quality than the system with lower management (LIC), except for the parameters humidity and soil cover where the LIC presented better conditions. The physical characteristics of SAF and PAS were similar to each other and different from the LIC area. The physical characteristics of SAF and PAS were similar to each other and different from the LIC area. Thus, it can be concluded that DS, K, VI, RMSP in SAF and PAS soils showed a better quality in relation to LIC.

Keywords: soil recovery; environmental recovery; mechanical resistance to compaction; physical properties of soil

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	4
2. OBJETIVOS.....	6
3. Referencial Teórico.....	7
3.1. Atributos do solo como indicadores de sua qualidade	7
3.2. Qualidade do solo	7
3.2.1. Densidade do Solo.....	11
3.2.2. Umidade.....	12
3.2.3. Condutividade Hidráulica	14
3.2.4. Infiltração	16
3.2.5. Resistência a Penetração	19
3.2.6. Cobertura Vegetal	22
3.2.7. Matéria Orgânica.....	23
3.3. Sistemas Agroflorestais	25
3.4. Preparo do solo com implementos agrícolas	27
4. MATERIAL E MÉTODOS	29
4.2. Atributos Físicos- Hídricos do solo.....	33
4.2.1 Densidade (DS) e umidade do solo (US)	33
4.2.2. Condutividade hidráulica (k) e Infiltração de água no solo (VI)	34
4.2.3. Resistência mecânica do solo à penetração (RMSP)	34
4.3. Atributos biológicos do solo	35
4.3.1. Cobertura do Solo (CoV – cobertura vegetal viva e CoM – cobertura vegetal morta).....	35
4.3.2. Matéria orgânica	35
4.4. Análise estatística	36
5. Resultados e discussão	38
6. CONCLUSÕES.....	54
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	56

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento das características físicas do solo, assim como de sua qualidade são essenciais para a sustentabilidade dos sistemas agropecuários. Por essa razão, sua avaliação deve ser realizada utilizando indicadores que possam refletir seu comportamento de acordo com o uso e manejo (PEREIRA *et al.*, 2011). Os indicadores físicos, por exemplo, são indispensáveis uma vez que caracterizam os medidores da sustentabilidade dos sistemas produtivos (REYNOLDS, *et al.*, 2002). Ou seja, se o solo está sendo utilizado acima da sua capacidade, os parâmetros estarão alterados.

Nesse sentido, nos últimos anos tem se verificado uma maior preocupação com a qualidade do solo. Na medida em que há um aumento da intensidade do uso, podem ocorrer a diminuição da capacidade produtiva (CARVALHO *et al.*, 2004) e da fertilidade, assim como a desagregação do solo (FREITAS *et al.*, 2017).

Os atributos do solo sob uso agrícola são, comumente, influenciados pelo manejo das culturas (MENEZES *et al.*, 2008). Sendo o solo um recurso natural, é de grande importância o uso de indicadores que caracterizam a sua qualidade para avaliação da sustentabilidade ambiental (MELLONI *et al.*, 2008).

O estudo desses atributos ao longo do tempo permite determinar a quantidade e a duração das alterações provocadas pelos diferentes sistemas de manejo (FREITAS, 2017). Por serem sensíveis, esses indicadores identificam se houve degradação ou melhoria da qualidade do solo em relação a um sistema de manejo determinado (REICHERT *et al.*, 2009). A alteração neles podem resultar em problemas como compactação, redução na infiltração de água no solo, na porosidade e na agregação (PEREIRA, *et al.*, 2010).

A escolha dos indicadores do solo podem variar de acordo com o objetivo. No monitoramento é necessário determinar objetivos que permitam avaliar as mudanças na sua qualidade, pois estas podem ser disfarçadas pela heterogeneidade do mesmo.

Estudos recentes mostram a importância dos atributos físicos do solo, que têm sido utilizados para checar modificações do manejo em sistemas conservacionistas comparados a sistemas convencionais (D'ANDRÉA *et al.*, 2002; SANTANA *et al.*, 2006; MENEZES *et al.*, 2008).

A redução da cobertura vegetal nativa e o aumento da intensidade do uso do solo têm resultado na deterioração dos recursos naturais (FREITAS, *et al.*,2017). O manejo adequado dos solos cultivados é importante para manter ou alterar minimamente seus atributos, mantendo-os ideal ao desenvolvimento das culturas (RODRIGUES, *et al.*, 2014). O impacto causado pelo manejo pode ser avaliado através dos atributos físicos, químicos e/ou biológicos (RAMOS, *et al.*, 2017).

O uso contínuo de sistemas de manejo determina alterações em propriedades do solo, cuja intensidade depende do tempo de uso e das condições edafoclimáticas (PAULINO, 2013). Os sistemas agrícolas que unem a monocultura contínua ao uso de equipamentos inadequados de preparo do solo resultam em uma degradação deste (FREITAS, *et al.*, 2017). A atividade agropecuária tem sido frequentemente desenvolvida, sem levar em consideração fatores que podem alterar as características dos atributos físico-químicos do solo, ocasionando assim, problemas de ordem edáfica. A perda da qualidade do solo, em seus aspectos químicos, físicos e biológicos, provoca a redução da capacidade do solo em exercer suas funções diversas.

A avaliação desses atributos busca entender os processos que interferem na qualidade dele, e poder planejar o manejo mais adequado mantendo as características que são benéficas a ele (CARDOSO, *et al.*,2011). Portanto, pode se dizer, que o conhecimento dos atributos físicos de um solo tem papel importante na condução de seu manejo.

A importância prática de se entender o comportamento físico do solo está relacionado ao seu uso e manejo adequado, ou seja, orientar irrigação, drenagem, preparo e conservação de solo e água (SEIDEL, 2014).

2. OBJETIVOS

Este estudo teve como objetivo caracterizar e avaliar a influência de diferentes sistemas de uso e manejo na qualidade do solo, em: (1) Sistema Agroflorestal (SAF); (2) plantio de lichia (LIC) e (3) pasto em transição para plantação de bananas (PAS);

Objetivos específicos

- Caracterizar os atributos físicos-hídricos do solo em cada sistema de uso e manejo, tais como: densidade do solo, umidade, condutividade hidráulica, infiltração de água no solo, resistência mecânica do solo à penetração;
- Caracterizar os atributos biológicos do solo, como a cobertura do solo e o teor de matéria orgânica, em cada sistema de uso e manejo;
- Avaliar a dinâmica dos atributos físicos do solo em cada sistema de manejo em função da chuva;
- Comparar os atributos físicos-hídricos e biológicos entre os sistemas de uso e manejo.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Os fatores que mais contribuem para a degradação dos solos em termos de estrutura física, hídrica e matéria orgânica, por exemplo, são as práticas agrícolas inadequadas, incluindo pastoreio intensivo, o uso contínuo com culturas anuais e o desmatamento (SILVA, 2018).

De acordo com Vargase Scholles (2000), sistemas de manejo com diferentes formas de revolvimento do solo e composição dos restos vegetais, provocam alterações nas propriedades do solo, com reflexos sobre a qualidade e a produtividade das culturas, e da comunidade microbiana.

3.1. Atributos do solo como indicadores de sua qualidade

Os indicadores de qualidade do solo são propriedades que podem ser medidas e que indicam a capacidade do solo de sustentar e promover a qualidade ambiental, podendo ser divididos em químicos, físicos e biológicos (MURPHY *et al.*, 2006).

Segundo Santana e Bahia Filho, (1998), a avaliação da qualidade do solo pode ser realizada pelo monitoramento de seus atributos, sendo recomendado aqueles atributos que podem sofrer mudanças em médio prazo, tais como densidade e porosidade, estado de agregação e de compactação, conteúdo de matéria orgânica e nível de atividade biológica. Pelo fato de ser necessário um número razoável de variáveis, a qualidade do solo não pode ser mensurada diretamente, mas pode ser estimada a partir de indicadores de qualidade (ANDREWS *et al.*, 2004).

Por essa razão, o estudo da qualidade do solo é essencial, pois reflete o uso, a produtividade e a sustentabilidade global de agrossistemas, sendo, um indicador essencial para se ter informações sobre o manejo do solo e assegurar a tomada de decisões para uma melhor utilização desse recurso (ARCOVERDE, 2013).

3.2. Qualidade do solo

A qualidade da terra é o estado ou a saúde das terras em relação à sua capacidade de uso sustentável do solo e gestão ambiental (FAO, 1997). A qualidade pode ser conceituada como a capacidade de o solo funcionar dentro dos limites

ecossistemas e interagir de maneira positiva com o meio ambiente (NORFLEET *et al.* 2003). A preocupação com os recursos do solo não é nova. Lowdermilk (1953) afirma que uma vez o solo com suas capacidades produtivas perdida, nossas liberdades de escolhas e ação desapareceriam e condenaríamos a nossa e gerações futuras.

A qualidade do solo está diretamente relacionada ao seu uso e manejo. Os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, são alterados pelas práticas de manejo do solo afetando a sustentabilidade ambiental e resultando na perda de qualidade e a produtividade agrícola (NIERO *et al.*, 2010; CHAVES *et al.*, 2012). Portanto, compreender e quantificar o impacto do uso e manejo do solo são necessários no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis (BAVOSO *et al.*, 2010). Em relação as plantas, o solo tem a função de ser um fixador e reservatório para as raízes, por onde estas retiram água e nutrientes, elementos essenciais a vida da planta. Do ponto de vista agrícola, a qualidade do solo está relacionada com o crescimento das plantas, por essa razão, a qualidade do solo pode ser classificada como sendo boa ou ruim, alta, baixa ou média para um determinado fim.

A atividade agrícola pode vir a ser um dos grandes contribuidores da degradação ambiental (FAO, 2011; LAL, 1999; OLDEMAN, 1994; SHARPLEY, 2002), e por essa razão, tem sido recomendado sistemas de uso e manejo que contribuam para a conservação do solo e da água (HAYGARTH e JARVIS, 2002). O funcionamento dos processos de degradação dos solos e o potencial de contaminação das águas tem sido relacionados com os indicadores da qualidade sob diferentes condições de manejo e uso (HAYGARTH e JARVIS, 2002; RAMOS *et al.*, 2014).

Costa *et al.* (2009) constataram que o revolvimento do solo com arado e grade ou escarificador traz algumas modificações nas características do solo, reduzindo o teor de carbono de compostos orgânicos, a estabilidade de agregados, a densidade e a capacidade de campo, além disso, aumenta a porosidade total, a macroporosidade e a capacidade de aeração em comparação com o sistema de plantio direto, o qual não há revolvimento do solo. Porém, após a escarificação, se não forem adotadas medidas preventivas, com o tempo os efeitos da descompactação serão de curta duração (ARAUJO *et al.*, 2004; BUSSCHER *et al.*, 2002).

Por Dantas *et al.* (2012) ainda foi concluído que o cultivo anual há maior degradação física do solo do que os cultivos perenes, e nestes há menor revolvimento do solo. Dessa maneira, a adoção de sistemas de manejo que mantenham a proteção do solo com aportes frequentes de resíduos orgânicos e necessário para a manutenção e/ou melhoria da estrutura do solo. (STEFANOSKI *et al.*, 2013).

A atividade agrícola vem estimulando alterações em busca de uma agricultura mais sustentável, utilizando sistemas que aumentam a produção e conseqüentemente o rendimento econômico e ainda levam em consideração a questão ecológica. A agricultura conservacionista se destaca em relação à agricultura convencional em numerosos aspectos. Palm *et al.* (2013) destacam que a melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicas do solo, agem diretamente numa melhor qualidade dos recursos água e ar.

Dentre os sistemas de conservação do solo e da água se destacam aqueles que tem como objetivo reduzir o revolvimento do solo, promover proteção superficial e aumentar teores de matéria orgânica do solo (DERPSCH *et al.*, 1991). Os sistemas de manejo devem levar em conta as necessidades de água da planta e a armazenagem desta no solo, aumentando a infiltração da água no solo e reduzindo perda pela lixiviação e evaporação (CASTRO *et al.*, 1987). Os sistemas de manejo que reduzem escoamento contribuem para redução de perdas de solo e o transporte de poluentes para cursos d'água, especialmente em períodos em que a precipitação é mais intensa (HATCH *et al.*, 2002; TAKEDA *et al.*, 2009).

Para garantir uma elevada produção agrícola, grandes quantidades de fertilizantes são usados na lavouras, fazendo com que o que não é absorvido, seja transportado para os corpos d'água tornando a agricultura uma fonte difusa de poluição das águas (SHARPLEY *et al.*, 2001; SHIGAKI *et al.*, 2006). Essa contaminação ocorre, principalmente, por fertilizantes minerais e orgânicos que tem nitrogênio e fósforo em sua composição e são carregados superficialmente ou subsuperficial, (HATCH *et al.*, 2002; LEINWEBER *et al.*, 2002), e em contato com águas superficiais, estes comprometem a qualidade da água pelo processo de eutrofização. Além disso, os gastos com fertilizantes são altos para a produção agrícola, variando entre 20 % e 41 % dos custos (MATSON *et al.*, 1998; CASTRO *et*

al., 2006; CAVALETT e ORTEGA, 2009; SOUZA *et al.*, 2012), representando perdas econômicas significativas pelo fato de ser carregado pela água da chuva.

Para avaliar a qualidade do solo, é necessário escolher algumas de suas propriedades que são consideradas como atributos indicadores (DORAN e PARKIN, 1994). Os indicadores de qualidade do solo referem-se a atributos mensuráveis do solo que influenciam a capacidade do solo para realizar a produção de culturas ou funções ambientais. Para um indicador ser considerado eficiente, ele deve ser sensível às variações do manejo, bem correlacionado com as funções desempenhadas pelo solo, ser capaz de elucidar os processos do ecossistema e compreensível e útil para o agricultor e de fácil e barata mensuração (DORAN e ZEISS, 2000). A seleção de indicadores chave e seus valores-limite, que devem ser mantidos para o funcionamento normal do solo, são necessários para monitorar mudanças e determinar melhorias ou deterioração da qualidade do solo para vários ecossistemas. Para Islame Weil (2000), os indicadores podem ser distinguidos em três grupos: os efêmeros, cujas alterações ocorrem em curto espaço de tempo ou são modificados pelas práticas de cultivo, como umidade do solo, densidade, pH e disponibilidade de nutrientes; os permanentes, que são próprios ao solo, tais como profundidade, camadas restritivas, textura, mineralogia; e os indicadores intermediários, que demonstram uma crítica influência da capacidade do solo em desempenhar suas funções, tais como agregação, biomassa microbiana, quociente respiratório, carbono orgânico total e ativo. A escolha dos indicadores do solo pode variar de acordo com os objetivos.

Os atributos mais sensíveis são mais almejados como indicadores. Dentre esses atributos, os que são mais influenciados são: profundidade do solo, matéria orgânica, respiração, agregação, textura, densidade aparente, infiltração, disponibilidade de nutrientes e capacidade de retenção. Um número mínimo de indicadores precisa ser medido para avaliar mudanças na qualidade do solo resultantes de vários sistemas de manejo. Muitos indicadores do solo agem mutuamente com outros e, portanto, os valores de um são afetados por um ou mais desses parâmetros selecionados. As mudanças na qualidade do solo podem ser avaliadas medindo indicadores apropriados e comparando-os com os valores desejados (limites críticos), em diferentes intervalos de tempo, para um uso específico em um sistema selecionado. Esse sistema de monitoramento fornecerá informações

sobre a eficácia do sistema de cultivo selecionado, práticas de uso do solo, tecnologias e políticas. Os sistemas que melhoram o desempenho dos indicadores podem ser promovidos e avançados para garantir a sustentabilidade.

3.2.1. Densidade do Solo

A densidade do solo se relaciona com a estrutura e textura do solo e é um critério amplamente utilizado como indicador de qualidade física do solo. Contudo, este atributo varia muito de solo para solo (SÁ e SANTO, 2005; SILVA *et al.*, 2010), o que faz com que apenas o seu uso não seja adequado como indicador da qualidade física do solo (AGUIAR, 2008). Por isso, que é necessário usar juntamente com a densidade outros parâmetros (SÁ e SANTO, 2005), tais como compactação, infiltração da água, cobertura vegetal.

Os solos com naturezas minerais e granulométricas diferentes apresentam grande variação nos valores de densidade do solo, fazendo com que este atributo não seja usado como indicador universal de compactação, e, conseqüentemente, da qualidade física do solo (BARBOSA, 2012). De acordo com Lanzasova *et al.* (2007), a densidade é mais afetada nos primeiros 15-20 cm de profundidade onde normalmente se encontra a camada compactada pelo trânsito de máquinas.

As alterações provocadas pelo uso agrícola na distribuição de poros, nas propriedades mecânicas e em processos de transporte de água e gases no solo estão direta ou indiretamente relacionadas com a densidade do solo (DS) (GUBIANI *et al.* 2014).

Normalmente, a densidade do solo tende a aumentar com a profundidade, sendo influenciada por vários fatores, como teor reduzido de matéria orgânica, menor agregação, maior compactação, diminuição da porosidade do solo, dentre outros (ARAÚJO, 2004; COSTA, 2004). Oliveira *et al.* (2003) afirmam que o valor densidade do solo pode aumentar de acordo com as práticas de manejo em solos com altos teores de umidade e que a densidade do solo podem ser alterada até mesmo com o impacto da chuva altera a densidade.

De maneira geral, pode se afirmar que quanto mais elevada a densidade do solo, maior será sua compactação e menor sua porosidade total, dificultando o

crescimento do sistema radicular das plantas (COOPER e MAZZA, 2006). A determinação da densidade proporciona avaliar propriedades como porosidade, capacidade de saturação, drenagem, armazenamento de água entre outros. A densidade ainda interfere na germinação das sementes e na concentração de açúcares e proteínas nos frutos.

Como o solo é formado por diferentes estruturas morfológicas, quando diferentes solos ou camadas de solo são comparadas é possível encontrar diferentes valores de densidade. É difícil utilizar a densidade do solo para quantificar o grau de compactação devido à grande amplitude de variação da densidade do solo com a mineralogia, a textura e o teor de matéria orgânica (SILVA *et al.*, 2010).

Segundo Ferreira (2010), no Brasil, no horizonte diagnóstico subsuperficial Bw (da classe dos Latossolos) os valores de densidade variam de 0,90 a 1,55 gcm⁻³. Em relação a densidade do solo, Reinert *et al.* (2006) apresentam uma tabela em que valores nos quais o desenvolvimento das raízes é prejudicado os valores variam entre 1,2 e 1,5 gcm⁻³ para solos de textura muito argilosa, entre 1,4 e 1,7 gcm⁻³ para solos de textura média e argilosa, e entre 1,7 e 1,8 gcm⁻³ para solos de textura arenosa.

Em geral, os valores considerados críticos de DS, estão próximos a 1,40 gcm⁻³, dependendo da textura do solo (FERREIRA *et al.* 2010).

3.2.2. Umidade

O conteúdo de água no solo é utilizada em estudos de diferentes áreas como agricultura, hidrologia, construção civil, entre outros. Na agricultura, essa informação é utilizada principalmente para projetos de irrigação que tem como objetivo aumentar a produção e diminuir o desperdício de água. Variações na umidade do solo influenciam a disponibilidade de nutrientes, a atividade de microrganismos e a adoção de práticas culturais de manejo do solo, entre outros.

A água é essencial no sistema solo-planta pois funciona como solvente dos nutrientes e como meio de transporte no interior dos vegetais. Por causa disso, a estimativa correta da umidade do solo é de suma importância para as operações mecanizadas e para as avaliações das propriedades e qualidade do solo.

A umidade do solo pode ser explicada como a relação da quantidade de água contida num solo e sua massa de sólidos secos (KLEIN, 2008). No futuro, segundo Christofidis (2002), existirá um acréscimo do uso da água, seja pelo aumento da população, seja pela disponibilidade de terras agriculturáveis. A água do solo pode vir via chuvas ou irrigações, cujo uso nas plantas se dá via raízes, sendo que entre 30 a 70% da água vinda das chuvas entram no solo e são armazenadas nos horizontes superficiais enquanto parte escorre pela superfície (KIEHL, 1985). O manejo adequado da irrigação consiste em quando e quanto irrigar, fornecendo água na quantidade suficiente para atender a demanda hídrica da planta e no momento correto (MANTOVANI *et al.*, 2009).

Conhecer a umidade do solo, que pode ser expressa em base gravimétrica ou umidade em base de massa seca (U) ou em base volumétrica (θ), é de importante, pois a umidade influencia diretamente no volume de água armazenado no solo, assim como na sua resistência e compactação. Assim, a umidade do solo deve ser conhecida para estudos do movimento da água no solo, disponibilidade de água, erosão, época e quantidade de água a ser aplicada em irrigação (BERNARDO *et al.*, 2006).

A umidade do solo influencia na compactação sendo que à medida que a umidade aumenta, a compactação diminui, conferindo ao solo maior resistência as pressões externas. Solos argilosos, por apresentarem um maior espaço entre poros, e poros de menor diâmetro, possuem maior capacidade de retenção de água se comparado a solos arenosos.

Segundo Albuquerque e Duorães (2008) realizar a medição do teor de água no solo no campo é difícil por conta de fatores como crescimento desigual das plantas, desuniformidade na distribuição do sistema radicular, diferenças de infiltração, diferenças de solo em relação a textura, densidade, poros entre outros.

Vários métodos e técnicas podem ser utilizados para determinar o teor de água no solo, algumas tem custo mais elevados, ou demoram muito ou ainda que não precisas devido ao estado do solo no momento da medição (KLEIN, 2008). Para realizar o monitoramento da umidade do solo, existem maneiras e técnicas diferentes que podem ser utilizadas, podendo ser métodos diretos ou indiretos, cada um apresentando uma dada precisão, onde as diferenças resumem – se ao tempo de

resposta, custo operacionalidade no campo e recursos tecnológicos envolvidos (FONSECA *et al.*, 2009).

Os métodos de determinação da umidade dos solos são classificados em diretos, como por exemplo o gravimétrico, ou indiretos, como exemplo o tensiômetros. Os métodos diretos trabalham basicamente com a evaporação, pois a água de uma amostra do solo é retirada por esse método, enquanto que os métodos indiretos envolvem a medição de alguma propriedade física do solo que seja proporcional ao conteúdo de água (SILVA, 2013).

O método gravimétrico mais utilizado é o método da secagem em estufa, por isso é considerado método direto padrão. Nele, a extração de água de uma amostra é feita por meio de calor, a massa de água existente em uma determinada amostra de solo é obtida pela diferença entre o peso da amostra úmida e seca (SILVA, 2013). Este método é adotado como padrão pois é simples, prático e apresenta alta precisão sendo utilizado como referência para calibrar equipamentos e métodos (BUSKE *et al.*, 2013). Porém, como desvantagem, podemos citar ser um método destrutivo e demorado pois o tempo necessário para a obtenção do resultado, que é de aproximadamente 24 horas, impossibilitando a obtenção de resultados instantaneamente (SILVA, 2013). Entretanto, este método é um dos mais utilizados pois apresenta baixo custo de realização, não necessitando de equipamentos sofisticados e nem de adição de produtos químicos como outros métodos diretos (BUSKE *et al.*, 2013). Existem alternativas menos convencionais ao método padrão, são eles forno de micro-ondas, forno elétrico e pesagens.

3.2.3. Condutividade Hidráulica

A condutividade hidráulica (K) é definida como a medida da resistência da água ao movimento através de um meio poroso (POEHLS e SMITH, 2009). O significado de condutividade hidráulica do solo é a facilidade com que a água se movimenta neste solo, sendo de extrema importância ao uso agrícola, à produção das culturas e à preservação do solo e do ambiente. A condutividade hidráulica é essencial para conhecer a dinâmica da água no solo e é um dos principais parâmetros para determinar a capacidade de drenagem deste. De acordo com Mesquita e Moraes

(2004), a condutividade varia em função da profundidade, textura, estrutura e porosidade as quais podem integrar-se das mais variadas maneiras.

Entre os fatores que influenciam a condutividade hidráulica do solo não saturado, pode-se destacar conteúdo de água no solo (LIBARDI e MELO FILHO, 2006). Quando os poros estão ocupados por água, a condutividade é máxima, diminuindo à medida que solo perde umidade (POEHLS e SMITH, 2009).

De acordo com Horn *et al.* (2003), o uso de máquinas agrícolas pode reduzir os valores de condutividade hidráulica e aumentar a compactação, portanto, a condutividade é menor em solos densos e compactos.

A porosidade reflete sobre a condutividade hidráulica. Portanto a interação entre textura e estrutura dos solos que determina a condutividade hidráulica do solo (CARVALHO *et al.* 2004). Pode se dizer que, quanto menores forem as partículas do solo, menores serão as dimensões dos canais de fluxo, e, portanto, menor será a condutividade hidráulica (ALONSO, 2005). A condutividade hidráulica atua proporcionalmente no índice de vazios que o solo possui, quanto maior o índice, maior a facilidade de a água fluir através do terreno.

Millar (1974) efetuou testes de condutividade hidráulica em solos com característica arenoso, franco, arenoso, franco e franco argiloso. Seus resultados apresentaram uma variação nos coeficientes (K) que foram de 0,2 a 6,0 m dia⁻¹ ($2,31 \times 10^{-9}$ m s⁻¹ a $6,94 \times 10^{-5}$ m s⁻¹) com uma média de 1,7 m dia⁻¹ ($1,97 \times 10^{-5}$ m s⁻¹).

Para escala de valores da condutividade hidráulica em baixa, média e alta utilizou-se como referência estudos realizados por Terzaqui e Peck (1967) e Sousa e Celegoi (2011) conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1- Valores de referência para a condutividade hidráulica

Valores de referência	cm s⁻¹
Médio	10 ⁻¹ a 10 ⁻³
Baixo	10 ⁻³ a 10 ⁻⁵
Muito Baixo	10 ⁻⁵ a 10 ⁻⁷

Fonte: Terzaqui e Peck (1967) e Sousa e Celegoi (2011)

Comparando amostras de solo com o mesmo índice de vazios, observa-se que

a amostra em estado mais flocculado tende a apresentar maior permeabilidade do que a que se encontra em estado mais disperso (LAMBE e WHITMAN, 1969). Ao aumentar o grau de agregação de um solo a distribuição dos valores dessa condutividade hidráulica se torna cada vez menos variável. A estruturação dos solos tropicais faz com que esses sejam solos argilosos com comportamento diferenciado, em diversas situações apresentando comportamento de solos arenosos devido à alta porosidade natural (CORRÊA, 2004). Jarvis e Messing (1995) observaram valores elevados de K em solos de textura mais fina, com pouca areia, ao contrário das relações de K com textura relatadas na literatura, e atribuem tais resultados à continuidade de macroporos em campo em solos estruturados

Algumas medições podem resultar em resultados negativos, podendo ser explicado por vários fatores. Segundo REYNOLDS *et al.* (1985) alguns dos motivos podem ser:

- Erros de medição quando não atingido o “regime permanente”;
- Pequena variação espacial em escala das propriedades hidráulicas do solo;
- Erros nas medições, devido à presença de bolhas de ar;
- Ar preso no solo;
- Variação espacial devido à perturbação das características do solo, ocasionando condições de medição diferentes.

Vários fatores influenciam a condutividade hidráulica, fazendo com que seja difícil fazer generalizações sobre seu comportamento (BETIM, 2013). Segundo Mesquita e Moraes (2004), dados medidos são para locais específicos e devem ser interpretados como informação de um tipo particular de solo.

3.2.4. Infiltração

Para Schaetzl e Anderson (2005), o solo é o meio em que ocorre a infiltração e percolação de água e onde se desenvolve boa parte do ciclo hidrológico. Para os hidrólogos, o solo pode servir como um meio de purificação para a água ou como um volume de reserva para suprimento.

A quantidade de água que atinge o solo tem três possibilidades: infiltrar na superfície do solo; ficar retida na superfície (poças de água) quando a taxa de precipitação é superior à capacidade de infiltração do solo ou ser uma zona de

descarga de águas subterrâneas; ou ainda ocorrer escoamento superficial (OLIVEIRA, 2006). A infiltração da água no solo tem a função na manutenção do fluxo de base dos rios e recarga dos aquíferos proporcionando uma maior disponibilidade hídrica para desenvolvimento e manutenção da sua cobertura vegetal (MORAIS, 2012).

A taxa de infiltração e água no solo, anteriormente denominada velocidade de infiltração, equivale ao volume de água que infiltra na superfície do solo em um limitado tempo. Essa característica reflete a capacidade de um solo absorver água proveniente da chuva ou da irrigação (SANTOS *et al.*, 2016). Conclui-se, que a infiltração é o processo que separa o quanto da precipitação (chuva ou irrigação) corre pela superfície do solo e quanto corre abaixo da superfície (LIBARDI, 2012). É uma característica muito importante, pois a conhecendo, pode se planejar e determinar meios de conservar o solo e a água subterrânea. Conhecer a taxa de infiltração de água no solo é essencial, por ser um dos aspectos mais sensíveis para detectar alterações no sistema de cultivo e manejo do solo (VILARINHO *et al.*, 2013), além de ser de extrema importância para determinar a ocorrência de escoamento superficial, responsável pela erosão e inundações do solo, e ser essencial em projetos de irrigação e drenagem e recarga de águas subterrâneas (SOUZA, 2015).

Vários fatores influenciam o movimento da água no solo e são relatados por diferentes autores. De acordo com Andrade *et al.* (2008), Araújo Filho e Ribeiro (1996), Bertoni e Lombardi Neto (1985), Panachiki *et al.* (2011), Reichert *et al.* (1992), Sales *et al.* (1999) eles podem ser relacionados com:

- Condição da superfície: a compactação pela ação da chuva e/ou por máquinas e/ou animais reduzem a capacidade de infiltração solos; compactação
- Tipo de solo: a textura e a estrutura são propriedades que influenciam a infiltração.
- Manejo do solo: Tipo de manejo influencia a capacidade de infiltração, já que um manejo adequado pode ter maior infiltração.
- Umidade inicial do solo: A taxa de infiltração é alta, sobretudo no início, se o solo está muito seco, mas vai decrescendo com o tempo conforme o solo vai ficando saturado.
- Cobertura vegetal: O sistema radicular das plantas abre caminhos para o movimento da água no solo aumentando a TI. A presença de cobertura vegetal

reduz impacto das gotas de chuva que reduzem a velocidade do escoamento superficial e, portanto, aumenta o volume de água infiltrada.

O conhecimento da ação da água no solo está diretamente relacionado com a produção vegetal, tornando-se essencial para decisões sobre o uso e manejo dos solos (CALHEIROS *et al.*, 2009). Dentre os atributos físicos do solo a infiltração de água é um dos mais importantes na avaliação da qualidade do solo, pois atua em várias características como a estabilidade de agregados, selamento superficial, distribuição do tamanho e continuidade de poros, poros biológicos e a cobertura do solo (REICHERT *et al.*, 2009). Atividades agrícolas e pecuária que são praticadas influenciam de forma direta no processo de infiltração de água no solo e quanto mais próximo das condições naturais estiver o solo, maiores são as taxas de infiltração apresentadas (SILVA, 2012).

A taxa de infiltração é definida como a lâmina de água (volume de água por unidade de área) que atravessa a superfície do solo, por unidade de tempo. A taxa de infiltração pode ser expressa em termos de altura de lâmina d'água ou volume d'água por unidade de tempo (cmh^{-1}).

Chamada equação de Kostiakov, este tipo de equação descreve bem a infiltração para períodos curtos, comuns na precipitação de lâminas d'água médias e pequenas. A taxa de infiltração de água no solo ou velocidade de infiltração (VI) é representada pela equação a seguir, correspondendo à variação da infiltração acumulada ao longo do tempo:

$$TI = \frac{I}{T}, \text{ em que:}$$

TI = taxa de infiltração da água no solo, cmh^{-1} ; I = infiltração acumulada, cm; e T = tempo, h.

Segundo Pinheiro *et al.* (2009) a taxa de infiltração (TI) ou velocidade de infiltração, é a principal característica hídrica para a descrição da dinâmica da água no solo.

Durante o processo, a capacidade de infiltração tende a decrescer com o tempo até se tornar linear no momento em que o solo entra no estado de saturação, sendo denominado taxa de infiltração estável (TIE) ou velocidade de infiltração básica VIB. Segundo Pott (2001), cada solo apresenta uma característica em relação à infiltração, que “decresce com o tempo em função do umedecimento do perfil, assumindo um valor mínimo constante denominado de velocidade de infiltração básica (VIB)”.

Quando uma precipitação de menor intensidade que a capacidade de infiltração atinge o solo, a água penetra nesse solo, diminuindo a capacidade de infiltração. (MORAIS, 2012). Com uma precipitação de maior intensidade, a taxa de infiltração iguala-se a capacidade de infiltração e passa a diminuir com tempo tendendo a um valor constante.

O solo pode ser classificado de acordo com a velocidade de infiltração básica, conforme abaixo:

Tabela 2 - Classificação do solo a partir da Velocidade de Infiltração (VI).

Tipo de solo	VI (cm h⁻¹)
Solo VI muito alta	>3,0
Solo VI alta	1,5 -3,0
Solo VI média	0,5 -1,5
Solo VI baixa	< 0,5

Fonte: Vilarinho *et al.*, (2013).

3.2.5. Resistência a Penetração

A compactação do solo é atributo físico amplamente estudado. Diferentes autores citam seu impacto na produção e produtividade agrícola, nas propriedades físicas do solo e na distribuição e crescimento de raízes (FOLONI *et al.*, 2006; SCHAFFER *et al.*, 2007; TABOADA e ALVAREZ, 2008). Para a qualidade física, a resistência do solo à penetração é considerada por Silveira *et al.* (2010) e Santana *et al.* (2006) a propriedade mais adequada para expressar o grau de compactação do solo e, conseqüentemente, a facilidade de penetração das raízes. A resistência mecânica do solo à penetração tenta representar a força que as raízes das plantas devem exercer para romper o solo. No solo compactado, o sistema radicular prevalece acima das camadas adensadas, o que dificulta o desenvolvimento e a manutenção da cultura em períodos de estiagem prolongada. A compactação é definida, conforme Camargo (1983), como uma redução dos índices de vazios do solo proveniente da ação mecânica imposta, sendo que tal modificação é devida principalmente à reorganização das partículas do solo, quando submetido a uma força de compressão.

Assim, a compactação subsuperficial dos solos é uma forma de degradação das características físicas e sua ocorrência resulta no aumento da resistência à penetração do solo afetando a produtividade das culturas agrícolas (FAGUNDES *et al.*, 2014). Solos sob acentuada compactação sofre modificações no sistema radicular das culturas (VALADÃO *et al.*, 2015), no armazenamento, transporte e disponibilidade de água às plantas, limita a atividade biológica e favorece os processos de erosão hídrica do solo (RALISCH *et al.*, 2001; PETH e HORN, 2006), poluição e assoreamento dos mananciais de água (BEUTLER *et al.*, 2004). A sondagem do solo para a determinação do estado de compactação é um procedimento imprescindível na análise de sua qualidade física, pois a partir deste indicador mecânico avalia-se a necessidade ou não da subsolagem (LIMA *et al.*, 2013).

A resistência dos solos à penetração também é correlacionada com os valores de densidade dos solos, aumentando-a, confirmando desta forma a sua importância na determinação de um índice de qualidade do solo (MORRIS, 2007).

Segundo OLIVEIRA *et al.* (2014), determinadas práticas de manejo do solo tem como resultado a degradação dos sistemas agrícolas a médio e longo prazo. Solos sob a vegetação nativa, normalmente, apresentam características físicas desejáveis mais desejáveis do que em áreas agricultáveis. Segundo Centurion *et al.*, (2001), essa retirada de vegetação nativa para introdução dos sistemas agrícolas provoca um desequilíbrio entre meio e o solo, que acaba limitando a produção. Essa prática provoca mudança nas propriedades físicas e morfológicas do solo, tendo como resultado, uma variação da resistência mecânica do solo a penetração nos ambientes manejados, modificando a estrutura do solo, que refletem em alterações no arranjo das partículas do solo (SILVA e CABEDA, 2006) reduzindo a porosidade e aumentam a densidade.

Os principais fatores externos que interferem na compactação do solo são a carga aplicada ao solo através da utilização de maquinários (CAVALIERI *et al.*, 2009), pisoteio animal e revolvimento do solo por equipamentos de preparo do solo como grades, arados e escarificadores (COSTA *et al.*, 2009). Entre os fatores internos, o teor de água (LIMA *et al.*, 2007) e principalmente a fração argila no solo (TAVARES FILHO e RIBON, 2008) são os que mais interferem na intensidade da compactação no solo.

Para identificar uma camada compactada deve ser feita uma avaliação dos atributos físicos como a resistência mecânica a penetração das raízes, para mostrar seu grau de compactação com o auxílio de penetrômetro, estes atualmente bastante utilizados no campo, por terem um baixo custo, com medições são fáceis de fazer e cujo interpretação de resultado não requer muito tempo.

O monitoramento da resistência a penetração e a determinação de água num solo são ferramentas indispensáveis no planejamento das práticas agrícolas a serem seguidas, pois estes atributos, quando avaliados continuamente, monitoram a eficiência do sistema de manejo adotado (TORRES *et al.*, 2011). No entanto, o maior ou menor incremento da compactação depende do estado inicial de compactação, da textura e da umidade que se encontra o solo no momento das atividades agrícolas (SECCO *et al.*, 2009).

Os níveis críticos de resistência para o crescimento radicular das plantas variam com o tipo de solo e com a espécie cultivada. De acordo com Camargo e Alleoni (1997), o crescimento de raízes não é influenciado quando a resistência mecânica à penetração está abaixo de 1,1 MPa. Apesar de a resistência à penetração ser afetada pela textura, densidade do solo e conteúdo de água, Canarache (1990) sugere que valores acima de 2,5 MPa começam a restringir o pleno crescimento das raízes das plantas (Tabela 3). O valor de 2 MPa tem sido utilizado como limite crítico de RP (BEUTLER *et al.*, 2004; SERAFIM, 2007).

Tabela 3 - Limites de classes de resistência de solos à penetração e graus de limitação ao crescimento das raízes

Classes	Limites MPa	Limitações ao crescimento das raízes
Muito baixa	<1,1	Sem limitação
Baixa	1,5 a 2,5	Pouca Limitação
Média	2,6 a 5,0	Alguma Limitação
Alta	5,1 a 10,0	Sérias limitações
Muito alta	10,1 a 15	Raízes praticamente não crescem
Extremamente alta	> 15,0	Raízes não crescem

Fonte: (adaptada de Canarache, 1990).

A compactação pode ser remediada através de técnicas como aração profunda ou subsolagem, porém deve ter um conhecimento prévio da área para evitar gastos desnecessários e a degradação física dos solos (DOMSCH *et al.*, 2006). Por outro lado, o controle de tráfego nas áreas ajuda a minimizar os efeitos negativos da mecanização agrícola, reduzindo gastos e aumento lucro das culturas (ROQUE *et al.*, 2010). Porém, é importante destacar que, embora a aração profunda ou subsolagem favoreça o desenvolvimento das raízes, o efeito não é duradouro, com o tempo o solo poderá apresentar densidade e resistência a penetração com valores superiores ao do estado inicial, devido a maior susceptibilidade do solo a recompactação (SHAFFER-LANDERFELD *et al.*, 2004).

3.2.6. Cobertura Vegetal

A cobertura vegetal altera as propriedades físicas e químicas dos solos (HASSLER *et al.*, 2011) e pode alterar alguns atributos físicos do solo.

Os resíduos culturais deixados por plantas de cobertura no solo, promovem a recuperação, manutenção e/ou melhoria das propriedades químicas (CASALI *et al.*, 2016), físicas (MORAES *et al.*, 2016) e principalmente as biológicas.

De acordo com Parron (2015), a presença de vegetação sobre o solo influencia na taxa de infiltração de água diminuindo o escoamento superficial evitando que os sedimentos sejam transportados nas águas. Além disso, diminuem as perdas de solo, a infestação de plantas daninhas, conserva a umidade do solo, (ENTZ *et al.*, 2002; BRAGAGNOLO e MIELNICZUK, 1990), com a decomposição da matéria orgânica, há um aumento da produção de biomassa (SCOPEL *et al.*, 2013) e da ciclagem de nutrientes, caracterizando-se como tecnologias importantes para compor agroecossistemas sustentáveis.

A cobertura vegetal pode influenciar em alguns atributos do solo. A cobertura influencia na taxa de infiltração e na condutividade hidráulica pela redução da compactação superficial (McINTYRE, 1958). De acordo com Parron (2015), a “presença de vegetação mais densa e detritos orgânicos (e.g., a serapilheira) sobre o

solo, além de auxiliar na infiltração de água, promove a retenção e deposição de sedimentos transportados nas águas que escoam em superfície”

O cultivo de forrageiras para cobertura do solo traz alguns benefícios para o solo como por exemplo, pode diminuir as perdas de água e infestação e plantas daninhas, conserva a umidade do solo, promove a reciclagem de nutrientes, que ajuda na germinação e desenvolvimento das culturas implantadas em sucessão (ENTZ *et al.*, 2002; BRAGAGNOLO e MIELNICZUK, 1990).

Dentre as funções da palhada, pode-se citar a redução das perdas de solo e água pela erosão, a diminuição do impacto da chuva no solo evitando a desagregação das partículas, o aumento da infiltração da água no solo, a proteção do solo contra a compactação, a diminuição das perdas de água por evaporação, menor amplitude térmica no solo proporcionando maior umidade nas camadas superficiais do solo e disponibilidade hídrica para as plantas, e reciclagem de nutrientes. (BERTOL *et al.*, 2007). Além disso, o aumento da matéria orgânica no solo ajuda no controle de plantas invasoras. Albuquerque *et al.* (2002) verificaram que parcelas com cobertura morta reduziram as perdas de solo e água em 99 e 74 %, respectivamente, em relação às parcelas sem cobertura do solo.

Ao se tratar da cobertura do solo, espera-se que esta ofereça proteção por maior período possível, decompondo-se lentamente e que deixe a maior quantidade de nutrientes no solo e ainda, que não seja hospedeiro de nenhuma patologia para a cultura em desenvolvimento e que mantenha a resíduos remanescentes. Dessa forma, é desenvolvido um ambiente benéfico ao crescimento das plantas, contribuindo para a estabilização da produção agrícola, sustentabilidade do solo e uma menor dependência de insumos externos aos agroecossistemas (TIECHER, 2016).

3.2.7. Matéria Orgânica

A importância da matéria orgânica em relação aos atributos químicos, físicos e biológicos do solo é amplamente reconhecida. A sua influência sobre as características do solo e a sensibilidade às práticas de manejo determinam que a matéria orgânica seja considerada um dos principais atributos do solo na avaliação da sua qualidade (BARBOSA, 2012). Entre as causas da degradação química do solo, que resulta na queda de sua fertilidade, Bonini *et al.* (2015) destacam a redução dos teores e da qualidade da matéria orgânica.

O solo para ser considerado ideal deveria ser constituído por volta de 45% por minerais, 25% de poros ocupados pelo ar, 25% pela água, 5% pela matéria orgânica e microrganismos, sendo que estas proporções podem variar bastante de solo para solo, só que normalmente os teores de matéria orgânica em solos tropicais ultrapassam 2% (GUERRINI e BULL, 1992). Segundo Schnitzer (1982), o conteúdo de matéria orgânica do solo pode variar, desde valores perto a 0, em solos desérticos, a até perto de 100% em solos orgânicos. Atualmente, com a necessidade de aumento de produtividade agrícola aliada à qualidade ambiental, o papel da matéria orgânica no solo é importante, pois o manejo eficiente da matéria orgânica é um método realista para melhorar a qualidade de um solo. (USDA-NRCS, 2011).

A matéria orgânica do solo exerce um papel importante do ponto de vista químico, físico e biológico. De acordo com Stevenson (1994), a matéria orgânica do solo engloba a quantidade total de material orgânico presente no solo, incluindo a serapilheira, biomassa microbiana, orgânicos solúveis em água e material orgânico estabilizado (húmus). Na formação da matéria orgânica, ocorrem decomposição de compostos e adições de novos materiais, o que demonstra como essa característica dinâmica. De acordo com Abbruzzini (2011) a matéria orgânica do solo é um sistema complexo, que é direcionado pela adição de resíduos orgânicos de diversas naturezas e que passam por uma transformação frequente sob a ação de fatores químicos, físicos e biológicos.

Esses materiais estão continuamente submetidos ao ataque de microrganismos, que, transformam o carbono o elemento de maior destaque no estudo da matéria orgânica (SILVA e RESCK, 1997). Esse abastecimento frequente de matéria orgânico pelos restos de culturas, resulta em subprodutos que atuam como agente de formação e estabilização dos agregados (GOMES *et al.*, 2015). A partir da agregação, são afetadas algumas características físicas do solo como densidade, porosidade, aeração, capacidade de retenção e infiltração de água (BAYER e MIELNICZUK, 1999).

Assim, a utilização de sistemas de cultivo que promovam incremento de MO do solo contribuem para o aumento da estabilidade de agregados e para a melhoria da qualidade física do solo (MATOS *et al.*, 2008).

3.3. Sistemas Agroflorestais

Um dos maiores desafios enfrentados pelo homem é o de promover o desenvolvimento sem agredir a natureza, o conhecido desenvolvimento sustentável. Sua proposta vem sendo impulsionado por ser um modelo que concilia as partes econômica, social e ambiental, respeitando os limites da natureza (BELLEN, 2006). A restauração de ecossistemas degradados vem crescendo diante do atual cenário de crise ambiental e diminuição da qualidade de vida (AMADOR, 2009).

A agricultura convencional modifica a estrutura do solo de maneira negativa, resultando na degradação da estrutura dos agregados tornando-os instáveis à água, na destruição dos macroporos compactando o solo, dificultando a infiltração da água, privando as raízes de oxigênio e de crescimento (PRIMAVESI, 1990).

Os Sistemas Agroflorestais (SAFs) são em uma alternativa de uso da terra para a estabilidade do ecossistema tendo como objetivo à eficiência e otimização de recursos naturais na produção de forma integrada e sustentada. Os sistemas agroflorestais são modelos de exploração de solos que mais se aproximam ecologicamente da floresta natural e, por essa razão, são considerados como importante alternativa de uso sustentado do ecossistema (ALMEIDA *et al.*, 2002; NAIR, 1993). Nos SAFs as plantas lenhosas perenes são manejadas em associação com vários tipos de plantas - herbáceas, arbustivas, arbóreas, culturas agrícolas, forrageiras e/ou em integração com animais -, em uma mesma unidade de manejo, conjuntamente ou alternados ao mesmo tempo e espaço, com alta diversidade de espécies e interações entre estes componentes (SÃO PAULO, 2008; BRASIL, 2012)

Para que um determinado sistema possa ser chamado de agroflorestal é indispensável que ao menos uma espécie seja tipicamente florestal, entre as a espécies que compõem o sistema, independentemente do porte, da permanência (temporária ou permanente) e de a mesma ser ativa ou aclimatada (MAY e TROVATTO, 2008).

De acordo com a Embrapa (2006), os sistemas agroflorestais apresentam subdivisões (a) Sistemas agrossilviculturais – quando combinam árvores com cultivos agrícolas anuais; (b) Sistemas agrossilvipastoris – nos casos onde há a combinação de árvores com cultivos agrícolas e animais; e (c) Sistemas silvipastoris – combinam árvores e pastagem (animais).

Há SAFs que consistem basicamente de associações simples, cujo modelo é o mesmo da monocultura, sendo utilizada a combinação de certas espécies para melhor aproveitamento dos fatores de produção, os insumos e a mão de obra; enquanto outros SAFs, mais complexos, buscam os princípios na própria floresta, em seus princípios ecológicos (PENEIREIRO, 2003). Conseqüentemente, estes sistemas podem ser classificados em níveis de sustentabilidade e de potencial de conservação (BHAGWAT et al., 2008; PENEIREIRO, 2003; SCALES e MARSDEN, 2008).

Por apresentar uma grande variabilidade, a formulação de projetos e implantação de SAFs deve ser cuidadosa, elaborada a partir de observações locais e das necessidades das partes interessadas. Dois métodos bastante utilizados nesta etapa são o diagnóstico e desenho descrito em Raintree (1986), e o diagnóstico rural participativo utilizado em associação com extensionistas rurais (VIVAN, 2000; FARIA, 2013). Esses métodos ajudam na identificação de demandas de pesquisadores, produtores e/ou investidores, tal como ajudam no planejamento do desenho do sistema que melhor se adequa aos objetivos propostos (CARDOSO *et al.*, 2001).

Como importância ambiental dos sistemas agroflorestais pode citar como exemplo a proteção contra erosão e degradação dos solos, conservação dos remanescentes florestais, conservação das espécies arbóreas de valor ecológico (proteção e alimentação à fauna, espécies endêmicas e espécies em extinção), é uma maneira sustentável aos sistemas convencionais de exploração dos recursos naturais, conservação de nascentes e cursos d'água, substituição das matas ciliares mantendo o papel de proteção e, atuação de corredores ecológicos interligando fragmentos florestais (MÜLLER *et al.*, 2002 e 2003), passíveis de serviços ecossistêmicos como por exemplo, sequestro de carbono, melhora qualidade do ar, água e do solo. E existem ainda os benefícios socioeconômicos (NAIR, 2007; SANTOS, 2010; VIVIAN, 2010; YAMADA; GHOLZ, 2002) que ocorrem basicamente da alternância e diversificação da produção, do aproveitamento dos recursos próprios do sistema e do maior envolvimento dos agricultores com o sistema de produção (MACEDO., 2000; MAY e TROVATO, 2008). A área com sistema agroflorestal pode ser usada permanentemente, o que pode aumentar de fixação do homem no campo (EMBRAPA, 2008).

O uso de práticas agroflorestais, com o objetivo de diminuir a erosão, manter e aumentar a fertilidade do solo é detalhadamente discutido em YOUNG (1990). Os

SAFS levam em consideração os processos ecológicos que ocorrem no solo, como a decomposição e matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, sucessão ecológica, a regulação de populações e das relações complexas interdependentes na promoção das condições de solo que permitem a produção agrícola sustentável (ARMANDO *et al.*, 2002; GLIESSMAN, 2009).

Diante de tantos benefícios, tem se buscado mostrar a contribuição dos SAFs na conservação do solo, através de indicadores da qualidade do solo (BROWN *et al.*, 2006).

3.4. Preparo do solo com implementos agrícolas

A atividade agropecuária tem crescido, e conseqüentemente, quando não são manejadas corretamente, pode ocorrer a diminuição do potencial produtivo das através da degradação do solo que compromete sua fertilidade (CUNHA, 2018).

Novas tecnologias têm surgido visando aumentar a produtividade e a redução dos custos de produção, entretanto, essas tecnologias muitas vezes estão associadas ao tráfego intenso de máquinas e tratores, alternando a estrutura do solo, tornando-o adensado ou compactado, que pode facilmente ser constatada por meio do aumento da densidade do solo, resistência do solo à penetração (ASSIS *et al.*, 2009). Os sistemas de preparo e manejo do solo determinam as condições físicas para o crescimento das plantas e produtividade das culturas (TORMENA *et al.*, 2002).

Cada implemento agrícola age de forma única na alteração das propriedades físicas do solo (MONTEIRO *et al.*, 2017). Os sistemas de preparo do solo promovem alterações nas propriedades físicas como a agregação do solo (CASTRO FILHO *et al.*, 1998), a densidade e a porosidade do solo (DE MARIA *et al.*, 1999).

Carvalho Filho *et al.* (2007) descrevem que para no sistema convencional de preparo do solo, primeiramente é feita a aração, que é o preparo convencional primário do solo, e em logo após, realiza-se o preparo convencional secundário com uma ou duas gradagens para destorroamento e nivelamento. Nos dias atuais, o sistema adotado é o convencional de cultivo (REICHERT *et al.*, 2009), que utiliza dois ou mais implementos agrícolas, e tende a aumentar a resistência à penetração nas camadas abaixo da profundidade de corte, prejudicando a infiltração de água no solo e favorecendo o escoamento superficial (LOUZADA *et al.*, 2007).

O arado escarificador prepara o solo numa profundidade de 20 a 30 cm e mantém grande parte dos resíduos vegetais na superfície, o que auxilia o solo a se proteger da erosão. Além disso, o escarificador permite o preparo do solo seco, maior rendimento operacional e economias de combustível e de tempo de operação, quando comparado com o arado de disco. Seu objetivo fundamental é a manutenção da estrutura do solo e a redução dos custos da operação.

Arado de disco surgiu como alternativa ao arado de aiveca e usa a grade de disco. É o implemento de preparo de solo mais usado no Brasil, devido a sua facilidade de confecção e melhor adaptação às variadas condições de solos. É utilizado em solos secos, duros, pegajosos, com raízes e pedras. O movimento giratório dos discos corta o solo e a vegetação penetrando no solo e incorporando os restos culturais (Silva, 2009).

A intensificação da mecanização é utilizado com intuito de melhorar as condições de implantação e desenvolvimento de plantas. Todavia ocasionalmente a produtividade é comprometida devido a práticas inadequadas nas quais o solo é submetido, desde seu preparo até a colheita da cultura que nele se estabeleceu. Apesar de o objetivo do manejo do solo seja alterar algumas de suas propriedades físicas, melhorando e ajudando no desenvolvimentos das plantas, quase sempre tem proporcionado degradação em função de manejos inadequados (VITÓRIA *et al.*, 2014).

O sistema de manejo do solo com grade aradora tem sido utilizado frequentemente. Na maioria das vezes a grade trabalha o solo a pouca profundidade e apresenta alto rendimento de campo, porém o uso constante desse implemento pode levar à formação de camadas compactadas, chamadas “pé-de-grade” (CORTEZ *et al.*, 2011).

4. MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi desenvolvida no sítio São João, localizado no município de Salto de Pirapora, sudeste do estado de São Paulo. Salto de Pirapora possui 280,509km² e 43.990 habitantes (IBGE, 2016). O relevo do município é classificado como ondulado, com altitude média de 630 metros em relação ao nível do mar e, de acordo com a classificação de Koppen, possui clima Cwa, caracterizado como temperado úmido com Inverno seco e Verão quente, com temperaturas anuais entre 10 e 29,6°C e precipitação pluvial média de 1260,9 mm por ano sendo que nos meses de abril a setembro, concentram-se os menores índices (DUBREUIL *et al.*, 2017). A vegetação é Floresta Ombrófila Densa, Floresta Estacional Semidecidual, Cerrado (Savana) (IBGE, 1992). O solo da área experimental foi descrito pela Embrapa (2018), como Latossolos vermelho (LV) distrófico A moderado textura argilosa relevo suave ondulada e ondulado (OLIVEIRA *et al.*, 1999). De acordo com Siqueira *et al.*, baseado nas médias da análise de teor de matéria orgânica encontradas, o solo das áreas estudadas apresentam baixa concentração de matéria orgânica ($\leq 2,5\%$).

O monitoramento dos atributos físicos-hídricos do solo foi realizado em três sistemas de manejo diferentes, sendo eles: Sistema Agroflorestal, Plantio de Lichia (*Litchi chinensis*) e área em transição para plantação de bananas (PAS) (Figura 1 e 2).

As áreas de SAF e PAS eram utilizado para criação de gado com uso do capim Braquiária (*Brachiaria decumbens*) para cobrir o solo e servir de alimento aos animais por mais de vinte anos.

Em setembro de 2014, a área do SAF foi gradeada e, com o objetivo de melhorar o solo que se encontrava degradado e compactado, foi realizado o plantio de um coquetel de adubo verde de verão, porém o SAF não foi implantado naquele ano. O plantio do mesmo só foi feito em 2016, em uma área aproximada de 9.243m², onde foram realizadas gradeação, implantadas curvas de níveis, marcação das covas, abertura dos “berços”, adubação com Minho Fértil, Yoorin (Termofosfato) e Ekosil (Potássio) e a adição de microrganismos ao sistema com uso de biofertilizante, feito com melado e folhagem de locais próximos.

A área do SAF foi dividida em 2 subáreas, sendo uma próxima a APP onde foi plantada apenas espécies florestais nativas e a outra, com fins produtivos, espécies arbóreas nativas e exóticas, além de citrus e banana.

A subárea produtiva foi desenhada utilizando-se uma linha de árvores com exemplares de Mogno africano (*Khaya ivorensis*), Louro Pardo (*Cordia trichotoma*) e Jequitibá (*Cariniana legalis*), com espaçamento de 8x5m, e entre as árvores Bananas. Entre as linhas de árvores, foram implantadas duas linhas que possuem banana e citrus, com o intuito de gerar frutos certificados e ocupar os espaços entre as mudas de espécies florestais. Junto ao plantio das espécies florestais foi realizada a semeadura de herbáceas para a realização do adubo verde, com espécies que são implantadas no verão, Crotalaria (*Crotalaria juncea*), Milheto (*Pennisetum americanum*), Milho (*Zea mays*), Girassol (*Helianthus annuus*), Feijão de Porco (*Canavalia ensiformis*) e Feijão Guandu (*Cajanus cajan*) enquanto outras são inseridas no inverno: Aveia Preta (*Avena strigosa*), Nabo Forrageiro (*Raphanus sativus*) e ervilha (*Pisum sativum*). O controle de Braquiária e tiririca (*Cyperus rotundus*) foi feito com a utilização de enxada e o controle das formigas com o uso de formicidas tradicionais e, após a certificação orgânica da área do sítio, esse controle passou a ser feito com formicidas orgânicos. Foi feita uma poda de formação no Louro Pardo e a roçagem do adubo verde, onde seus restos vegetais foram deixados sob a superfície do solo. Em meados de 2017 foi feita uma adubação com esterco de gado e em setembro do mesmo ano foi aplicado 20 gramas de sulfato de zinco por planta. Em fevereiro de 2018 foi feita nova aplicação de esterco de gado. As mudas são roçadas e capinadas manualmente nas linhas, e as entrelinhas são roçadas, gradeadas e semeadas com adubo verde da estação.

Na área LIC, as lichias foram plantadas a vinte anos numa área de aproximadamente 4.091m². Na época, foi utilizado esterco de gado e NPK (4-14-8) e a partir de 2008 o manejo é orgânico, com uso de esterco de gado, yoorin e ekosil. O mato é roçado de duas a três vezes ao ano e todos os restos vegetais, oriundos do manejo de braquiária que estão entre linhas, têm sido deixados sobre a superfície do solo, sofrendo o processo normal de decomposição. Foi feita uma poda de rebaixamento de copa há aproximadamente cinco anos e anualmente é realizada a poda de limpeza no mês de fevereiro.

No PAS que fica ao lado do SAF e tem aproximadamente 3.787m², foi deixada como pasto na intenção de colocar animais para o lazer. O manejo era apenas calagem e escarificação de duas a três vezes ao ano. Em janeiro de 2018, a pastagem foi destruída com grade aradora e foi substituído por um plantio de 550 mudas de

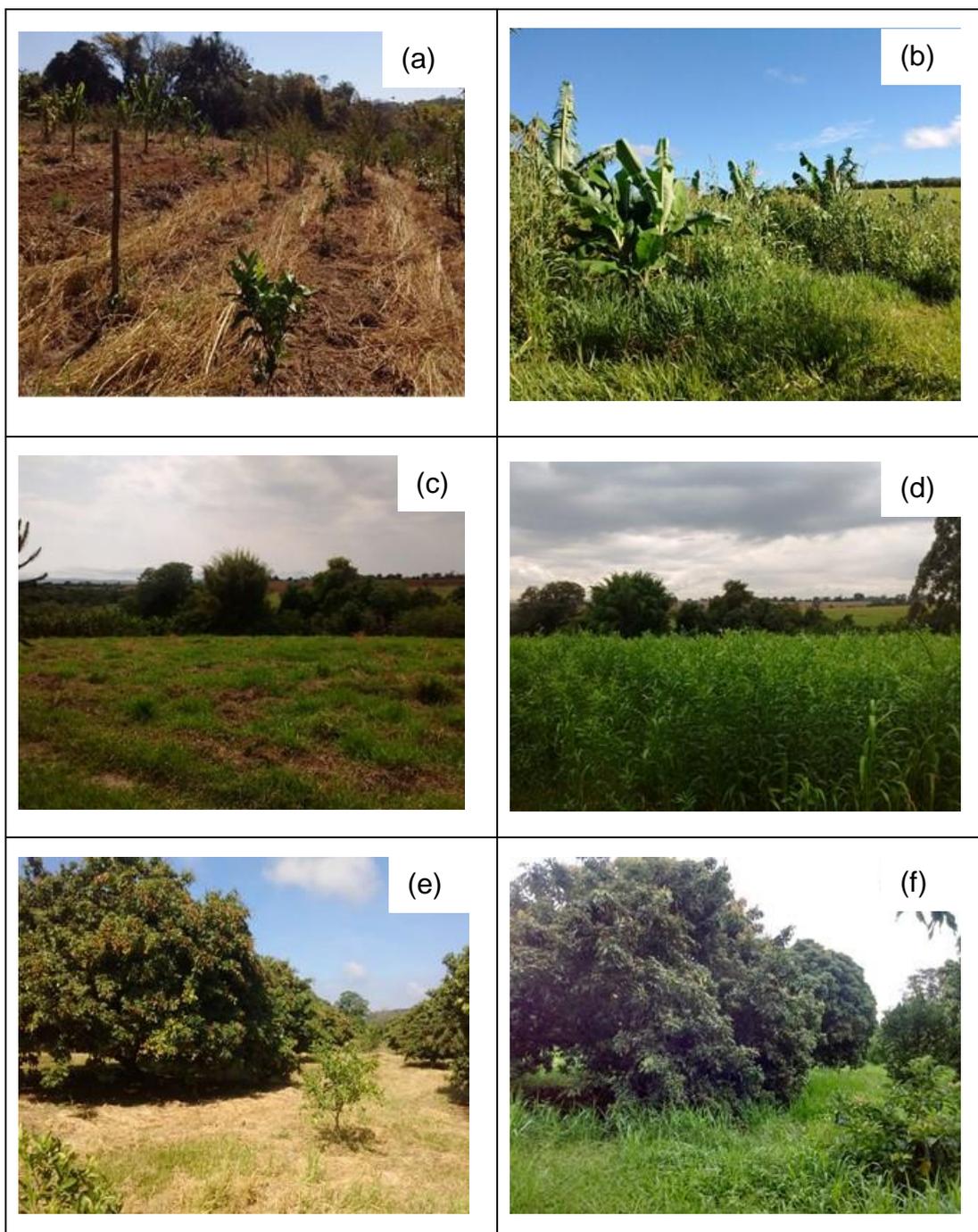
bananas (300 de nanica grande naine 250 de prata anã) intercalado com 50 mudas de mogno africano e 20 mudas de louro pardo com adubos de verão nas entrelinhas. As covas foram adubadas com 10 litros de esterco de gado, 400 gramas de yoorin e 600 gramas de ekosil. Atualmente o manejo é o mesmo do SAF, as linhas são roçada e capinadas manualmente e as entrelinhas são roçadas, gradeadas e semeadas com adubos de verão e inverno.

Figura 1. Localização dos tratamentos: Lichia (LIC), Sistema Agroflorestal (SAF) e Pasto (PAS) no Sítio São João, Salto de Pirapora, SP. 2017.



Fonte: Google Earth

Figura 2. Sistema Agroflorestal (SAF) em outubro de 2017 (a) e fevereiro de 2018 (b); Área de pasto em transição para plantação de bananas (PAS) em outubro de 2017 (c) e março de 2018 (d); Plantio de Lichia em dezembro de 2017 (e) e março de 2018 (f). Sítio São João, Salto de Pirapora, SP.



A classificação granulométrica das áreas estudadas apresenta textura média com teores médios de argila de 30% e areia de 59% e 11% silte.

Para o acompanhamento da chuva ao longo do período de avaliação, foi instalado 1 pluviômetro, distante à aproximadamente 100 metros das parcelas monitoradas, onde procedeu-se a leitura diariamente, às 7 horas da manhã.

4.2. Atributos Físicos- Hídricos do solo

A densidade (DS), umidade (US), condutividade hidráulica (k), infiltração (I) e resistência mecânica do solo à penetração (RMSP), foram monitorados por 12 meses, com início em outubro de 2017 e término em setembro de 2018.

4.2.1 Densidade (DS) e umidade do solo (US)

Foram coletadas amostras aleatórias na camada superficial de 0 a 10 cm, sendo realizadas três repetições por manejo. Para a coleta das amostras, foi removida a cobertura vegetal da camada superficial e, antes do acondicionamento das amostras, o excesso de raízes contido no solo coletado foi removido manualmente.

A densidade do solo foi obtida por meio da massa seca (em estufa a 105 °C por 24 horas) das amostras de solo indeformadas coletadas com auxílio do anel volumétrico dividida por seu volume (EMBRAPA, 1997). Em seguida, foram determinadas as densidades do solo conforme a equação:

$$Ds = \frac{Ms}{Vc}, \text{ em que}$$

Ds = densidade do solo (g cm³); Ms = massa de solo seco (g); Vc = volume do anel (cm³).

A umidade do solo foi obtida determinando -se a massa diretamente do campo de cada amostra e estas foram então levadas à estufa, à uma temperatura média de 105 °C, no qual permaneceram até apresentarem massa constante (aproximadamente 24h).

$$US = \frac{Ma}{Ms}, \text{ em que:}$$

US = umidade gravimétrica (%); Ma = massa de água (g); Ms = massa de solo seco (g).

4.2.2. Condutividade hidráulica (k) e Infiltração de água no solo (VI)

A condutividade hidráulica e a infiltração de água no solo foi obtida pelo infiltrômetro Mini Disk da Decagon Devices Inc. (Figura 3a), com 32,7 cm de comprimento total, diâmetro do tubo de 3,1 cm, disco de aço inox com 4,5 cm de diâmetro e 3 mm de espessura, faixa de sucção uma sucção ajustável variando de 0,5 a 7 cm. Isso nos permite obter informações adicionais sobre o solo, eliminando macroporos com um valor de entrada de ar menor que a sucção do infiltrômetro e capacidade para 135 mL de água.

Para o monitoramento da infiltração de água no solo e a condutividade hidráulica, tomou-se medidas de infiltração a cada 30s até estabilizar a infiltração, ou seja, o valor ser o mesmo num prazo de 1min 30s. Foram coletadas amostras aleatórias sendo realizadas três três ensaios por tratamento com a finalidade de promover valores médios de condutividade. Os dados de infiltração e tempo foram anotados em planilha de campo. Os dados da condutividade hidráulica foram gerados automaticamente pela planilha Excel disponibilizado pelo fabricante

A taxa de infiltração de água no solo ou velocidade de infiltração (VI) é representada pela equação a seguir, correspondendo à variação da infiltração acumulada ao longo do tempo:

$$TI = \frac{I}{T}, \text{ em que:}$$

TI = taxa de infiltração de água no solo (cm h⁻¹); I = infiltração acumulada (cm); T = tempo (h)

4.2.3. Resistência mecânica do solo à penetração (RMSP)

A resistência mecânica do solo à penetração foi mensurada utilizando-se penetrógrafo eletrônico modelo PLG 1020, Falker, com ponteira de 12,5 mm de diâmetro, efetuando se leitura a cada centímetros até profundidade de 30 cm sendo considerado o valor médio dentro de cada faixa (Figura 3b e 3c). Os dados foram coletados aleatoriamente, sendo realizadas três repetições por manejo. O penetrógrafo com registro eletrônico dos dados, PLG 1020 penetroLOG® (Falker Automação, Porto Alegre, RS), é operado manualmente e depende da força do

operador para a penetração da haste; trata-se de um equipamento que possui um sensor tipo sonar o qual indica a profundidade e compõe o cálculo da velocidade de penetração e, por outro lado, também avisa ao usuário se a velocidade está fora do padrão, anulando a medição. O equipamento mencionado, penetrômetro possui uma CPU que armazena os dados coletados e possui interface direta para computadores, além de um visor que possibilita ao usuário fazer configurações e visualizar as medições feitas. Para o processamento dos dados de resistência à penetração, foi utilizado o Software PenetroLOG.

4.3. Atributos biológicos do solo

O monitoramento da cobertura do solo foi realizado por 12 meses, com início em setembro de 2017 e término em agosto de 2018. Quanto à a matéria orgânica, esta foi feita quadrimensalmente, conforme segue:

4.3.1. Cobertura do Solo (CoV – cobertura vegetal viva e CoM – cobertura vegetal morta)

Para estimar a porcentagem de cobertura do solo de cada tratamento, fez se o uso de um quadro reticulado de 0,50m x 0,50m subdividido em 4 quadrantes de 0,25m x 0,25m, lançado aleatoriamente (Figura 3d), três vezes dentro de cada parcela, aleatoriamente, de forma a ter uma média em porcentagem de cobertura de cada indicador (viva ou morta) dentro das área de estudo (0%, 25%, 50%, 75%, 100%) (RODRIGUES *et al.*, 2009). Após foi feita uma média entre coberturas vivas e morta do solo.

4.3.2. Matéria orgânica

O teor de matéria orgânica foi obtido pelo método da mufla estabelecido por GOLDIN (1987): secagem prévia das amostras em estufa a 105 °C, por um período de 48h, visando eliminar toda a água presente nos resíduos (RODELLA; ALCARDE, 1994). Após esse período, os cadinhos de cerâmica com as amostras foram acondicionados em forno do tipo mufla e incinerados em uma temperatura de 550 °C,

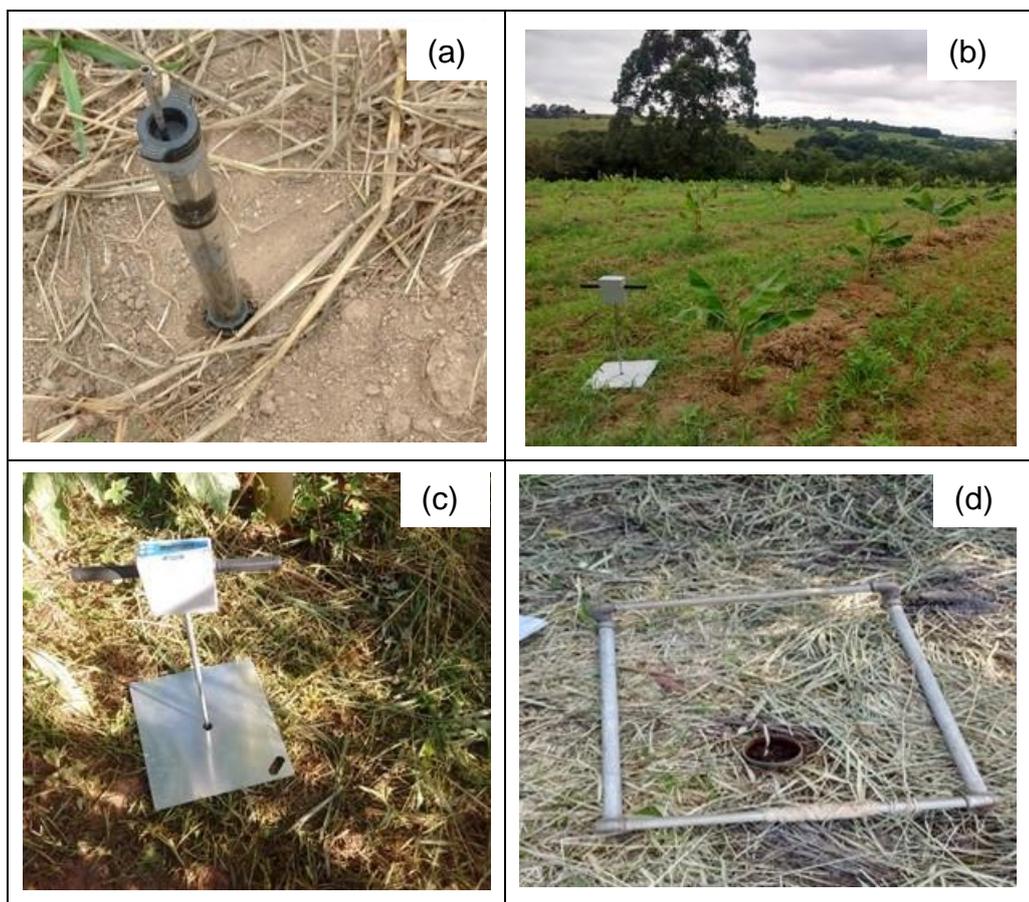
por 3 h. Posteriormente, o conjunto (cadinho+resíduos) foi acondicionado em dessecador e, em seguida, pesado. Foram realizadas coletas trimestrais.

O teor de matéria orgânica foi determinado em razão da perda de massa do resíduo incinerado, considerando-se o material perdido pela queima no intervalo de variação da temperatura de 105 °C a 550 °C, conforme a equação:

$$MO = \frac{P-(T-C)*100}{P}, \text{ em que,}$$

MO = matéria orgânica (%); P = peso da amostra (g) depois de aquecida a 105 °C; C = tara do cadinho (g); T = peso da cinza + cadinho (g).

Figura 3. Infiltrômetro Mini Disk (a), Penetrógrafo de solos (b) e (c); e quadrante para monitoramento da cobertura do solo (d).



4.4. Análise estatística

Para a análise comparativa das médias dos atributos entre os sistemas de manejo, realizou-se a análise de variância com dois fatores, e, quando significativas,

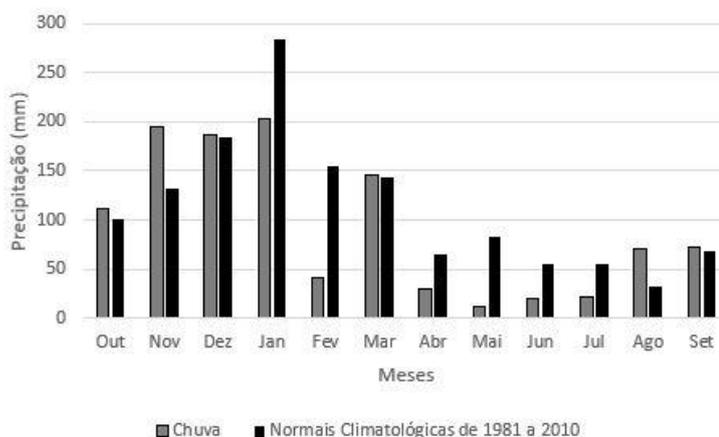
as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. A correlação de Pearson foi realizada para verificar o grau de relação entre os pares de atributos físico-hídricos e biológicos em cada tratamento.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Caracterização da chuva

A precipitação total registrada na área de estudo foi de 1130 mm, com maiores volumes nos meses de janeiro e novembro com 203 e 195 mm, respectivamente e os menores em maio e junho, com 12 e 20 mm. De acordo com as normais climatológicas do período de 1981 a 2010, a média anual está abaixo da média histórica, contudo, os períodos de seca e chuva continuam o mesmo, com precipitações inferiores em quase todos os meses (INMET, 2018) (Figura 4).

Figura 4. Precipitação acumulada ao longo do período monitorado (outubro/2017 a setembro/2018) e normais climatológicas do período de 1981 a 2010. Salto de Pirapora, SP, Brasil.



5.2. Densidade do solo (DS)

Os valores de densidade do solo variaram de 0,62 a 1,18 g cm⁻³. Na área de lichia, foram observados os menores valores de densidade do solo (DS) ao longo do período monitorado (0,64 a 0,92 g cm⁻³) e a menor média dentre os três manejos (0,75 g cm⁻³) (Figura 5). Na área de SAF, os valores variaram de 0,73 a 1,04 g cm⁻³, enquanto que no pasto foi de 0,71 a 0,98 g cm⁻³, com média em ambos tratamentos de 0,86 g cm⁻³ ao longo do período monitorado.

De acordo com Farias (2018), em solos com textura média, a DS varia de 1,25 a 1,40 g cm⁻³, enquanto que solos húmiferos, ou seja, aqueles que são feitos em sua

grande parte de matéria orgânica em decomposição (COOPER e MAZZA, 2003), apresentam o valor da DS entre 0,75 a 1,00 gcm⁻³. Desse modo, os resultados indicam que os três tratamentos aqui estudados são classificados como solos humíferos.

Estes resultados sugerem que o manejo empregado nas áreas de SAF e PAS provocou um pequeno aumento da densidade do solo em relação à LIC. Entretanto, os valores encontrados não restringem o desenvolvimento radicular das culturas. Conforme Reinert *et al.* (2008), para o crescimento normal das plantas o limite de densidade é de 1,75 g cm⁻³. Na produção de soja no estado do Mato Grosso, foi constatado que aumento de densidade do solo em áreas de uso agrícola em relação à mata, estão frequentemente relacionados ao revolvimento do solo, tráfego de máquinas e diminuição dos teores de matéria orgânica (RAMOS *et al.*, 2013).

Estudos sobre a fertilidade do solo com produção de milho, demonstraram que as áreas sob manejo convencional e plantio direto indicam um pequeno aumento na densidade do solo quando comparadas à mata (SILVA *et al.*, 2015). Resultados semelhantes foram observados em sistemas agroecológicos de produção, tendo as áreas de produção pequenos aumentos de densidade do solo (LOSS *et al.*, 2009), como o observado neste estudo.

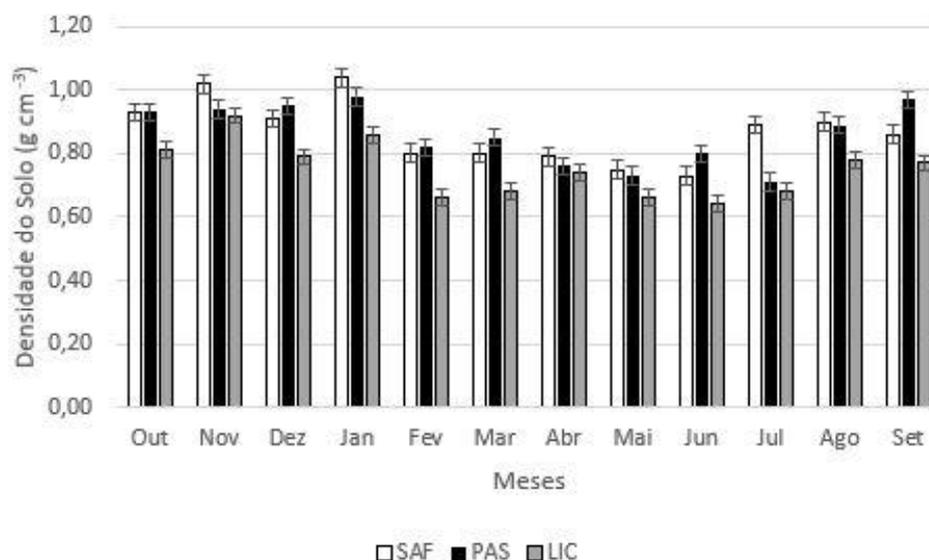
Observou-se que houve diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as DS e os manejos (Tabela 4). Não foram observadas diferenças estatísticas entre os manejos PAS e SAF, mas ambos tiveram diferenças significativas com a LIC.

Mesmo não havendo diferença significativa para as condições SAF e pasto, algumas tendências puderam ser verificadas. Observou-se que o SAF obteve a maior grandeza e a área de lichia a menor, condição que pode ser justificada pelo manejo do solo, o qual influência mais fortemente nos primeiros centímetros do solo (SILVA, 2017).

Tabela 4. Anova Densidade do solo

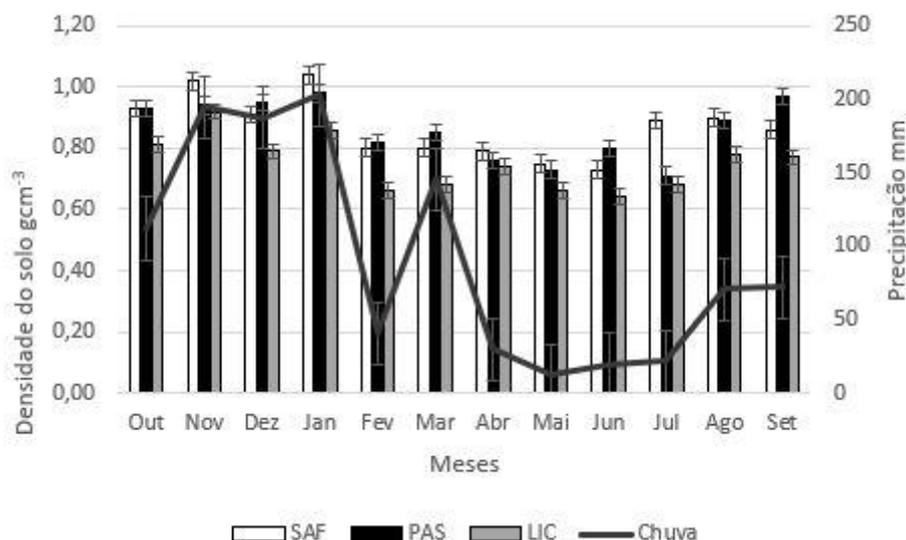
ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Amostra	0,306017	2	0,153008	11,44146	4,84E-05	3,123907
Colunas	0,816089	11	0,07419	5,547676	2,35E-06	1,924308
Interações	0,082894	22	0,003768	0,281753	0,99924	1,69192
Dentro	0,962867	72	0,013373			
Total	2,167867	107				

Figura 5. Médias das densidades do solo \pm erro padrão no Sistema Agroflorestal (SAF) pasto em transição (PAS) e lichia (LIC), período de outubro/17 a setembro de 2018. Salto de Pirapora, SP.



O manejo do solo para incorporação de resíduos vegetais pode promover alterações nos atributos físicos do solo, como por exemplo, a redução da densidade de sua densidade (SOUZA *et al.*, 2005). Esse fato também foi observado por Seki *et al.* (2015) para a densidade e para o conteúdo de água no solo em sistemas que utilizam a subsolagem e/ou escarificação antes da semeadura do milho quando comparados ao plantio direto.

Figura 6. Média \pm erro padrão da Densidade do solo e chuva no Sistema Agroflorestal (SAF), pasto em transição (PAS) e lichia (LIC), período de outubro/17 a setembro de 2018. Salto de Pirapora, SP.

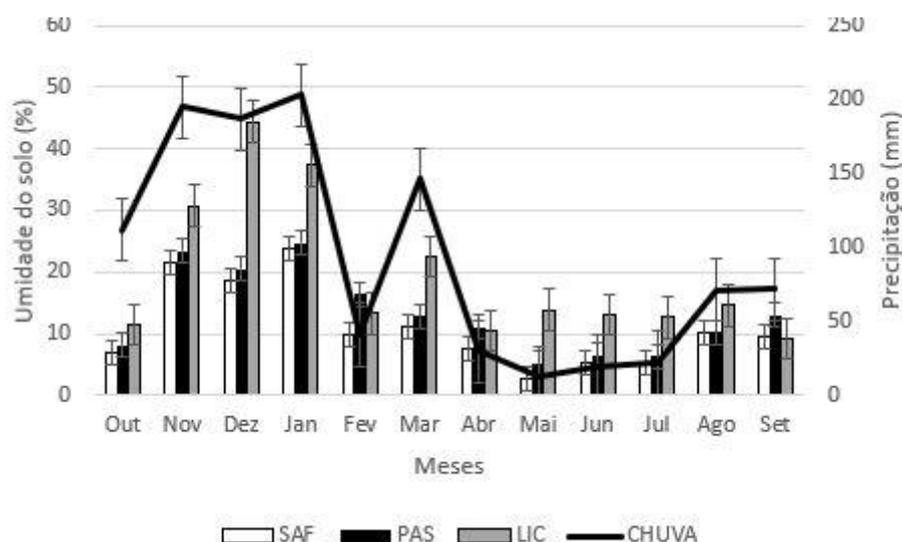


5.3. Umidade do solo (US)

A umidade do solo variou ao longo do tempo nos três sistemas estudados. No SAF esteve entre 1,49 a 30,39%, no pasto de 3,00 a 30,00 % e na lichia entre 8,02 a 65,05%, sendo que estes meses foram os que tiveram as menores e as maiores precipitações, respectivamente.

Os maiores valores de umidade do solo foram observados nos meses de janeiro para as áreas de SAF e pasto e no mês de dezembro para a área de lichia, sendo que estes meses são, respectivamente, a primeira e a terceira maiores precipitações registradas (Figura 5). Este fato sugere que a precipitação é um dos principais fatores que influenciaram na umidade do solo. Com isso, pode-se notar que existe uma correlação positiva entre a chuva e umidade do solo: quanto maior a precipitação, maior a umidade deste (Tabela 7).

Figura 7. Médias \pm erro padrão das umidades do solo no Sistema Agroflorestal (SAF), pasto em transição (PAS) e lichia (LIC), período de outubro/17 a setembro de 2018. Salto de Pirapora, SP.



Os valores médios da umidade do solo foram menores nos sistemas em que existe um manejo regular do solo onde o manejo é apenas capina da brachiaria nas entrelinhas. Verificou-se que os valores médios da umidade foram de 19,48% na LIC onde o manejo utilizado é apenas com roçadas nas entrelinhas, 13,20% no PAS onde é feita a escarificação do solo duas vezes ao ano seguido de calagem e por fim, de 11,02% no SAF (Tabela 6) onde é feito plantio de adubos verdes tanto no verão quanto no inverno e sua posterior incorporação, cujo manejo é através de capinas manuais e roçadas mecanizadas.

5.4. Condutividade hidráulica (K) e Infiltração (I)

A condutividade hidráulica (K) é a capacidade que o solo tem de conduzir água das camadas superiores até as mais profundas, ela é frequentemente mais alta nas primeiras camadas e diminui em profundidade (LUIZ *et al.*, 2017).

Nos solos avaliados, a K foi muito baixa em todos os manejos. Os resultados variaram de $3,88 \times 10^{-6}$ a $1,39 \times 10^{-2}$ cm s^{-1} . No sistema SAF, ficou entre $3,88 \times 10^{-6}$ e $1,39 \times 10^{-2}$ cm s^{-1} ; no PAS foi entre $5,5 \times 10^{-4}$ a $1,6 \times 10^{-3}$ cm s^{-1} e na LIC, $5,7 \times 10^{-6}$ a $4,8 \times 10^{-4}$ cm s^{-1} . Foi possível notar que os solos apresentam condutividade hidráulica baixa. De acordo com Terzagui e Peck (1967) e Sousa e celegoi (2011), podendo ser reflexo principalmente à má conservação dos solos anterior as modificações de manejo.

Os valores de K nas áreas estudadas apresentou o maior valor na área de SAF em detrimento ao PAS e a LIC. No entanto, não houve diferença estatística entre eles,

provavelmente pelo baixíssimo variação do coeficiente (Tabela 6). A condutividade hidráulica, e um procedimento que apresenta elevada variação de decorrência da instabilidade do solo, bem como dos efeitos da coleta da amostra, que frequentemente sofrem perturbações, especialmente o selamento superficial (AGUIAR, 2008). Segundo Soto *et al.* (2009), valores negativos são comumente encontrados, eles são resultados causados pela heterogeneidade no meio poroso, resultando em características de fluxo diferentes entre os estágios da medição.

Gonçalves e Libardi (2013) determinaram o K pelo método do perfil instantâneo de um Latossolo e obtiveram valores na ordem de $2,04 \times 10^{-4} \text{ cm s}^{-1}$. Portanto, pode se inferir que o resultado deste trabalho corroboram com os resultados apresentados na literatura.

Figura 8. Médias da condutividade hidráulica \pm erro padrão no Sistema Agroflorestal (SAF), pasto em transição (PAS) e lichia (LIC), período de outubro/17 a setembro de 2018. Salto de Pirapora, SP.

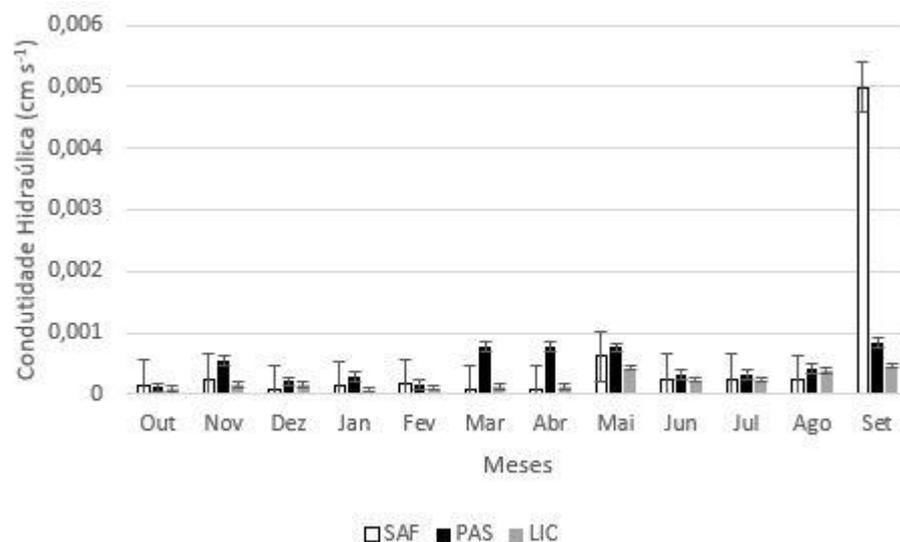
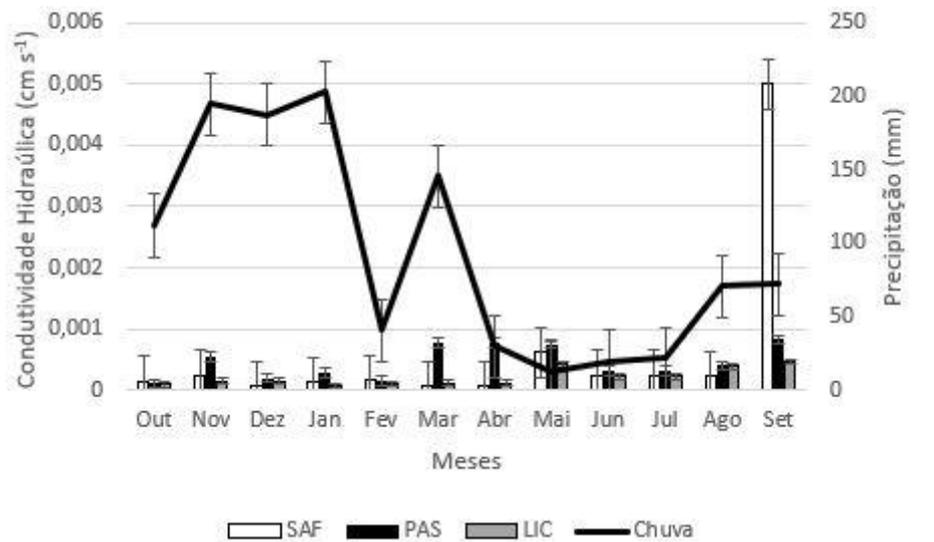


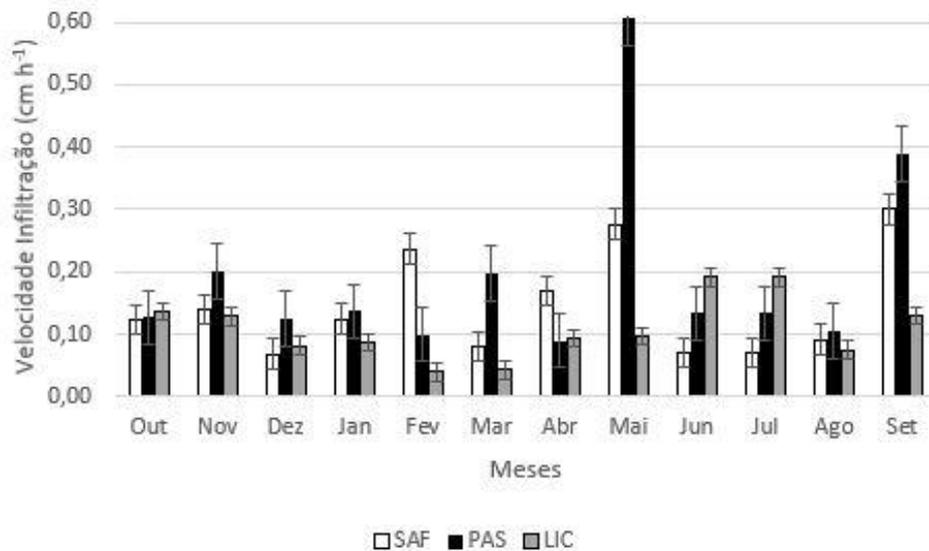
Figura 9. Média da condutividade hidráulica \pm erro padrão e chuva no Sistema Agroflorestal (SAF) pasto em transição (PAS) e lichia (LIC), período de outubro/17 a setembro de 2018. Salto de Pirapora, SP.



A infiltração é definida pela passagem de água no solo pela sua área porosa. Quanto mais seco o solo está maior a infiltração, e ela vai diminuindo à medida que começa a ser umedecido, chegando a um valor constante. Essa situação estável é chamada de velocidade de infiltração básica (VIB) de água no solo (POTT e; MARIA, 2005). A TI (taxa de infiltração) é influenciada pelas características físicas em que o solo se encontra, como a umidade inicial, temperatura, textura, além do estado de compactação e cobertura vegetal (CARVALHO e SILVA; 2006).

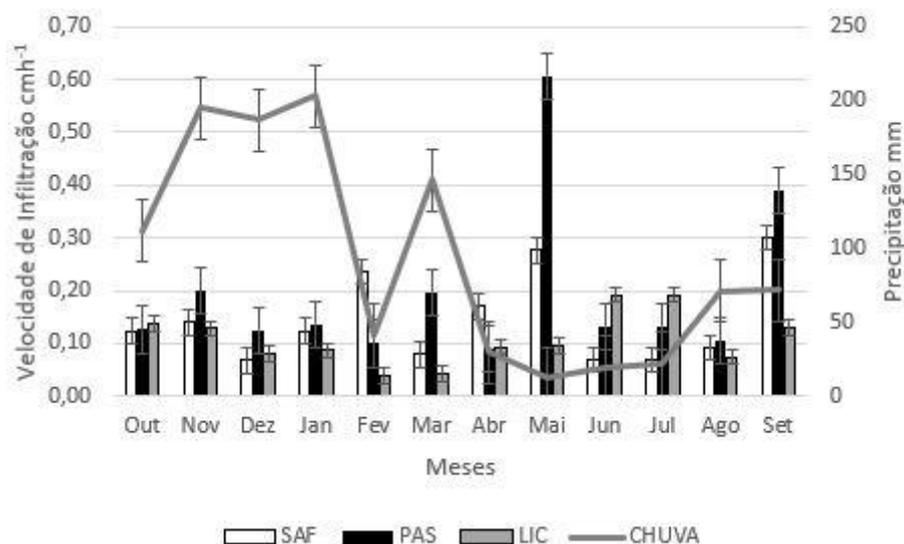
Em relação a VI, o SAF o valor variou entre de 0,05 a 0,40 cm s^{-1} , no PAS foi de 0,07 a 0,74 cm h^{-1} e na LIC entre 0,006 a 0,49 cm h^{-1} (Figura 10). A média velocidade de infiltração foi mais baixa na LIC seguida do SAF e do PAS, segundo Vilarinho *et al.*, (2013) ambos os sistemas apresentam velocidade de infiltração muito baixa.

Figura 10. Médias da infiltração \pm erro padrão no Sistema Agroflorestal (SAF), pasto em transição (PAS) e lichia (LIC), período de outubro/17 a setembro de 2018. Salto de Pirapora, SP.



Houve diferenças estatísticas entre os manejos ($p < 0,05$) com relação à VI (Tabela 6), onde a lichia apresenta o menor valor VI ($0,006 \text{ cm h}^{-1}$). Esse fato pode estar relacionado com a cobertura florestal, que intercepta a água da chuva, diminuindo sua velocidade e ainda mantém a umidade, fazendo com que a floresta contribua para o processo de infiltração de água no solo (LOREZON *et al.*, 2015). Solos úmidos tendem a ter menor taxa de infiltração. O aumento na retenção de água no solo, da lichia em relação aos outros manejos, está relacionada com a maior quantidade de microporos do solo, o que é atribuída à maior densidade do solo, pois a lichia apresenta menor densidade do solo e grande quantidade de material vegetal ainda em decomposição, favorecendo a presença de poros responsáveis pela redistribuição de água no solo (ZWIRTES, *et al.*, 2013). Araújo *et al.* (2004), trabalhando em um Latossolo Vermelho Distrófico, concluíram que menor densidade do solo em área de mata, quando comparada a áreas cultivadas, é por conta do baixo tráfego e maior quantidade de matéria orgânica na área de mata, apresentando influência da densidade do solo na retenção de água, fazendo com que a infiltração seja menor.

Figura 11. Condutividade hidráulica \pm erro padrão e chuva no Sistema Agroflorestal (SAF), pasto em transição (PAS) e lichia (LIC), período de outubro/17 a setembro de 2018. Salto de Pirapora, SP.



5.5. Resistência mecânica do solo à penetração (RMSP)

A maior média da resistência mecânica do solo à penetração na camada 0 - 30cm foi encontrada na LIC com 1,71 MPa, seguida de 1,25 MPa no PAS e 1,22 MPa no SAF, sendo que, estatisticamente o SAF e PAS não diferem entre si (Tabela 6) porém diferem da LIC. Nesse sentido, a RMSP é considerada moderada nos três manejos, porém em nenhum deles, o valor da média está acima de 2 MPa, que é considerado restritivo para crescimento radicular. Solos considerados compactados dificultam o crescimento das plantas (ZIPPER *et al.*, 2013).

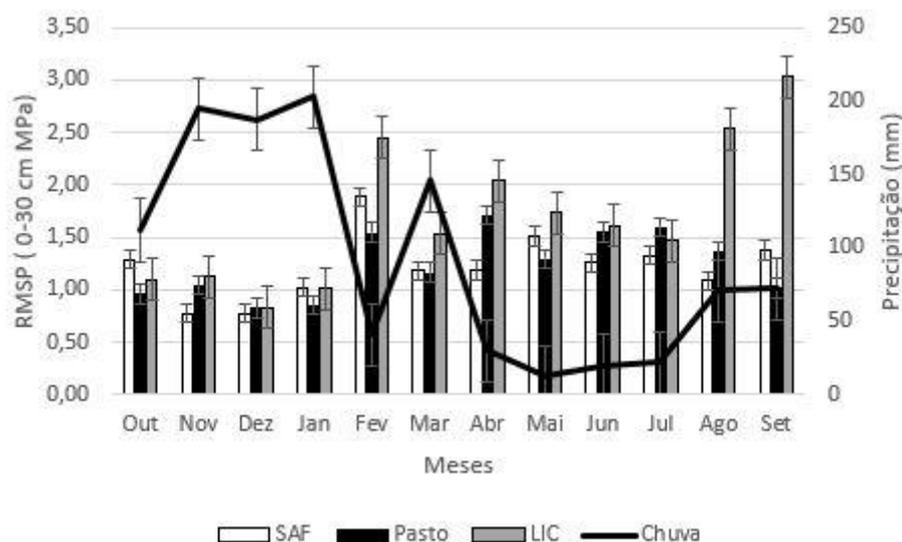
No solo sob condições mais úmidas, os valores de resistência à penetração podem ser considerados não impeditivos para os sistemas preparo convencional e preparo mínimo e pouco impeditivos para o sistema de plantio direto (TORMENA *et al.*, 2002) Ainda segundo o autor, conforme o solo fica mais seco, os valores da RMSP podem chegar níveis impeditivos.

Nos locais onde foi realizado o preparo convencional do solo (SAF e PAS), verificou-se valores de RMSP foram menores 1MPa tanta na camada superficial (0- 5 cm) quanto na camada subsuperficial (5- 10 cm) enquanto que na LIC, único local onde o preparo do solo não foi feito recentemente, os valores da RMSP foram superiores e o seu aumento se deu após 6 cm, já ultrapassando o valor de 1MPa.

Nos períodos de menor precipitação, foi possível observar que o solo ficou com maior RMSP, atingido maiores valores nesse período quando comparada à estação úmida (Figura 12). No mês de maio, no SAF a profundidade máxima atingida foi de 25

cm, enquanto que no PAS foi 20 cm. Na LIC, o mês de maio a profundidade máxima atingida foi 25 cm e em junho e julho apenas 15 cm.

Figura 12. Médias da RMSP \pm erro padrão e chuva no Sistema Agroflorestal (SAF), pasto em transição (PAS) e lichia (LIC), período de outubro/17 a setembro de 2018. Salto de Pirapora, SP.



A análise dos dados de resistência mecânica do solo à penetração (RMSP), indicou que houve diferença significativa quando observamos as faixas de profundidade individualmente (Tabela 5). Assim como afirmado por Tormenta et al. (2002), o preparo do solo com arado de aivecas e escarificador pode ter reduzido consideravelmente a resistência do solo à penetração em comparação com o plantio que não usa dos aparelhos citados.

Tabela 5. Resistências mecânicas médias \pm erro padrão à penetração nas camadas de solo nos Sistema Agroflorestal (SAF) pasto em transição (PAS) e lichia (LIC) monitorado no período de outubro/17 a setembro de 2018. Salto de Pirapora, SP.

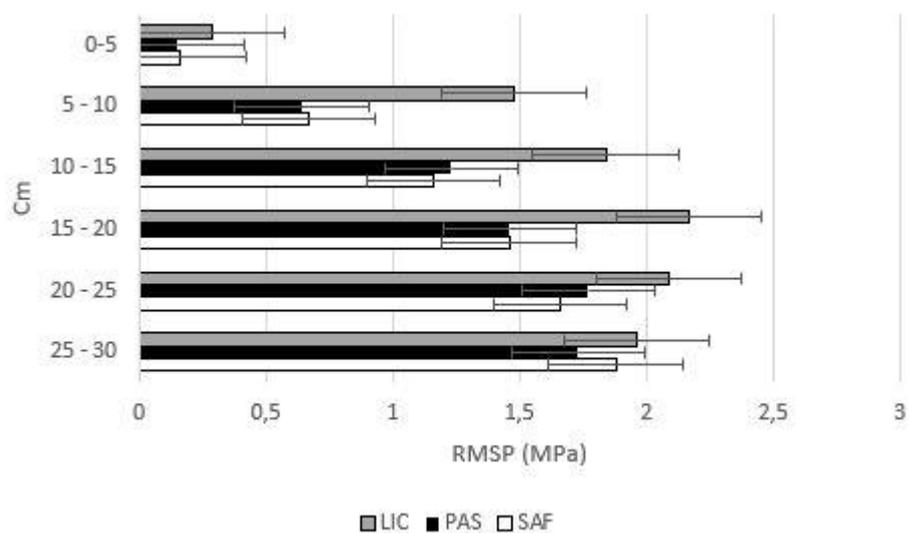
Manejo/ Profundidade	0-5 cm	5-10 cm	10 -15 cm	15 -20 Cm	20 -25 cm	25-30 cm
SAF	0,16 \pm 0,03a	0,67 \pm 0,11a	1,16 \pm 0,18a	1,46 \pm 0,17a	1,66 \pm 0,17a	1,72 \pm 0,17a
PAS	0,15 \pm 0,04a	0,64 \pm 0,10a	1,23 \pm 0,17a	1,46 \pm 0,14a	1,62 \pm 0,19a	1,73 \pm 0,24a
LIC	0,29 \pm 0,07b	1,48 \pm 0,26b	1,84 \pm 0,32b	2,17 \pm 0,22b	2,09 \pm 0,32b	1,96 \pm 0,13a

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

A lichia apresentou maior resistência mecânica à penetração do solo em todas as profundidades estudadas (Figura 13), sendo a maior delas entre 15-20cm. De acordo com Beutler *et al.*, 2004 e Serafim, 2007, a resistência mecânica do solo à penetração apresenta valores impeditivos ao crescimento as raízes quando acima de 2 MPa, situação essa observada nesse estudo na área de lichia, entre 15 e 25 cm de profundidades.

Em contrapartida, as áreas de SAF e PAS apresentaram a RMSP estatisticamente semelhantes na camada de 25-30cm (Tabela 4). Na condição cultivada, em que a camada superficial do solo é constantemente revolvida há uma tendência menores valores de RMSP, resultados similares foram obtidos por Ralisch *et al.*, (2008), Blainski *et al.*, (2008), Carneiro *et al.*, (2009) e Magalhães *et al.* (2009).

Figura 13. Médias Resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) \pm erro padrão por profundidade no Sistema Agroflorestal (SAF), pasto em transição (PAS) e lichia (LIC), período de outubro/17 a setembro de 2018. Salto de Pirapora, SP.



O manejo do solo para incorporação de resíduos vegetais pode promover alterações nos atributos físicos do solo, como redução da densidade do solo e da RMSP (SOUZA *et al.*, 2005). Tal fato também foi verificado por Seki *et al.* (2015) para a densidade do solo e para o conteúdo de água no solo em sistemas com subsolagem ou escarificação antes da semeadura do milho, em relação ao plantio direto de milho com diferentes mecanismos rompedores do solo

5.6. Cobertura vegetal do solo

A média da cobertura viva e morta dos solos das três áreas estudadas indicaram que a lichia possui uma maior cobertura do que as demais (45,14%). Na área de SAF, a média de cobertura vegetal é de 37,85% enquanto na área do pasto em conversão, de 24,48% (Tabela 6).

Na área da lichia, a cobertura é composta majoritariamente por folhas e frutos que caem das próprias árvores e algumas gramíneas nas entrelinhas. Já no SAF ela baseia-se em adubos de verão e inverno (aveia preta, crotalaria, nabo forrageiro, ervilha, feijão guandu) enquanto no pasto em transição a cobertura é composta por brachiarias e outras gramíneas.

De acordo com Piña-Rodrigues *et al.*, (1989), valores abaixo de 50% de cobertura de serapilheira são cenários considerados como indesejáveis. Segundo Davidson *et al.* (2004), a cobertura morta do solo propicia condições adequadas já que o solo fica recoberto e protegido, inibe a mato-competição, permanecendo úmido e com boa quantidade de nutrientes.

5.7. Matéria orgânica

A matéria orgânica nas áreas estudadas variou de 3,67 a 21,66 %, sendo que a LIC apresentou maior média (16,65%) do que as outras áreas (5,59 % PAS e 4,60 % SAF) (Tabela 6). Esse fato pode ser justificado pela copa das árvores de LIC, que apresenta-se densa, com folhas e frutos que caem, que contribuem para a proteção do solo, ao passo que no SAF e PAS, a matéria orgânica é proveniente apenas da decomposição do adubo verde e de poucas folhas que caem, visto que estão em processo de implantação e/ou crescimento.

Tabela 6. Médias \pm erro padrão dos atributos físicos-hídricos e biológicos no Sistema Agroflorestal (SAF), em transição (PAS) e lichia (LIC), período de outubro/17 a setembro de 2018. Salto de Pirapora, SP.

Atributo/manejo	SAF	PAS	LIC
DS (g cm⁻³)	0,86 ± 0,03 a	0,86 ± 0,03 a	0,75 ± 0,02 b
US (%)	11,02 ± 1,96 a	13,2 ± 1,92 b	19,48 ± 3,38 c
K (cm s⁻¹)	0,0006 ± 0,0004 a	0,0006 ± 0,00008 a	0,00021 ± 0,00004 ^a
VI (cm h⁻¹)	0,15 ± 0,02 a	0,20 ± 0,04 b	0,11 ± 0,015 c
RMSP (MPa)	1,22 ± 0,09 a	1,24 ± 0,09 a	1,71 ± 0,20 b
COB (%)	37,85 ± 1,66 a	24,48 ± 4,14 b	45,14 ± 1,98 c
MO (%)	4,60 ± 0,09 a	5,59 ± 1,91 b	16,65 ± 5,9 c

Médias seguidas de mesma letra nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

DS= densidade do solo; US = umidade do solo; K = condutividade do solo; VI = velocidade de infiltração. RMSP = resistência mecânica do solo a penetração; COB = cobertura vegetal; MO = matéria orgânica

5.8. Análise integrada entre atributos e manejo

As maiores correlações foram observadas entre a chuva e densidade e umidades do solo nos três sistemas de manejo, porém, sendo mais expressiva no SAF. A correlação positiva se deve ao fato de que, quanto mais chuva, mais úmido o solo fica sendo a densidade maior em solos úmidos (OLIVEIRA *et al.*, 2003) (Tabela 7).

A K, VI e RMSP mostraram uma correlação inversa com P, assim sendo, quanto maior a precipitação, menor será a condutividade hidráulica e velocidade de infiltração, uma vez que o solo estará mais saturado. Com o solo mais úmido, a RMSP tende a ser menor. A relação de P com RMSP foi mais acentuada no PAS, seguida da LIC.

A US teve correlação negativa com K, VI e RMSP. À medida que a umidade aumenta, a compactação diminui, conferindo ao solo maior resistência às pressões externas. Além disso, quanto mais úmido o solo, menor a condutividade e a velocidade de infiltração da água nele (POEHLS e SMITH, 2009). Foi observado ainda, a correlação positiva com a precipitação, densidade e cobertura. De acordo com Oliveira *et al.* (2003), densidade do solo pode aumentar de acordo com as práticas de manejo em solos com altos teores de umidade.

A K se relacionou negativamente com P e US, e positivamente com VI, pois ambos estão diretamente associados à presença de água no solo.

Em relação a correlação K x RMSP, essa correlação deveria ser negativa, ao contrário do que foi observado nesse estudo. De acordo com Horn *et al.* (2003), a pressão aplicada por máquinas agrícolas tende a diminuir os valores de condutividade hidráulica de solo saturado pois no processo de compactação, os poros maiores, responsáveis pela infiltração de água no solo, tenderem a diminuir, sendo substituídos por poros menores (BOONE e VEEN, 1994).

Ou seja, nas áreas de SAF e PAS, o maquinário agrícola foi utilizado no máximo 2 vezes ao ano, enquanto que na LIC, não foram utilizadas máquinas agrícolas, fazendo com que essa pressão não tivesse efeito na K. De qualquer forma, essa relação não significativa no SAF.

Tabela 7. Correlação de Pearson entre atributos físicos-hídricos e biológicos no Sistema Agroflorestal (SAF), pasto em transição (PAS) e lichia (LIC), período de outubro/17 a setembro de 2018. Salto de Pirapora, SP.

	Manejo Atributo	P	DS	US	K	VI	RMSP	COB
SAF	P (mm)	-	0,82	0,91	-0,14	-0,33	-0,24	0,15
	DS (g cm ⁻³)	0,82	-	0,82	-0,09	-0,01	0,35	0,01
	US (%)	0,91	0,82	-	-0,12	-0,24	-0,38	0,15
	K (cm s ⁻¹)	-0,14	-0,09	-0,12	-	0,64	0,04	-0,29
	VI (cm h ⁻¹)	-0,33	-0,01	-0,24	0,64	-	-0,09	-0,53
	RMSP (MPa)	-0,24	0,35	-0,38	0,04	-0,09	-	0,38
	COB (%)	0,15	0,01	0,15	-0,29	-0,53	0,38	-
PAS	P (mm)	-	0,79	0,88	-0,13	-0,22	-0,83	0,25
	DS (g cm ⁻³)	0,79	-	0,81	-0,23	-0,17	-0,85	0,31
	US (%)	0,88	0,81	-	-0,33	-0,31	-0,72	0,24
	K (cm s ⁻¹)	-0,13	-0,23	-0,33	-	0,61	0,14	-0,28
	VI (cm h ⁻¹)	-0,22	-0,17	-0,31	0,61	-	-0,17	-0,13
	RMSP (MPa)	-0,83	-0,85	-0,72	0,14	-0,17	-	-0,24
	COB (%)	0,25	0,31	0,24	-0,28	-0,13	-0,24	-
LIC	P (mm)	-	0,77	0,88	-0,10	-0,33	-0,59	0,32
	DS (g cm ⁻³)	0,77	-	0,56	-0,29	-0,07	-0,33	0,37
	US (%)	0,88	0,56	-	-0,50	-0,29	-0,71	0,20
	K (cm s ⁻¹)	-0,10	-0,29	-0,50	-	0,22	0,64	-0,39
	VI (cm h ⁻¹)	-0,33	-0,07	-0,29	0,22	-	-0,16	-0,25
	RMSP (MPa)	-0,59	-0,33	-0,71	0,64	-0,16	-	-0,10
	COB (%)	0,32	0,37	0,20	-0,39	-0,25	-0,10	-

A VI se relacionou de maneira positiva apenas com K e negativamente com todos os outros atributos. Por sua vez, as correlações DS x VI e DS x K no SAF, não foram significativas, assim como DS x VI na LIC.

E por fim, a COB apresentou uma correlação positiva com P, DS e US e negativa com K, VI e RMSP. Esse comportamento pode estar relacionado à cobertura do solo, que reduz a compactação superficial diminuindo o impacto das gotas das chuvas (McINTYRE, 1958). Segundo alguns autores, solos com cobertura possuem uma taxa de infiltração e retenção de água maior e um escoamento superficial menor quando comparados a solos com nenhuma cobertura (SIDIRAS *et al.*, 1982; CHANG e LINDWALL, 1992; BENJAMIN, 1993; NICOLOSO *et al.*, 2015). Entre os três sistemas de manejo, a relação COB x DS não se mostrou significativa apenas no SAF.

Os sistemas de manejo podem influenciar essas correlações, ficando elas maiores ou menores. Alguns indicadores são mais ou menos afetados pelo tipo de manejo realizado. Assim sendo, ao comparar os três sistemas de manejo ao longo de um ano, temos as maiores correlações no SAF com quando foi relacionado a umidade do solo com a precipitação, seguida da correlação densidade com umidade do solo e velocidade de infiltração com condutividade hidráulica. O PAS obteve suas maiores correlações também com a umidade do solo e precipitação, densidade com umidade do solo e densidade com precipitação. E por fim, a LIC apresentou as maiores correlações com umidade do solo e precipitação, densidade e precipitação e resistência mecânica do solo à penetração com umidade do solo.

No SAF o manejo está sendo feito a mais tempo do que no PAS e mais profundo do que na LIC, o que parece ter favorecido as mudanças nos indicadores de qualidade do solo desse sistema.

O manejo de um atributo pode melhorar ou piorar outro, como no caso da densidade do solo, que pode sofrer um leve aumento em função da quantidade de manejo que este solo recebe, o que ocorre no SAF e no PAS. Nos casos da resistência mecânica do solo à penetração, da condutividade hidráulica e da velocidade de infiltração, tendem a ter relação maior com a umidade, por isso que quando se observou esses atributos, percebeu-se que na LIC eles são maiores que no PAS e SAF pois a LIC foi o manejo mais contribui para manter a umidade do solo.

6. CONCLUSÕES

Os atributos físicos do solo foram indicadores favoráveis na avaliação da qualidade do solo, sendo possível verificar os efeitos proporcionados pelo manejo utilizado nos sistemas estudados. As características físicas do Sistema Agroflorestal e área em transição para plantação de bananas foram semelhantes entre si que, pelo manejo ser maior e mais frequente e apresentaram melhores resultados em relação à qualidade do solo do que o sistema com menor manejo plantio de lichia. As exceções foram com relação aos parâmetros umidade e cobertura do solo, onde a plantio de lichia apresentou melhores condições.

Com relação aos objetivos específicos, concluiu-se que:

Em relação a precipitação, influenciou positivamente os parâmetros densidade, umidade e cobertura vegetal do solo e negativamente a condutividade hidráulica, velocidade de infiltração e resistência mecânica do solo à penetração;

A densidade do solo foi influenciada pelo manejo aplicado no Sistema Agroflorestal e área em transição para plantação de bananas o que fez om seus valores fossem maiores que na lichia.

A umidade do solo foi maior na lichia, influenciada pelo manejo adotado nessa área que a favoreceu.

A condutividade hidráulica foi semelhantes nos três sistemas, não sendo influenciado pelos manejos.

A velocidade de infiltração foi menor na lichia devido ao manejo utilizado que favoreceu a manutenção da umidade no solo e seguida do Sistema Agroflorestal e área em transição para plantação de bananas;

A resistência mecânica do solo à penetração diminuiu de forma diferenciada, em função do manejo do solo. Houve diferença entre os sistemas Sistema Agroflorestal e área em transição para plantação de bananas e o plantio de lichia;

A cobertura do solo ajudou a manter a umidade do solo nos três sistemas, porém com mais eficiência na lichia em função do tipo de manejo utilizado;

A matéria orgânica na lichia apresentou-se maior do que área em transição para plantação de bananas e Sistema Agroflorestal em função do manejo de deixar maiores quantidades de resíduos das árvores no solo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBRUZINNI, T. F. **Qualidade e quantidade da matéria orgânica do solo em cultivo convencional e orgânico de cana-de-açúcar**. 2011. 92P. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, São Paulo. 2011.
- AGUIAR, M. I. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. Viçosa-MG, 2008
- ALBUQUERQUE, P. E. P. de; DUORÃES, F. O. **Uso e manejo da irrigação**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p. 528, 2008.
- ALBUQUERQUE, A.W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V.S. & SANTOS, J.R. Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 6, p. 136-141, 2002.
- ALONSO, T. **Condutividade hidráulica de solos compactados em ensaios com permeâmetro de parede flexível**. 2005. 120p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
- ALVARENGA, R. C.; SILVA, V. P. da; GONTIJO NETO, M. N.; VIANA, M. C. M.; VILELA, L. **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: condicionamento do solo e intensificação da produção de lavouras**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 31, n. 257, p. 1-9, 2010.
- AMADOR, D. B.; VIANA, V. M. **Sistemas Agroflorestais para recuperação de fragmentos florestais**. Série Técnica IPEF, v. 12, n. 32, p. 105-110, 1998.
- ANDREWS, S.S.; KARLEN, D.L.; CAMBARDELLA, C.A. The soil management assessment framework: a quantitative soil quality evaluation method. **Soil Science Society of America Journal**, v.68, p.1945-1962, 2004.
- ARAUJO, M.A.; TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.337-345, 2004.
- ARAUJO, M.A.; TORMENA, C.A.; INOUE, T.T. & COSTA, A.C.S. Efeitos da escarificação na qualidade física de um Latossolo Vermelho distroférico após treze anos de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.495-504, 2004.
- ARCOVERDE, S. N. S. **Qualidade de solos sob diferentes usos agrícolas na região do entorno do lago de Sobradinho-BA**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro, 2013.
- ARSHAD, M.A., LOWERY, B., GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: Doran, W., Jones, J. (Eds.), *Methods for Assessing Soil Quality*, Madison, WI, 1996. **Soil Science Society of America Journal**, v.49, p.123–141, 1996.

- ARMANDO, M.S. **Agrofloresta para a agricultura familiar**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2002. 11p. (Circular Técnica, 16). Disponível em: <http://www.agrisustentavel.com/doc/agroflorest>. Acesso em: 10 out. 2018.
- ASSIS, R. L.; LAZARINL, G.D.; LANÇAS, K. P.; CARGNELUTTI FILHO, A. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29 p.558-568, 2009.
- BARBOSA, T.R.L. **Atributos físicos do solo sob espécies florestais da Mata Atlântica na Região Serrana Fluminense**. 2012.Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, 81p, 2012.
- BALBINO, L. C.; BARCELOS, A. O.; STONE, L. F. **Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta**. Brasília, DF: Embrapa Solos, p. 130, 2011.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Ecossistemas tropicais e subtropicais. Genesis, Porto Alegre, p.9-26, 1999.
- BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996. 240p. (Tese de Doutorado).
- BAVOSO, M. A. *et al.* Preparo do solo em áreas de produção de grãos, silagem e pastejo: efeito na resistência tênil e friabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 227-234, 2010.
- BELLEN, H. M. V. **Indicadores de sustentabilidade**. 2. ed. Rio de Janeiro: FGV, 2006.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2008, 625p.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação - Infiltração de água no solo**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1995. 657p.
- BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n 3, p. 555-560, 2001.
- BERTONI, J.; LOMBARDI, NETO. F. **Conservação do Solo**. Piracicaba, SP: Editora Livro ceres, 1985. 392p.
- BEUTLER, A.N.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; CRUZ, J.C.; PREREIRA FILHO, I.A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.1, p.129-136, jan./mar. 2001.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Efeito do conteúdo de água na compactação do solo na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, V. 38, p. 849-856, 2003.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.581-588, 2004.

BETIM, L. S. **Caracterização da condutividade hidráulica dos solos e estudo da vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos da sub-bacia do córrego Palmital**. 2013. 186f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.2013.

BHAGWAT, S. A; WILLIS, K. J.; BIRKS, H. J. B.; WHITTAKER, R. J. Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity. **trends in Ecology and Evolution**, v. 23, n. 5, p. 261-7, maio 2008.

BLAINSKI, É., Tormena, C. A., FIDALSKI, J., & GUIMARÃES, R. M. L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. **Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 975-983, 2008.

BONINI, C.S.B.; ALVES, M.C.; MONTANARI, R. Lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de atributos químicos de solo degradado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, p.388-393, 2015.

BRANDÃO, V. S.; CECILIO, R. A; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. **Infiltração da água nos solos**. 3. Ed Viçosa: UFV, 120 p., 2006.

BRAGAGNOLO, N.; MIELNIKZUK, L. Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, p.369-374, 1990.

BRASIL (a). Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº s 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166- 67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm Acesso em: 16 jun. 2018.

BROWN, G. G.; ROMBKE, J.; HOFER, H. et al. Biodiversity and function of soil animals in Brazilian agroforestry systems. In: GAMARODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F.; GAMARODRIGUES, A. F. (Editores). **Sistemas agroflorestais: bases científicas para o desenvolvimento sustentável**. 1ª ed. Campos dos Goytacazes, RJ: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 365 p , 2006.

BUSKE, T. C.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; TORRES, R. R.; ROSSO, R. B.; BRAGA, F. de V. A. Determinação da umidade do solo por diferentes fontes de aquecimento. **Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 2, p. 315-324, 2014.

BUSSCHER, W. J.; BAUER, P. J. & FREDERICK, J. R. Recompaction of a coastal loamy sand after deep tillage as a function of subsequent cumulative rainfall. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.68, p.49-57, 2002.

CALHEIROS, C.B.M.; TENÓRIO, F.J.C.; CUNHA, J.L.X.L.; SILVA, E.T. da; SILVA, D.F. da; SILVA, J.A.C. da. Definição da taxa de infiltração para dimensionamento de sistemas de irrigação por aspersão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.665-670, 2009.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: ESALQ, 132p, 1997..

CANARACHE, A. PENETR - a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.16 p.51-70, 1990.

CARBONE CARNEIRO, M. A., DAMACENA DE SOUZA, E., FIALHO DOS REIS, E., SERON PEREIRA, H., AZEVEDO, W. R. D. (2009). Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, 2009.

CARDOSO, E.L. et al. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal Sul-Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 613-622, 2011.

CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N. Estudo Temporal e Espacialização Mensal e Anual das Chuvas na Parte Brasileira da Bacia do Rio Paraguai. In: IV Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2012, Bonito-MS. **Anais do IV Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**. Brasília - DF: INPE e Embrapa Informática, 2012. v. 1. p. 1076-1085.

CARDOSO, I.M.; GUIJT, I.; FRANCO, F.S.; CARVALHO, P.S.; FERREIRA NETO, P.S. Continual learning for agroforestry system design: university, NGO and farmer partnership in Minas Gerais, Brazil. **Agri-Systems**, 60:235-257, 2001.

CARNEIRO, S. P. **Qualidade de um Latossolo Vermelho sob diferentes tipos de usos e manejos em área do cerrado**. 2010. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências da UFMG, Belo Horizonte, 2010.

CARVALHO, L. A.; CRUZ, A.C.R.; ROCHA, G.C., LIBARDI, P.L. Condutividade hidráulica do solo em condições de campo. IN: OLIVEIRA, T.S.(coord) **Solo e água: aspectos de uso e manejo em ênfase no semi arido nordestino**. Fortaleza: Departamento de Ciências do Solo, UFC, p.374-399, 2004..

CARVALHO, C. M.; SALOMÃO, L. C. C. **Cultura da lichieira**. Viçosa: UFV, 38p. Boletim de extensão n. 43, 2000

CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; AMANDO, M.S. **Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal**. Brasília, v.39, n.11, p.1153- 1155, nov. 2004.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A.L. Estabilidade de agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotação de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.527-538, 1998.

CAVALIERI, K. M. V.; CARVALHO, L. A. de; SILVA, A. P. da; LIBARDI, P. L.; TORMENA, C. A. Qualidade física de três solos sob colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, p. 1541-1549, 2011.

CAVALETTI, O.; ORTEGA, E. Emergy, nutrients balance, and economic assessment of soybean production and industrialization in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v.17, p. 762-771, 2009.

Clima dos Municípios Paulistas — Cepagri. (n.d.). http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_584.html acesso em 14 de setembro 2017.

- CHAVES, A. A. A. *et al.* Indicadores de qualidade de Latossolo Vermelho sob diferentes usos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 4, p. 446-454, 2012.
- CHRISTOFIDIS, D. Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília: ABID, n.54, p. 46-55, 2002.
- CONCEIÇÃO, P.C. **Indicadores de qualidade do solo visando a avaliação de sistemas de manejo do solo**.2002, 125p. (Tese de Mestrado). Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2002..
- CORTEZ, J. W.; ALVES, A. D.; MOURA, M. R. D.; OLSZEWSKI, N.; JESUS, H. Atributos físicos do Argissolo amarelo do semiárido nordestino sob sistemas de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa MG, v. 35, n. 4, 1207-1216, 2011.
- COSTA, A.; ALBUQUERQUE, J.; MAFRA, A. L.; SILVA, F. R. Propriedades físicas do solo em sistemas de manejo na integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.235-244, 2009.
- CUNHA, N. M. C da. **Resistência do solo à penetração em área de *Panicum Maximum* cv Tanzania em Caxias, MA**. 2018 Dissertação (TCC em Zootecnia). Universidade Federal do Maranhão. Chapadinha. 2018
- D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N, CURI, N.; FERREIRA, M.M. Atributos de agregação indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região dos cerrados no sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 1047-1054, 2002.
- DANTAS, J. D´A. N; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ASSIS, C. P. Qualidade do solo sob diferentes usos e manejos no perímetro irrigado de Jaguaribe/Apodi, CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.18- 26,2012.
- DAVIDSON, E. A. *et al.* Nitrogen and phosphorus limitation of biomass growth in a tropicalsecondary forest. **Ecological Applications**, v. 14, p. 150-163, 2004.
- De MARIA, I.C.; CASTRO, O.M.; DIAS, H.S. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.703- 709, 1999.
- DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C. Atributos do solo e produtividade da soja em sistemas de integração lavoura-pecuária com braquiária e soja. **Ciência Rural**, v. 42, p. 1180-1186, 2012.
- DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. Controle da erosão no Paraná, Brasil. In: **Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista**. Iapar, Londrina, 272p 1991..
- DOMSCH,H.; EHLERT, D.; GIEBEL, A.; WITZKE, K. Evaluation of soil penetration resistance along a transect to determine the loosening depth. **Precision Agriculture**, Dordrecht, v.7, p. 309-326, 2006.
- DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A. eds. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, Soil Science Society of America, v. 35, p.3-22. 1994.

DORAN, J.W.; ZEISS, M.R. Soil health and sustainability; Managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, v. 15 p.3-11, 2000.

DUBREUIL, V.; FANTE, K. P.; PLANCHON, O.; SANT'ANNA NETO, J. L. Les types de climats annuels au Brésil: une application de la classification de Köppen de 1961 à 2015. **EchoGéo**, v. 41, p. 1-28, 2017.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Meio-Norte. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Estratégias de Desenvolvimento Rural e Alternativas Tecnológicas para a Agricultura Familiar na Região Meio-Norte. In: Oliveira, F. C.; Leite, L. F. C.; Lima, S. S. de; Oliveira Júnior, J. O. L. de. **Estratégias de desenvolvimento rural e alternativas tecnológicas para a agricultura familiar na região Meio-Norte**. Piauí: Embrapa, 2008. p 119-144.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Prosa Rural - Sistemas agroflorestais para o semiárido. Ceará, 2006. Disponível em:<<https://www.embrapa.br/tema-integracao-lavoura-pecuaria-florestailpf/busca-de-noticias/-/noticia/2551732/prosa-rural---sistemas-agroflorestais-para-o-semi-arido>>. Acesso em: 14 jun. 2018.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5ª edição. Rio de Janeiro. 2018. 306p.

EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise de Solo. 2ª edição. Rio de Janeiro. 1997. 212p.

ENGEL, V. L. **Introdução aos Sistemas Agroflorestais**. Botucatu: FEPAF, 1999

ENTZ, M.; BARON, V.S.; CARR, P.M.; MEYER, D.W.; SMITH, S.R.; McCAUGHEY, W.P. Potential of forages to diversify cropping systems in the northern great plains. **Agronomy Journal**, Madison, v.94, p.240-250, 2002.

ELRICK, D. E; REYNOLDS, W. D; TAN, K. A. Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analysis. **Groundwater Monitoring and Remediation**, v.9, p.184-193, 1989.

FAO, 1997. Land quality indicators and their use in sustainable agriculture and rural development. **FAO Land and Water Bulletin** n. 5 FAO, , p. 212 , 1997.

FAO, Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. Escassez e degradação dos solos e da água ameaçam segurança alimentar. Presente em: <https://www.fao.org.br/edsaasa.asp>. Consulta em: 14/06/2018.

FAO. **The state of food and agriculture**. Rome: FAO, 2009. Disponível em: <http://bit.ly/dcsAFD>. Acesso em: 16 jul. 2018. FERRAZ, J. B. S.; FELÍCIO, P. E. D. Production systems - An example from Brazil. **Meat Science**, v. 84, n. 2, p. 238-243, 2010.

FARIAS, F. J; **Atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo em sistema agroecológico de produção**. 2018. São Cristóvão, SE. Monografia de Conclusão de Curso. 2018.

- FERREIRA, R. R. M.; TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, V. M. Efeitos de Sistemas de Manejo de Pastagens nas Propriedades Físicas do Solo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 913-932, 2010.
- FOLONI, J. S. S.; LIMA, S. L. de; BULL, L. T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.49-57, 2006.
- FONSECA, S. O., ARAÚJO, G. L., FARIA, B. H. G., LIPARIZI JUNIOR, A., COSTA, J., REIS, E. F. Avaliação do método do forno microondas para a determinação de umidade do solo em relação ao método padrão de estufa. **Anais XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba**. 2009..
- FRANCO, C. F.; PRADO, R. M. de; BRAGHIROLI, L. F.; LEAL, R. M.; PEREZ, E. G.; ROMUALDO, L. M. Uso da poda e de diferentes diâmetros de alporques sobre o desenvolvimento e acúmulo de nutrientes de mudas de lichieira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.27, n.3, p. 491-494, 2005.
- FREITAS, L. de; OLIVEIRA, I. A.; SILVA, L. S. FRARE, J. C. V.; FILLA, V. A.; GOMES, R. P. Indicadores da Qualidade Química e Física do solo Sob Diferentes Sistemas de Manejo. **Revista UNIMAR Ciências**, Marília -SP, v.6, p. 8-25, 2017.
- GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. 4. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade UFRGS, 654p., 2009.
- GOMES JUNIOR, D. G.; STOLF, R.; PERES, J. G.; PINTO, V. M.; REICHARDT, K. Soil physical quality of Brazilian crop management systems evaluated with aid of penetrometer. **Journal of Agricultural Science**, Ontario, v. 8, n. 6, p. 120- 128, 2016.
- GONÇALVES, A. D. M. A.; LIBARDI, P. L.; BRAS, R. Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo. **Revista Brasileira De Ciência do Solo**, v.37, p.1174-1184, 2013.
- GUERRINI, I. A.; BULL, L.T. **Encontro sobre matéria orgânica do solo: problemas e soluções**. Botucatu, FCA/UNESP, 203p., 1992.
- GUBIANI, P. I.; REINERT, J. D.; REICHERT, J. M. Valores críticos de densidade do solo avaliados por condições de contorno. **Ciência Rural** Santa Maria v.44, n.6, jun. 2014.
- HATCH, D.; KEITH, G.; MURPHY, D. Nitrogen. In: HAYGARTH, P. M.; JARVIS, S. C. (Ed.). **Agriculture, hydrology and water quality**. Cambridge: CAB International, p. 19-21 2002.
- HAYGARTH, P.M.; JARVIS, S.C. **Agriculture, hydrology and water quality**. **CAB International**, Cambridge, 502p, 2002.
- HORN, R.; WAY, T.; ROSTEK, J. Effect of repeated tractor wheeling on stress/strain properties and consequences on physical properties in structured arable soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.73, p.101- 106, 2003.

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (n.d.).
http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/vegetacao/manual_vegetacao.shtm acesso em 14 de setembro de 2017.

IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- IBGE., 2012.

INSTITUTO ANTONIO ERNESTO DE SALVO – INAES. **Estado da Arte das pastagens em Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2015. 207 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET): normal climatológica de 1981 – 2010. Disponível em:
<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas> acesso em 21 de dezembro de 2018.

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

JARVIS, N. J.; MESSING, L. Near- saturated hydraulic conductivity in soils of contrasting texture measured by tension infiltrometers. **Soil Science Society of America Journal**, v.59, p.27-34, 1995.

JORGE, R. F.; ALMEIDA, C. X.; BORGES, E. N.; PASSOS, R. R. Distribuição de poros e densidade de latossolos submetidos a diferentes sistemas de uso e manejo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, p.159-169, 2012.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 262p., 1979.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba, SP: Editora Agronômica Ceres, 492p., 1985..

KLEIN, V. A. Densidade relativa – um indicador de qualidade física do solo. In: **Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água**, 14, 2002. Cuiabá. Resumos expandidos. Cuiabá: SBCS, 2002.

KLEIN, V.A. **Física do Solo** – Passo Fundo: Ed Universidade de Passo Fundo, 212p, 2008.

KNIGHT, R. Origin and world importance of tropical and subtropical fruit crops. In: NAGY, S., SHAW, P.E. (Ed.). **Tropical and subtropical fruits**: composition, properties and uses. Connecticut, Avi Publishing Westport, p.1-120,1980.

JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. **Agroforestry Systems**, v.76, n.1, p. 1-10, 2009.

LAL, R.; FOLLETT, R. F.; KIMBLE, J.; COLE, C. V. Managing U.S. cropland to sequester carbon in soil. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.5, p.374-381, 1999.

LANZANOVA, M.E.; NICOLOSO, R.S.; LOVATO, T.; ELTZ, F.L.F.; AMADO, T.J.C. & REINERT, D.J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31 p.1131-1140, 2007.

- LEINWEBER, P.; TURNER, B. L.; MEISSNER, R. Phosphorus. In: HAYGARTH, P. M.; JARVIS, S. C. (Ed.). **Agriculture, hydrology and water quality**. Cambridge: CAB International, 30p., 2002.
- LIBARDI, P. L. **Dinâmica da Água no Solo**. v.6, São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005.
- LIBARDI, P. Métodos de medida da condutividade hidráulica dos solos. In: LIBARDI, P., ed. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba, Edusp, p.231-259, 2005..
- LIBARDI, P.L. & MELO FILHO, J.F. Análise exploratória e variabilidade dos parâmetros da equação da condutividade hidráulica em um experimento de perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.197-206, 2006.
- LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. Ed. 2, São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 346p., 2012..
- LIMA, R. P. de; DE LEÓN, M. J.; SILVA, A. R. da. Comparação entre dois penetrômetros na avaliação da resistência mecânica do solo à penetração. **Revista Ceres**, Viçosa, v.60, n.4, p.577-581, 2013.
- LIMA, M. T. REGENERAÇÃO NATURAL NAS PILHAS DE ESTÉRIL EM MINERAÇÃO DE CALCÁRIO, SALTO DE PIRAPORA, SP. 2016. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Sustentabilidade na Gestão Ambiental). Universidade Federal de São Carlos.2016.
- LORENZON, A.S.; DIAS, H. C.T ; TONELLO, K.C. Stormwater runoff along the tree trunk in a seasonal semideciduous forest. **Revista Árvore**, Viçosa, vol. 39, n. 3, p. 423-430, 2015.
- LOWDERMILK, W.C. **Acceleration of erosion above geologic norms**. **Amer. Geophys.** Union Trans. 15, p.505-509, 1934.
- LUIZ, G. S.; GOULAR, R. Z.; FONSECA, J. S.; CARDOSO, P. S; BUTZKE, E. P. Atributos Físicos Hídricos de um Argissolo Vermelho sobre diferentes tipos de planats de cobertura. **Anais do salão internacional do ensino, pesquisa e extensão**. v.9, n.4, 2017.
- MACEDO, R. L. G. **Princípios básicos para manejo sustentável de sistemas agroflorestais**. Lavras: UFLA/FAEPE 2000.
- MACHADO, A. L. S.; PACHECO, J. B. Serviços ecossistêmicos e o ciclo hidrológico da Bacia Hidrográfica Amazônica - the biotic pump. **Revista GEONORTE**, v.1, n.1, p. 71-89, 2010.
- MAGALHÃES MAGALHÃES, W., CREMON, C., MAPELI, N. C., DA SILVA, W. M., DE CARVALHO, J. M., DA MOTA, M. S. 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.
- MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3. ed. atualizada. Viçosa: Ed. UFV, 355p., 2009..
- MATOS, E. S.; MENDONÇA, E. De S.; LEITE, L. F. C.; GALVÃO, J. C. C. Estabilidade de agregados e distribuição de carbono e nutrientes em Argissolo sob

adubação orgânica e mineral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.9, p.1221-1230, 2008.

MATSON, P. A.; NAYLOR, R.; ORTIZ-MONASTERIO, I. Integration of environmental, agronomic, and economic aspects of fertilizer management. **Science**, v.280, p112-115. 1998.

MAY, P. H.; TROVATTO, C. M. M. **Manual agroflorestal para a Mata Atlântica**. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Agrário, Secretaria de Agricultura Familiar, 2008.

McINTYRE, D. S. Permeability measurements of soil crusts formed by raindrop impact. **Soil Science**, Baltimore, v.85, p.185-189, 1958.

MELATI, M. D.; MARCUZZO, F. F. N. Espacialização da recomendação de novas estações pluviométricas na sub-bacia segundo os critérios de densidade da Organização Mundial de Meteorologia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 17. (SBSR), 2015, Foz do Iguaçu, PR. **Anais** São José dos Campos: INPE, 2015. DVD.

MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.3, p.963-969, mai.-jun., 2004.

MENEZES, J.M.T.; VAN LEEUWEN, J.; VALERI, S.V.; CRUZ, M.C.P.; LEANDRO, R.C. Comparação entre solos sob uso agroflorestal e em florestas remanescentes adjacentes, no norte de Rondônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.2, p.893-898, mar./abr., 2008.

MENEZES, J. M. T; VAN LEEUWEN, J.; VALERI, S. V.; CRUZ, M. C. P da; LEANDRO, R. C. Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e floresta nativa. **Revista de estudos ambientais** (Online) v.13, n.1, p.77-86 jan./jun., 2011.

MILLAR, A.A. **Drenagem de terras agrícolas: bases agronômicas**. Bib. Orton IICA / CATIE, 1974.

MONTEIRO, M. A. C.; ZOZ, A.; LIMEDE, A. C.; OLIVEIRA, C. E. S.; ZOZ, T. Efeito do preparo do solo com diferentes implementos sobre a resistência do solo à penetração. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v.4, n.2, p 63-68, abr./jun., 2017

MORAES, M. T. DE.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R. DA. Benefícios das plantas de cobertura sobre as propriedades físicas do solo. In.: TIECHER, T. (Org.). **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: Práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul,. p. 34-48, 2016.

MORAES, A.; PELISSARI, A.; ALVES, S. J.; CARVALHO, P. C. F.; CASSOL, L. C. Integração lavoura-pecuária no Sul do Brasil. In: ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL, 1., 2002, Pato Branco. **Anais**. Pato Branco: CEFET-PR, 2002..

MORAIS, F. Infiltração - uma variável geomorfológica. **Caderno de Geografia**, v.22, n.38, 2012.

MULLER M. W. **Sistemas agroflorestais como uso sustentável dos solos: conceito e classificação**. Disponível em:

<http://www.ceplac.gov.br/radar/semfaz/conceiroeclasificacao.htm> Acesso em: 12.09.2017

MURPHY, C.A.; FOSTER, B.L.; RAMSPOTT, M.E.; PRICE, K.P. Effects of cultivation history and current grassland management on soil quality in northeastern Kansas. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.61, p.75-89, 2006.

NAIR, P. K. R. The coming of age of agroforestry. **Journal of Science of Food and Agriculture**, v. 87, p.1613-1619, 2007.

NAIR, P.K. Ramachandran. An introduction to agroforestry. Netherlands, **Kluwer Academic Publishers**, 1993.

NICOLOSO, R. da S.; AMADO, T.J.C.; SCHENEIDER, S.; LANZANOVA, M. E.; GIRARDELLO, V.C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.32, 2008.

NIERO, L. A. C. *et al.* Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um Latossolo Vermelho distroférrico com usos e manejos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.4, p.1271 -1282, 2010.

NORFLEET, M. L.; DITZLER, C. A.; PUCKET, W. E.; SHAW J. N. Soil Quality and its relationship to pedology. **Soil Science**, v.168, n.3, p.149-155, 2003.

NUNES, L. A. P. L. **Qualidade de um solo cultivado com café e sob mata secundária no município de Viçosa-MG**. 2003. Tese de doutorado. ViçosaUFV, 2003.

OLDEMAN, L. R. The global extent of soil de gradation. In: GREENLAND, D. J.; SZABOCLS, I. (Ed.). **Soil Resilience and sustainable land use**. Wallingford: Cab International, p. 99-118, 1994.

OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**: legenda expandida. Campinas: Instituto Agronomico; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.

OLIVEIRA, C. M.; NAPPO, M. E.; PASSOS, R. R.; MENDONÇA, A.R. Comparação entre atributos físicos e químicos de solo sob floresta e pastagem. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v.2, p.1-21, 2008.

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

OLIVEIRA, M.J.P.M. Uma metodologia para avaliação da recarga natural de águas subterrâneas: Aplicação à área dos sistemas aquíferos de Quarteira e de Albufeira-

Ribeira de Quarteira (Algarve). Série INCH 08, LNEC, Lisboa-Portugal. **Relatório**. 108p., 2006..

PALM, C.; BLANCO-CANQUI, H.; CLERCK, F.; GATERE, L.; GRACE, P. Conservation agriculture and ecosystem services: an overview. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.187, p.87-105, 2013.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; SOBRINHO, T. A.; OLIVEIRA, P. T. S. & RODRIGUES, D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p. 1777-1785, 2011.

PARRON, L. M.; GARCIA, J. J.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (eds). **Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica**. Embrapa, Brasília, 2015, 370p.

PAULINO, P. da S. **Atributos físicos como indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo no estado de Santa Catarina**.2013. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo). Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages.2013.

PENEIREIRO, F. M. Fundamentos da agroflorestal sucessional. II Simpósio sobre Agrofloresta Sucessionais. **Anais...Sergipe: [s.]**, 2003

PEREIRA JR, E. B.; HAFLE, O. M; GOMES, E. M.; GOMES, ANDRADE. M. E. L.; SANTOS, L. G.; DELFINO, F. I. MEL. Avaliação dos atributos físicos do solo submetido à práticas de manejo, em agroecossistemas do Semiárido. **Revista ACTA Tecnológica-Revista Científica**, v.5, n.2, p.43-51. 2010.

PEREIRA, F. S.; ANDRIOLI, I.; PEREIRA F. S.; CENTURION, J. F.; FLAQEUTO, R. J.; MARTINS, A. L. S. Qualidade física de um Latossolo Vermelho submetido a sistemas de manejo avaliado pelo índice S. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p.87-95, 2011.

PETH, S.; HORN, R. The mechanical behavior of structured and homogenized soil under repeated loading. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.169, p.401-410, 2006.

PIÑA-RODRIGUES; F.C.M.; COSTA, L. G. S.; REIS, A. Estratégia de estabelecimento de espécies arbóreas e o manejo de florestas tropicais. **Silvicultura**, v.3, p.672-690, 1989.

PINHEIRO, A.; TEIXEIRA, L. P.; KAUFMANN, V. Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola. **Revista Ambiente e Água**, v.4, p.188-199, 2009.

POEHLS, D.; SMITH, G. **Encyclopedic Dictionary of Hydrogeology**. Boston: Academic Press/Elsevier, 2009. 528 p.

PRIMAVESI, Ana. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**/Ana Primavesi. – São Paulo: Nobel, 1984.

PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. da; BRANDÃO, V. dos S. **Escoamento Superficial**. Viçosa: UFV. 2. Edição, 2004

RALISCH, R., MIRANDA, T. M., OKUMURA, R. S., BARBOSA, G. M. D. C., GUIMARÃES, M. D. F., SCOPEL, E., BALBINO, L. 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, n.4, p.381- 384, 2008.

RAMOS, M. R.; FAVARETTO, N.; DIECKOW, J.; DEDECK, R. A.; VEZZANI, F. M.; ALMEIDA, L. de; SPERRIN, M. Soil, water and nutrient loss under conventional and organic vegetable production managed in small farms versus forest system. **Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics**, Kassel, v.115, p.131–40, 2014.

RAMOS, M. R.; DEDECEK, R. A.; SILVA, T. R. da; FREIRE, T. M. Atributos físicos do solo no horizonte superficial em diferentes usos. **Revista Agri-Environmental Sciences**, Palmas-TO, v.3, n.1, 2017.

RAMOS, F. T.; RAMOS, D. T.; AZEVEDO, E. C.; MAIA, J. C. S; ROQUE, M. W. Modificações físicas em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico no cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Global Science and Technology**, v.6, p.12-25, 2013.

REICHERT, J.M. *et al.* Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop. production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, v.102, p.242-254, 2009.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri, São Paulo, 478p., 2004.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.102, n.2, p.242- 254, 2009.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M; VEIGA, M.V.; SUZUKI, L.E.A.S. Qualidade física dos solos. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água. **Palestras**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Aracaju, SE. 2006.

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TANA, C. S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v.110, p131-146, 2002.

RODELLA, A. A.; ALCARDE, J. C. Avaliação de materiais orgânicos empregados como fertilizantes. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.51, n.3, p.556-562, 1994.

RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I. **Pacto para a restauração ecológica da Mata Atlântica**: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. São Paulo Instituto BioAtlântica, 2009.

RODRIGUES, M. S.; SOUZA, C. de; LIMA, D. D.; SILVA, S. D. P. da; ALVES, D. C.; MACHADO, N. S. Impacto do cultivo do coqueiro irrigado na qualidade física do solo na região semiárida Brasileira. **Ciencia del Suelo**, v.34, n.1. Buenos Aires, 2016.

MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; ALVARENGA, M. I. N.; VIEIRA, F. B. M. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE SOLOS SOB DIFERENTES COBERTURAS FLORESTAIS E DE PASTAGEM NO SUL DE MINAS GERAIS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.2461-2470, 2008

ROQUE, A.A.O.; SOUZA, Z.M.; BARBOSA, R.S.; SOUZA, G.S. Controle de tráfego agrícola e seus atributos físicos do solo em área cultivada com cana de açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.7, p.744-750, 2010.

ROSA, M.E.C.; OLSZVESKI, N.; MENDONÇA, E.S.; COSTA, L.M.; CORREIA, J.R. Formas de carbono em Latossolo Vermelho Eutroférico sob plantio direto no sistema biogeográfico do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.5, set./out., p.911-923, 2003.

SÁ, M. A. C. & SANTOS, J. D. G. **Compactação do solo**: Consequências para o crescimento vegetal. Planaltina-DF. EMBRAPA Cerrados, 26p., 2005..

SANTANA, D.P.; BAHIA FILHO, A.F.C. Soil quality and agricultural sustainability in the Brazilian Cerrado. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 16. 1998, Montpellier, **Anais**. Montpellier1998.

SANTANA, M.B.; SOUZA, L.S.; SOUZA, L.D.; FONTES, L.E.F. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de tabuleiros costeiros do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.1, p.1-12, jan./fev. 2006.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G. *et al.* **Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo**. 6ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 2013.

SANTOS, T.E.M.; SOUZA, E.R.; MONTENEGRO, A.A.A. Modeling of soil water infiltration with rainfall simulator in different agricultural systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.6, p. 513-518, 2016.

SANTOS, A. C. **O papel dos sistemas agroflorestais para usos sustentáveis da terra e políticas públicas relacionadas** – Indicadores de Funcionalidade econômica e Ecológica de SAFs em Redes Sociais da Amazônia e Mata Atlântica. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Subprograma Projetos Demonstrativos (PDA), 2010.

SCALES, B. R.; MARSDEN, S. J. Biodiversity in small -scale tropical agroforests: a review of species richness and abundance shifts and the factors influencing them. **Environmental Conservation**, v.35, n.2, p.160-172, 2008.

SCHAFFER, B.; ATTINGER, W.; SCHULIN, R. Compaction of restored soil by heavy agricultural machinery: Soil physical and mechanical aspects. **Soil and Tillage Research**, v.93, p.28-43, 2007.

SCHAETZL, R. J.; ANDERSON, S. N. **Soils Genesis and Geomorphology**. New York, 1ª edição2005.

Cambridge; Cambridge University Press, 2005. 817p

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**, v.39, p.58-64, 2009.

SECCO, D. & REINERT, D.J. Efeitos imediatos e residual de escarificadores em Latossolo Vermelho escuro sob plantio direto. **Engenharia Agrícola Jaboticabal**, v.16, p.52-61, 1997.

SEKI, A.S.; SEI, F.G.; JASPER, S.P.; SILVA, P.R.A.; BENEZ, S.H. Efeitos de práticas de descompactação do solo em área sob sistema plantio direto. **Revista Ciência Agrônômica**, v.46, n.3, p.460-468, 2015.

SERAFIM, M.E. **Desenvolvimento de um penetrógrafo de bancada visando a determinação do intervalo hídrico ótimo (IHO) em diferentes sistemas de produção**. 2007. 79p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados.

SHAFER -LANDERFELD, L.; BRANDHUBER, R.; FENNER, S.; KOCH, H.J.; STOCKFISCH, N. Effects of agricultura machinery with high axle load on soil properties of normally managed fields. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v.75, p.75-86, 2004.

SHARPLEY, A. N. Introduction: Agriculture as a Potential Source of Water Pollution. In: Agriculture, **Hydrology and Water Quality**. p. 4-5, 2002.

SHIGAKI, F.; SHARPLEY, A.; PROCHNOW, L. I. Source-related transport of phosphorus in surface runoff. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 35, p. 2229-2235, 2006.

SILVA, J. G. da; Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fq6x5lxh02wyiv80bhgp5ps6ra6re.html> Acesso em: 10 out. 2018.

SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S. Matéria orgânica do solo. In: VARGAS, M.A.T.; HUNGRIA, M. ed. **Biologia dos solos dos cerrados**. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1997. p. 467-524.

SILVA, D.F. Definição da taxa de infiltração para dimensionamento de sistemas de irrigação por aspersão. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e ambiental**, Campina Grande, v.13, n.6, p.665-670, 2009.

SILVA, D. O. M. da. **Validação de um sensor de determinação da umidade do solo para o manejo da irrigação**. 2013. 63 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; JUNIOR, M. S. D.; IMHOFF, S.; KLEIN, V. A. Indicadores da qualidade física do solo. In: **Física do Solo**. Ed. Quirijin de Jong van Lier. SBCS, Viçosa. 2010., p. 241-280.

SILVA, I. C. da. Estudo da capacidade de infiltração de água diante de diferentes usos do solo no município de Itapororoca/PB. **Revista Geonorte**, Edição Especial, Amazonas, v. 1, n. 4, p. 648 – 662, 2012.

SILVA, E. L.; **Efeito do manejo do solo sobre atributos físicos e microbiológicos**. Monografia (Graduação) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus São Cristóvão, 2016.

SILVA, D. A. A.; SILVA, D. M.; JACQUES, R. J. S.; ANTONIOLLI, Z. I. Bioindicadores de qualidade edáfica em diferentes usos do solo. **Enciclopédia Biosfera** v.11, p.3728- 3736, 2015.

SIQUEIRA, O. J. F. de. *et al.* **Recomendações de Adubação e Calagem Para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1987.

SIQUEIRA, J.O.; SOARES, C. R. F. S.; SILVA, C. A. Matéria orgânica em solos de áreas degradadas. In: SANTO, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P., CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2 ed. Porto Alegre, 2008. P. 495-520.

SOUZA, Z.M.; PRADO, R. M.; PAIXÃO, A.C.S.; CESARIN, L.G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.3, p.271-278, 2005.

SOUSA, R. V. B.; CELEGOI, A. Avaliação da condutividade hidráulica do solo em área agrícola e florestada na cidade de Londrina (PR) com uso de permeâmetro de Guelph. **Bol. Geografia**, v. 29, n.2. Maringá, 2011. P. 123-133.

SOUZA, J. A.; BUZETTI, S.; TARSITANO, M. A. A.; VALDERRAMA, M. Lucratividade do milho em razão das fontes, doses e épocas de aplicação de nitrogênio. **Revista Ceres**, 59, 321-329, 2012.

SOUSA, F. A de. **Condutividade hidráulica dos solos desenvolvidos sobre Granitos e Rochas alcalinas na alta bacia do rio dos Bois em Iporá-GO**. (Tese de Doutorado) Uberlândia: IG –, 2013. 207 p.

SOTO, M.A.; CHANG, K. H.; VILAR, O. M. Análise do método do permeâmetro Guelph na determinação da condutividade saturada. **Águas Subterrâneas**, v.23, p.137-152, 2009.

SMA – Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Resolução SMA nº 32, de 03 de abril de 2014. Estabelece as orientações, diretrizes e critérios sobre restauração ecológica no Estado de São Paulo, e dá providências correlatas. Disponível em: <http://www2.ambiente.sp.gov.br/legislacao/resolucoes-sma/resolucao-sma-32-2014/> Acesso em: 16 jun. 2018.

STEFANOSKI, C. D.; GLENIO, G. S.; MARCHÃO, L. R.; PETTER, A. F.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 1301-1309, 2013.

Stevenson, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2. ed. John Wiley, New York, USA. 1994, 496pp.

TABOADA, M. A.; ALVAREZ, C. R. Abundância de raízes de milho (*Zea mays* L.) em solos de Argentina sob preparo convencional e plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.769-779, 2008.

TERZAGUI, K; PECK, R. B. **Soil mechanics and engineering practice**. New York: John Wiley and Sons, 1967.

TIECHER, T.; **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água (recurso eletrônico)**. Porto Alegre: UFRGS, 2016. P. 186.

- TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S. da; GONÇALVES, A.C.A. Densidade, Porosidade e Resistência mecânica a penetração em Latossolos cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, v.59, n.4, p.795-801, out./dez. 2002.
- TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, p. 573-581, 1998
- TORRES, J.L.R. *et al.* Alterações dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.3, p.437-445, 2011.
- TORRES, J. L. R.; FABIAN, A. J.; PEREIRA, M. G.; ANDRIOLI, I. Influência de plantas de cobertura na temperatura e umidade do solo na rotação milho-soja em plantio direto. *Revista Brasileira de Agrociência*, Pelotas, v. 12, n. 1, p. 107-113, 2006
- USDA - Department of Agriculture. **Soil quality test kit guide**. Washington: Soil Quality Institute, 1998. 82p.
- USDA-NRCS. Soil Quality Institute. 2011. <http://soils.usda.gov/sqi/>. 09 mar. 2018.
- VARGAS, L. K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um Podzólico vermelho-escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.24 no.1 Viçosa Jan./Mar. 2000
- VILARINHO, N. K. C.; KOETZ, M.; SCHLICHTING, A. F.; SILVA, M. C. M.; SILVA, E. M. B. Determinação da taxa de infiltração estável de água em solo de cerrado nativo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. Fortaleza, v. 7, n. 1, p. 17-26, 2013.
- VITÓRIA, E. L Da; FERNANDES, H. C.; TEIXEIRA, M. M; CECON, P. R. Produtividade de plantas forrageiras em função de manejos do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.34, n.5, p. 955-962, set./out. 2014.
- VIVIAN, J. L. **Manual de diagnóstico e desenho de sistemas agroflorestais: manual de campo para extensionistas**. Porto Alegre: EMATER, 2000. 43 p.
- VON SPERLING, M. (2005). **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 452 p. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG, Belo Horizonte – MG.
- YOUNG, A. **Agroforestry for soil conservation**, Nairóbi: ICRAF, 1990, 276p.
- ZWIRTES, A. L.; SPOHR, R. B.; BARONIO, C. A.; MENEGOL, D. R.; ROSA, G. M; MORAES, M. T. Utilização do infiltrômetro de cornell e dos anéis concêntricos para determinação da infiltração de água em um Latossolo Vermelho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, suplemento 1, p. 3489-3500, 2013.