



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PARÁ
CAMPUS CASTANHAL**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO RURAL
SUSTENTÁVEL E GESTÃO DE EMPREENDIMENTOS AGROALIMENTARES**

LUCIVAL CORDOVIL DE ATAÍDE

**IMPACTOS DA MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA E PROPOSIÇÃO DE BOAS
PRÁTICAS DE MANEJO DO SOLO NA AGROVILA CASTELO BRANCO,
CASTANHAL-PA**

Castanhal – Pará
Agosto - 2016

LUCIVAL CORDOVIL DE ATAÍDE

**IMPACTOS DA MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA E PROPOSIÇÃO DE BOAS
PRÁTICAS DE MANEJO DO SOLO NA AGROVILA CASTELO BRANCO,
CASTANHAL-PA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação do Instituto Federal de Ciências e Tecnologia do Pará, Campus Castanhal, em cumprimento às exigências para obtenção do Título de Mestre em Desenvolvimento Rural Sustentável e Gestão de Empreendimentos Agroalimentares sob a orientação do Professor DSc. Luis Nery Rodrigues.

Linha de Pesquisa: Dinâmica e Manejo de Agroecossistemas

Castanhal – Pará
Agosto - 2016

A862i Ataíde, Lucival Cordovil de

Impactos da mecanização agrícola e proposição de boas práticas de manejo do solo na agrovila Castelo Branco, Castanhal-PA. / Lucival Cordovil de Ataíde. — 2016.

65 f.

Impresso por computador (fotocópia).

Orientador: Prof. Dr. Luis Nery Rodrigues

Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural e Gestão de Empreendimentos Agroalimentares) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – IFPA, 2016.

1. Desenvolvimento rural. 2. Agricultura - Mecanização. 3. Solos. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará. II. Título.

CDD: 307.1412

LUCIVAL CORDOVIL DE ATAIDE

**IMPACTOS DA MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA E PROPOSIÇÃO DE BOAS
PRÁTICAS DE MANEJO DO SOLO NA AGROVILA CASTELO BRANCO,
CASTANHAL-PA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação do Instituto Federal de Ciências e Tecnologia do Pará, Campus Castanhal, em cumprimento às exigências para obtenção do Título de Mestre em Desenvolvimento Rural Sustentável e Gestão de Empreendimentos Agroalimentares sob a orientação do Professor DSc. Luis Nery Rodrigues.

Linha de Pesquisa: Dinâmica e Manejo de Agroecossistemas

Data de defesa: 26/08/2016

Conceito: _____

Orientador: Profº. Dr. Luis Nery Rodrigues
Professor Titular/IFPA – Campus Castanhal

Profº. Dr. João Tavares Nascimento
Professor Titular/IFPA – Campus Castanhal

Profº. Dr. Augusto José Silva Pedroso
Professor/IFPA – Campus Castanhal

Profº. Dr. Rodrigo Otávio Rodrigues de Melo Souza
Professor/UFRA – Campus Belém

DEDICATÓRIA

À minha esposa FRANCITELMA F. ATAÍDE
e aos meus filhos INGRID A. ATAÍDE,
LUAN F. ATAÍDE e ALCINA C. ATAÍDE
NETA, pelo carinho e incentivo, para
realização deste trabalho.

Em memória aos meus pais LOURIVAL
CORDOVIL DE ATAÍDE e ALCINA
CORDOVIL DE ATAÍDE, pelo apoio e
incentivo dado a minha formação profissional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS pela vida, pelo seu amor e cuidado por mim. Pela sabedoria e conhecimento aqueles que o pedem, por guiar todos os meus caminhos e por me abençoar todos os dias.

Ao Dr. Luis Nery Rodrigues, pela orientação, incentivo e apoio em todas as etapas deste trabalho.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA) - Campus Castanhal pela execução do curso.

À equipe de funcionário do Laboratório de Solos, ao Jeferson Dias Coordenador do Laboratório de Física de Solos do IFPA- Campus Castanhal.

Aos professores e auxiliares do Curso de Mestrado Profissional do Programa de Pós – Graduação em Desenvolvimento Rural Sustentável e Gestão de Empreendimentos Agroalimentares do IFPA - Castanhal, pelos ensinamentos e orientações recebidas durante o período do curso.

À Comissão Examinadora por ter aceitado a indicação para julgar este trabalho.

À Associação de Desenvolvimento dos Produtores Rurais da Agrovila Castelo Branco, localizada no Km 22 da Colônia Três de Outubro, na pessoa do seu presidente, Senhor Tarcisio Alves Pinheiro, proprietário das áreas onde a pesquisa foi desenvolvida.

Aos colegas professores e funcionários do IFPA Castanhal, pelo apoio e ajuda.

Ao bolsista do PIBIC/CNPq/PROPPG/IFPA Everton Hudson Castro dos Santos, Graduando em Agronomia – IFPA – Campus Castanhal, pelo trabalho e dedicação a pesquisa.

Aos colegas do curso pela convivência e amizade e a todos, que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar os impactos da mecanização agrícola sobre os atributos físico-hídricos do solo da agrícola da Agrovila Castelo Branco e propor aos agricultores, formas agroecológicas, de baixo custo, para minimizar os impactos ambientais causados no solo. A pesquisa foi conduzida na Agrovila Castelo Branco, localizada no Município de Castanhal-PA no período de setembro de 2015 a julho de 2016, em dois agroecossistemas, um denominado ‘cultivado’ e outro denominada de ‘mata’. O solo local é classificado como Latossolo Amarelo de textura franco-arenosa. Foram determinadas as seguintes características físico-hídricas dos dois ambientes: densidade aparente do solo (d_s), densidade de partículas sólidas do solo (d_p), porosidade total (P), capacidade de campo (CC), ponto de murchamento permanente (PM), água disponível (AD), resistência do solo à penetração (RP), a infiltração acumulada (IA) e a condutividade hidráulica $K(h_0)$. Adotou-se o esquema fatorial 2×2 ; sendo 2 sistemas (‘cultivado’; ‘mata’) e duas profundidades (‘0-20cm’; ‘20-40cm’) com 10 repetições perfazendo 40 parcelas, exceto para IA e a $K(h_0)$ em que foram realizados três testes em cada área. Foi constatado que o uso de implementos, de forma desordenada na área cultivada, afetou a retenção de água no solo ‘cultivado’. Concluiu-se que a qualidade física dos solos agrícolas da Agrovila Castelo encontra-se afetada pela mecanização. A área antropizada pelo preparo mecanizado do solo sofreu efeitos de compactação a ponto de interferir na qualidade física do solo. A área ‘cultivada’, em relação à área de ‘mata’, encontra-se com maior ‘densidade do solo’, menor ‘porosidade’, menor ‘capacidade de campo’, maior ‘ponto de murchamento’ e consequentemente menor ‘água disponível’. A RP é 3 vezes maior na camada de 20cm, comparada à superfície do solo, a $K(h_0)$ que está relacionada com a IA , foi muito mais elevada na superfície do solo, porém na área de mata foi muito maior (135 mm h^{-1}) contra 21 mm h^{-1} , na área cultivada. Na camada de 20cm os valores são semelhantes. Os solos agrícolas da Agrovila Castelo Branco necessitam de boas práticas de manejo para restituir sua capacidade produtiva. Para correção dos impactos e manter a fertilidade do solo serão indicadas e implantadas boas práticas (plantio direto, plantio em nível, cultivo mínimo, adubação verde, correção do solo, adubação orgânica e implantação de SAFs) e medidas preventivas de uso e regulação de implementos agrícolas a partir da criação de uma unidade demonstrativa local.

Palavras chaves: atributos físico-hídricos, retenção hídrica, mecanização, permeabilidade.

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the impacts of agricultural mechanization about attributes hydric-physical of soil of Farming Community Castelo Branco and proportionality to farmers, agroecological forms, of low cost, to minimize environmental impacts on soil. The research was conducted in Agrovila Castelo Branco, located in Castanhal-PA, Brazil from september 2015 to July 2016, in two ecosystems, a called 'cultivated' and another called 'forest'. The local soil is classified as Oxisol of sandy loam texture. Were determined the following characteristics physical and hydraulic of the two environments: soil bulk density (ρ_s), density of solid soil particles (ρ_p), total porosity (P), field capacity (CC), permanent wilting point (PM) available water (AD), soil penetration resistance (RP), the cumulative infiltration (IA) and the hydraulic conductivity $K(h_0)$. It adopted a factorial scheme 2×2 ; systems ('cultivated', 'forest') and two depths ('0-20cm'; '20 - 40cm ') with 10 replications totaling 40 plots, except for IA and $K(h_0)$ that were made three tests in each area. It was concluded that the use of mechanization, in a disorderly manner in the cultivated area, affected the water retention in the soil 'cultivated'. It was concluded that the physical quality of agricultural soils of Farming Community Castelo Branco is affected by mechanization. The preparation mechanized, had compaction with interference on soil physical quality. The 'cultivated' area, for the area of 'forest' has a higher 'bulk density', lower 'porosity', lower 'field capacity', high 'point of wilting' and thus less 'water available '. The 'RP' is three times higher in the layer of 20cm, compared to the soil surface, the $K(h_0)$ that is related to the 'IA' was much higher on the ground surface, but the forest area was much larger (135 mm h^{-1}) compared with 21 mm h^{-1} , in the cultivated area. In the depth of 20cm values are similar. Agricultural soils of Castelo Branco community need conservation and rational management practices to restore productive capacity. To reduce the impacts and soil fertility maintenance will be set and implemented best practices (tillage, planting level, minimum tillage, green manuring, soil correction, organic fertilization and implantation of agroforestry) and preventive measures of use and regulation implements farm from the creation of a local demonstration unit

Key words: physical and water attributes, water retention, mechanization, permeability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Localização de Castanhal no nordeste paraense.....	25
Figura 2	Detalhe da área cultivada.....	26
Figura 3	Detalhe da área de mata secundária.....	26
Figura 4	Amostra indeformada para determinação da densidade do solo.....	31
Figura 5	Método do balão volumétrico para determinação da densidade de partículas do solo.....	31
Figura 6	Aparato para determinação da capacidade de campo do solo.....	33
Figura 7	Penetrômetro de solos com anel dinamométrico.....	34
Figura 8	Mini infiltrômetro a disco.....	35
Figura 9	Densidade do solo – d_s (A), densidade das partículas do solo – d_p (B) e porosidade total – P (C) em função dos fatores estudados ‘sistemas’ e ‘camadas do solo’.....	42
Figura 10	Capacidade de campo - CC (A), ponto de murchamento – PM (B) e água disponível do solo - AD (C) em função dos fatores estudados, ‘sistema’ e ‘camada de solo’.....	46
Figura 11	Resistência do solo à penetração (RP) nos sistemas ‘cultivado’ e ‘mata’ (A), em duas profundidades do solo 0 cm e 30 cm (B) bem como a interação ‘sistema x profundidade’(C).....	49
Figura 12	Infiltração acumulada (IA) nos sistemas ‘cultivado’ e ‘mata’, em duas profundidades do solo, 0 cm e 30 cm.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Teor de matéria orgânica e caracterização textural dos solos das áreas pesquisadas.....	29
Tabela 2	Relevo das áreas pesquisadas.....	29
Tabela 3	Caracterização química dos solos das áreas pesquisadas.....	30
Tabela 4	Caracterização hidrodinâmica dos solos das duas áreas em duas profundidades.....	36
Tabela 5	Resumo da análise de variância para a variável densidade do solo (ds), densidade das partículas (dp) e porosidade total (P), em função dos fatores estudados, Sistema (S) e Profundidade (Pr).....	38
Tabela 6	Resumo da análise de variância para a variável capacidade de campo (CC), ponto de murchamento (PM) e água disponível (AD), em função dos fatores estudados, Sistema (S) e Profundidade (Pr).....	44
Tabela 7	Resumo da análise da variância para resistência do solo à penetração (RP), em função dos fatores estudados, Sistema (S) e Profundidade (Pr).....	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Formas de uso e distribuição das subáreas da propriedade estudada.....	27
Quadro 2	Espécies que compõem a floresta secundária.....	28

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO.....	15
1.1 – Problemática e hipótese.....	18
1.2 – Objetivo geral.....	18
2 – REVISÃO DE LITERATURA.....	19
2.1 – Contextualização.....	19
2.2 – Condutividade hidráulica do solo.....	20
2.3 – Porosidade do solo.....	20
2.4 - Compactação do solo.....	21
2.5 – Textura do solo.....	22
2.6 - Retenção de água pelo solo.....	23
2.7 - Matéria orgânica.....	23
3 - METODOLOGIA.....	25
3.1 - Característica da área de estudo	25
3.2- Descrição da área de estudo.....	26
3.3 - Coleta e processamento das amostras de solo.....	28
3.4 - Características físico-hídricas e químicas dos solos estudados.....	29
3.4.1 Matéria orgânica e caracterização textural das áreas de estudo.....	29
3.4.2 - Relevo das áreas de estudo.....	29
3.4.3 - Caracterização química das áreas de estudo.....	30
3.5 – Variáveis avaliadas.....	30
3.5.1 - Densidade do solo (ds).....	30
3.5.2 - Densidade das partículas (dp).....	31
3.5.3 – Porosidade total (P).....	32
3.5.4 – Capacidade de campo (CC) e Ponto de murchamento (PM) pelo método de laboratório.....	32
3.5.5 – Água disponível (AD).....	33
3.5.6 – Resistência do solo à penetração (RP).....	33
3.5.7 – Infiltração acumulada (IA) e Condutividade hidráulica ((K(h ₀)).....	34
3.6 – Tabulação do dados.....	36
3.7 - Delineamento estatístico.....	36
4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
4.1 - Densidade do solo (ds).....	37

4.2 - Densidade das partículas (d_p).....	39
4.3 - Porosidade total (P).....	40
4.4 - Capacidade de campo (CC).....	43
4.5 - Ponto de murchamento (PM).....	44
4.6 - Água disponível (AD).....	45
4.7 - Resistência do solo à penetração (RP).....	47
4.8 – Infiltração acumulada (IA) e Condutividade hidráulica ($K(h_0)$).....	50
5 – CONCLUSÃO.....	53
6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
7 – PRODUTO.....	56
8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
APÊNDICES.....	62

1 - INTRODUÇÃO

No Pará, a prática centenária do manejo da capoeira que consiste na retirada da vegetação natural, deixada inculta por alguns anos para recuperar a vegetação, voltando a ser desmatada e queimada, este manejo restitui a fertilidade perdida, torna o uso do solo possível de ser explorado a curto/médio prazo. Porém com as sucessivas derrubadas e queimadas, com menores períodos de pousio devido à pressão demográfica, acaba provocando a degeneração do meio físico natural inviabilizando-o para a produção agrícola (CAMPOS, 1998).

A retirada da cobertura vegetal natural, mata nativa e mata secundária (capoeira), implica na rápida degradação dos solos, pois a cobertura vegetal constitui uma espécie de barreira natural ao intemperismo. Isto se deve a diversificação intra e interespecíficos presentes nas florestas, as quais, com raras exceções, não se encontram dentro de monoculturas. Sistema este inviável ecológica e economicamente, só se sustentado graças à rápida degradação ambiental e aos créditos subsidiados (CAMPOS, 1998).

O uso na agricultura de solos anteriormente sob vegetação natural, tem frequentemente, mostrado alterações nas propriedades físico-químicas e biológicas, as quais são dependentes das condições do solo, do clima, do tipo de cultura e das práticas culturais adotadas. Isso leva ao estabelecimento de uma nova condição de equilíbrio no sistema de acordo com a interação destas condições (MARCHIORI JÚNIOR & MELO, 2000).

O Brasil experimentou um dramático crescimento populacional nas últimas décadas. Entre 1980 a 2010 a população do país saltou de 119 para 190 milhões de pessoas. A população urbana em 1980 era 67,70%, já em 2010, a população urbana representava 84,36%. Esse crescimento foi acompanhado por um intenso processo de urbanização que provocou uma redução da população rural (IBGE, 2010).

O crescimento da população urbana levou a uma necessidade de aumento da produtividade pela população rural. Até ao final do século esse aumento de produtividade só será possível graças a utilização equilibrada de insumos, como máquinas agrícolas, sementes selecionadas, corretivos, fertilizantes orgânicos e minerais usados conforme as condições físicas e químicas do solo determinadas em análises físico-hídricas e químicas do Solo.

Com a floresta tropical úmida predominante, da qual pelo menos 400 milhões de hectares são cobertas por florestas de terra firme, dessa área estima-se que 40 milhões de hectares já foram antropizados para utilização agropecuária e florestal. Essa utilização contínua tem mostrado, a longo prazo, seu baixo nível de sustentabilidade, principalmente, porque cerca de 80% dos solos da região são ácidos e de baixa fertilidade e sofrem grandes

pressões bióticas (pragas, doenças, plantas invasoras) que são fatores limitantes da produção agropecuária e florestal na região (OLIVEIRA JUNIOR et al., 1997).

A mesorregião metropolitana de Belém e a mesorregião do nordeste do estado do Pará vem sendo submetida a intensos processos de utilização dos seus solos, no sistema de agricultura itinerante e pecuária extensiva com baixo nível tecnológico. Em consequência, a vegetação de floresta nativa praticamente já desapareceu dando lugar, a áreas de pastagens e vegetação secundária (capoeira) em vários estágios de evolução, com idade variando entre 2 e 3 anos, até 20 a 30 anos.

A idade da vegetação secundária está diminuindo nessa região porque, dependendo da pressão de ocupação, que é em função da densidade populacional da área, o uso da terra se torna mais frequente, não havendo tempo para “pousios” (SIPAM/UFPA, 2010).

Castanhal, fundado em 28 de janeiro de 1932, pertence a Mesorregião Metropolitana de Belém e a Microrregião de Castanhal, localiza-se no nordeste paraense distante 68 Km de Belém (PNUD, 2012). Castanhal destaca-se entre as maiores cidades do Estado. O município se destaca na produção de alimento, com base na agricultura familiar forte, produzindo para suprir as necessidades familiares e venda do excedente para o mercado local, e cidades do entorno (IBGE, 2013).

Dentre as agrovilas que compõem o município, destaca-se a Agrovila Castelo Branco, distante 25 km da sede do município com relevante participação na produção agrícola, notadamente na produção de farinha de mandioca, milho, feijão e hortaliças, além de frutas.

Segundo dados do IBGE (2012), a Agrovila Castelo Branco é uma das grandes fornecedoras de produtos agrícolas para atender o mercado de Castanhal, porém a partir da década de 1990, houve a necessidade de elevar a produtividade do solo da região, com o propósito de suprir o consumo regional, decorrente do crescimento populacional, e aumentar os excedentes destinados as micro empresas (agroindústrias) que se instalaram na região, dentre elas, beneficiadoras de arroz, açaí, produtoras de farinha seca, d'água tapioca, fécula, tucupi e etc., assim como o excedente direcionado à exportação para outras regiões.

Para atender a nova política produtiva, houve a necessidade de complementar o sistema de preparo do solo de forma convencional (manual), com o sistema mecanizado, visando elevar a área cultivada e elevar a produtividade e a produção.

Para manter e elevar a produtividade do solo da agrovila, é necessário que a exploração dos ecossistemas e agroecossistemas seja de forma racional, tanto na conservação das matas ciliares para evitar o assoreamento dos rios, manter a vegetação das encostas evitando o

desbarrancamento, conservação da vegetação nativa e solo da Agrovila obedecendo o Código Florestal vigente.

O objeto de estudo desta pesquisa foram dois ambientes edáficos da Agrovila Castelo Branco sob diferentes formas de uso, sendo um em área de mata e outro, em área cultivada (antropizada) buscando identificar as causas, efeitos e soluções para os impactos observados.

O manejo do solo com mecanização agrícola racional é de fundamental importância para manter esses agroecossistemas com o solo em condições compatíveis de fertilidade. A partir da pesquisa proposta, identificaram-se os impactos causados pelo uso constante da mecanização sobre o solo agricultável da Agrovila. Dentre eles, destacam-se a compactação, perda de solo causado pela erosão laminar, baixa fertilidade decorrente do carreamento superficial do solo.

O uso da mecanização agrícola constituiu-se em um dos bens de consumo usado no desenvolvimento da agricultura no mundo inteiro, uma das formas de maior utilização da mecanização é o preparo do solo, que tem como objetivo oferecer ambiente adequado para o crescimento e desenvolvimento das plantas visando a produção de alimentos e de matérias primas vegetais para a indústria, permitindo produção econômica e evitando a degradação do solo.

O aumento de produtividade e produção podem ser conseguidas com o uso de ferramentas manuais, e pequenas máquinas adaptadas às condições financeiras do agricultor, como tração animal e o uso de trator e seus implementos.

A execução dos trabalhos rurais com tratores e implementos visa à substituição da força humana pela máquina, resultando no aumento da capacidade produtiva do homem, através do uso racional das máquinas e equipamentos. Com equipamentos adequados o agricultor poderá ampliar a área plantada e melhorar sua produtividade obtendo maior lucro.

Silveira (1988) cita que um homem com equipamentos manuais consegue cultivar apenas 1,0 hectare (ha), com animais apenas 8,0 ha e, com motomecanização 80,0 ha.

Segundo Silva (2005) a escolha de determinado sistema de preparo deve levar em consideração as respostas da cultura e do solo, visando diminuir perdas por erosão, controle de plantas invasoras, melhorar a capacidade de retenção, a infiltração e a condutividade hidráulica, melhorando a qualidade física do solo.

Em alguns solos, a resistência à penetração (RP) atinge valores excessivamente elevados, e, nestes casos, alguns estudos demonstram a eficiência do revolvimento mecânico para controlar a compactação do solo (BUSSCHER, BAUER & FREDERICK, 2000, 2002).

Os resultados obtidos por Tormena et al. (2002) demonstram a redução da RP e o aumento da porosidade por meio da escarificação superficial do solo.

Com a mudança do preparo do solo do sistema convencional (manual) para o mecanizado, ocorreu na Agrovila o uso indiscriminado de implementos sobre o solo. Em 2010, nas viagens técnicas, observou-se “in loco” o uso inadequado da patrulha mecanizada, no preparo do solo destinado ao plantio das culturas sazonais na Agrovila Castelo Branco. Diante dos problemas levantados, observou-se o transporte do solo com matéria orgânica para as áreas mais baixas, expondo o sistema radicular da cultura na superfície, facilitando o acamamento pela ação do vento e da chuva, concorrendo para baixa produtividade do solo e o aumento da lâmina d’água superficial nos períodos chuvosos, favorecendo a erosão laminar.

Diante do exposto, os estudos para observação das características dos solos, destacando-se os atributos físico-hídricos, devem ser intensificados, permitindo melhores tomadas de decisões na forma de uso e manejo do solo dentro da produção agrícola, evitando a degradação da qualidade do mesmo viabilizando o seu uso a longo prazo.

1.1 – Problemática e hipótese

O processo de compactação do solo pode alterar a estrutura do solo, aumentar a sua densidade, diminuir a porosidade, reduzir a permeabilidade e alterar o padrão de crescimento radicular. Esse trabalho surgiu da necessidade de se testar a hipótese de que os solos da Agrovila Castelo Branco encontram-se compactados pelo uso intensivo e inadequado da mecanização ao longo dos anos.

A suposta compactação pode ser avaliada a partir de atributos físico-hídricos, tais como: densidade, porosidade, capacidade de campo, ponto de murchamento, água disponível, resistência a penetração, condutividade hidráulica e infiltração da água.

1.2 – Objetivo geral

O objetivo central foi avaliar os impactos da mecanização agrícola sobre os atributos físico-hídricos do solo agrícola da Agrovila Castelo Branco e propor aos agricultores, formas agroecológicas, de baixo custo, para minimizar os impactos ambientais causados no solo.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Contextualização

A região nordeste Paraense vem expandindo sua área de produção agrícola e pecuária, porém sem as devidas providências com os danos causados pela erosão do solo. Pesquisadores preocupados com o rápido depauperamento dos solos agrícolas, a necessidade do aumento da produtividade das culturas e redução no custo da produção, iniciaram estudos em busca de sistemas de preparo de solo que apresentassem maiores rendimentos, menores custos, que fossem mais eficientes no controle da erosão, que causassem menor compactação e menor influência nos fatores físico-hídricos do solo.

O solo da região nordeste paraense apresenta diferentes classes texturais, são também contrastantes na sua capacidade de uso, pois as peculiaridades do seu manejo não poderão ser semelhantes. Torna-se importante a avaliação de cada tipo de solo para condicionar um melhor aproveitamento do mesmo. Assim, diante da análise de todos os fatores combinados de diferentes maneiras, percebe-se como pode diferir grandemente o tipo de uso do solo (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2012).

Vieira (1971), em pesquisa nos solos do nordeste paraense constatou como predominante o Latossolo Amarelo da classe textural franco-arenosa, apresentando em seu horizonte A, 15% de areia grossa, 42 a 44% de areia fina, 30% de silte e 11 a 13% de argila total.

No nordeste paraense, de maneira geral, o trânsito e o peso de máquinas e implementos agrícolas causam compressão no solo que implica na alteração do volume natural do solo, resultando no aumento da densidade do solo e diminuição da porosidade. Estas alterações têm efeito direto no aumento da resistência ao crescimento do sistema radicular das plantas, na diminuição da aeração, e na diminuição da infiltração de água no solo.

Medina (1994) em pesquisa desenvolvida em Latossolo Amarelo de textura muito argilosa da Estação Experimental da EMBRAPA, no Estado do Amazonas, verificou que a operação de limpeza mecânica, ou manual, não causou modificações profundas na estrutura do solo, capazes de interferir na sua produtividade futura. Porém, a operação de enleiramento mecanizado, efetuada em período chuvoso, provocou compactação mais acentuada, atingindo um valor crítico, expresso por uma velocidade de infiltração básica (VIB) de 1,4 mm/h. O autor encontrou diferenças significativas entre o preparo mecanizado e o preparo manual.

2.2 - Condutividade hidráulica do solo

O conhecimento da condutividade hidráulica do solo também é de fundamental importância para a determinação do fluxo de água nos solos, bem como para a quantificação da erosão. Ela reflete a capacidade do mesmo em conduzir água. Quanto maior for o valor de condutividade, maior a facilidade com que a água se movimenta no solo, sendo o valor máximo quando o solo está saturado (RIBEIRO, 2005). Segundo Silva (2003) a condutividade hidráulica é influenciada pela quantidade e qualidade de poros no solo.

No início o homem usava o fogo como forma de amenizar os custos, em seguida usava o solo no máximo dois anos e o abandonava para que a natureza o recuperasse, com este propósito desmatava, queimava e produzia para sua sobrevivência. À medida que o homem teve a necessidade de adquirir bens de consumo, houve urgência em elevar a produção para gerar recursos, então passou a usar a mesma área por alguns anos, com isto adotou o uso de máquinas e implementos tais como: trator, arado, grade aradora e niveladora, roçadeira de tração e arraste, cultivador e subsolador, usados em solos com características físicas que as desconhecia, causando elevação na densidade do solo, vindo a torná-lo sujeito ao processo de compactação, resistência à penetrabilidade das raízes, redução na taxa de infiltração, na capacidade de campo, elevação do ponto de murchamento das culturas e exposição do solo à erosão.

2.3 – Porosidade do solo

Segundo Libardi (2005), a porosidade do solo trata-se de um índice que quantifica a fração do volume do solo ocupada pelos poros. Esta característica está inversamente relacionada com a densidade do solo, isto é, quanto maior essa densidade, menor a porosidade. Os poros do solo são classificados em termos de diâmetro de poro, pois, em física do solo, se define tamanho de poro como o diâmetro da maior esfera inscrita no interior do espaço ocupado pelo poro, podendo ser denominado: macroporo ($\varnothing \geq 0,05$ mm) e microporo ($\varnothing < 0,05$ mm).

Para a caracterização físico-hídrica do solo, a avaliação da porosidade total é de extrema importância. Pois é no volume de espaços vazios existentes entre as partículas individuais e agregados que se forma a porosidade do solo, e esta determina a capacidade dele de armazenar e transmitir líquidos e gases, por conseguinte, no comportamento agrícola e geotécnico dos mesmos, faz-se necessário o manejo adequado para conservação e/ou aumento deste volume (OLIVEIRA, 2011).

O volume total de um solo é constituído pelo seu volume de partículas minerais e orgânicas e pelo volume de poros entre as partículas, o volume de poros é ocupado com água e ou/ar. O solo está compactado quando a proporção do volume de poros é pequena em relação volume total do solo, encontrando-se inadequado ao máximo desenvolvimento de uma cultura (SILVA, 2005).

A porosidade é o termo de maior significado na discussão da compactação do solo, sendo a relação entre o volume de ar e água disponível para as raízes das plantas e o volume total de solo.

A presença de maior volume de microporos no perfil do solo permite retenção da água com mais força, predominando a retenção da água por adsorção e a condutividade capilar, enquanto a infiltração e o arejamento (trocas gasosas) diminuem. Já em macroporos a água retida é facilmente removida pela própria gravidade (RESENDE et al., 2007).

A perda da porosidade no solo pode ser provocada pela redução do teor de matéria orgânica, pela compactação e pelo efeito do impacto das gotas de chuva, fatores esses que provocam uma diminuição no tamanho dos agregados maiores, reduzindo, em consequência, o tamanho dos poros. Em contrapartida, existem práticas que melhoram a estrutura, consequentemente melhorando a aeração do solo, como rotação de culturas (leguminosas e gramíneas) e a manutenção da matéria orgânica por meio da incorporação de restos culturais (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2012).

2.4 - Compactação do solo

A compactação ocorre quando há uma pressão no solo quebrando seus agregados, aumentando a densidade global. Na quebra dos agregados, ocorre a redução dos poros, acarretando a diminuição da troca de oxigênio e dióxido de carbono, limitação do movimento de nutrientes na água e diminuição da taxa de infiltração de água no solo. Suas causas mais comuns incluem drenagem mal feita, excessivo preparo do solo, sistema intensivo de exploração de culturas, operação inadequada no campo e o tipo de implemento agrícola utilizado (SILVEIRA, 1988).

A compactação do solo reduz a produtividade das culturas, porque causa a degradação da qualidade física do solo, diminui o desenvolvimento radicular e a disponibilidade de água, oxigênio e nutrientes às plantas (SILVEIRA NETO et al., 2006).

Uma alternativa para que não ocorra à compactação seria a adoção de sistemas de rotação de culturas que contemplem plantas com elevado potencial de produção de biomassa e

caracterizadas por possuírem sistemas radiculares abundantes, profundos e agressivos (FRANCHINI et al., 2012; SILVEIRA NETO et al., 2006).

As regiões brasileiras, diferentes em cultura, topografia, relevo, áreas cultivadas, educação e condições sócio-econômicas da população, por essas condições, a mecanização deve seguir um padrão pré-estabelecido, conforme as propriedades físicas e uso do solo, porém, cada região adota a maneira mais adequada, baseada no senso comum da região.

Segundo Silva (2005) desde os mais remotos tempos, as operações de mecanização têm sido realizadas com a finalidade de oferecer às sementes, que serão cultivadas, as condições que teoricamente seriam as melhores para o seu desenvolvimento. Não se deve esquecer, todavia, que as modernas técnicas de semeaduras diretas têm demonstrado que, para determinadas condições de solo, clima e culturas, são possíveis de obter uma produtividade tão boa ou, em alguns casos, até melhor que com os métodos tradicionais em preparo do solo e semeadura.

De qualquer forma o preparo periódico do solo continuará a ser feito para as culturas em condições onde não existe a possibilidade de utilização de técnicas de semeadura direta (mobilização do solo somente na linha de plantio). O preparo do solo compreende um conjunto de técnicas que, quando usadas racionalmente, podem permitir alta produtividade das culturas. Irracionalmente utilizadas, as técnicas de preparo podem levar a destruição do solo em poucos anos, pelo seu uso intensivo ou conduzir paulatinamente a degradação física, biológica ou química, diminuindo em maior ou menor grau, seu potencial produtivo. A agricultura atual depende da tecnologia disponível no mercado para atingir bons resultados produtivos e econômicos. Nesse processo a escolha de implementos a serem utilizados é de maior importância.

Para Silva (2005), as máquinas e implementos utilizados, na medida do possível devem exigir o mínimo esforço com máximo rendimento das operações. Isto é influenciado pela escolha do equipamento apropriado, seu projeto, regulagem, manutenção, trabalho dentro da faixa apropriada de umidade, velocidade compatível com a operação e produtividade de trabalho da máquina.

2.5 – Textura do solo

Uma outra variável importante na compactação do solo é a textura. Solos compostos por partículas do mesmo tamanho são menos suscetíveis ao processo de compactação, quando comparadas com aqueles que ocorrem à mistura de argila, silte e areia. Isto se deve ao fato que partículas de tamanho diferentes quando sofrem pressão se arranjam e preenchem os

poros. O volume de poros destruídos por compactação, por um implemento, é igual ao volume do sulco produzido por esse equipamento (SILVEIRA, 1988).

A textura de um solo só pode ser alterada ao longo do tempo pela ação da erosão, deposição e intemperismo. Práticas de manejo geralmente não alteram a classe textural de um solo. A textura só pode ser alterada pela mistura de outros tipos de solo com classe textural diferente (SILVA, 2010).

2.6 - Retenção de água pelo solo

A retenção de água pelo solo dentro de uma proporção água e ar chama-se capacidade de campo (CC), com tensão de 0,10 atmosfera para solo arenoso e 0,33 atmosfera para solo argiloso. Quando a água no solo baixa a níveis em que a planta não consegue absorvê-la devido a adsorção pelas partículas, o solo entra em ponto de murchamento (PM), com tensão de 15 atmosferas, independente da textura. A diferença entre CC e PM resulta na água disponível (AD) que consiste na disponibilidade de água para as plantas, que sofre variação com a textura, estrutura, densidade do solo, porosidade total, índice de matéria orgânica e profundidade das camadas do solo (MANTOVANI, BERNARDO & PALARETTI, 2009).

Pesquisa conduzida na mesorregião do Nordeste paraense, em Latossolo Amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo, mostrou que os sistemas de manejo do solo afetaram os atributos físicos e químicos do solo, demonstrando que o plantio convencional (PC) apresentou menor macroporosidade e o plantio direto (PD) apresentou maior água disponível na superfície pelo aumento da matéria orgânica (PEDROSO, 2015).

Os solos arenosos possuem em torno de 15% de argila e maior proporção de areia o que condiciona a formação de macroporos. Solos argilosos com percentual de argila acima de 20%, permitem sua estruturação, resultando em maior quantidade de microporos. Esses solos podem sofrer variações físico-hídricas conforme o uso e manejo. Com as variações da temperatura e evapotranspiração, a irrigação torna-se essencial para regularizar a água disponível (AD) para as plantas, porém, deve-se evitar o uso da mecanização em solos com elevada umidade. Quando isso ocorre, as partículas do solo aderem nos discos dificultando o deslocamento, exigindo maior potência do trator, elevando o custo por hectare preparado (LOPES, 2009).

2.7 - Matéria orgânica

A matéria orgânica do solo, atuando como fonte primária e reserva de nutrientes para as plantas, desempenha um papel vital na fertilidade do solo e, conseqüentemente, na

produtividade das culturas (SILVA, 2010). Segundo o mesmo autor, nos trópicos, esse papel torna-se ainda mais importante, pois a maioria dos solos apresenta mineral de argila de baixa atividade, nestas condições a matéria orgânica passa a ter grande importância na retenção de nutrientes catiônicos. Deve-se ressaltar ainda o papel da matéria orgânica nos processos físicos do solo, promovendo a melhoria da estrutura e influenciando a aeração e a retenção de água, enquanto a presença de óxido de ferro e outros minerais elevam a densidade (LOPES, 2009).

Segundo Miller et al. (1972) citado por Carvalho, Costa & Veloso (1997) a substituição da mata nativa dos trópicos úmidos por culturas, acarreta uma diminuição de aproximadamente de 75% da matéria orgânica dos solos devido o sistema de preparo com mobilização de solo. A diminuição é devido à melhoria na aeração do solo.

A matéria orgânica tem influência direta e/ou indireta sobre os atributos do solo, provocando nítidas modificações nas características e propriedades físicas e químicas, isoladamente ou em conjunto (COSTA, 1983).

3 - METODOLOGIA

3.1 - Características da área de estudo

Castanhal tem altitude média de 41m acima do nível do mar, com área de 1.029,191 Km², e população estimada de 186.896 habitantes, sendo o 5º mais populoso município do estado do Pará, o 11º da Região Norte do Brasil e o 154º do País, com IDH médio de 0,673, sendo o 8º do Pará (PNUD, 2012).

O clima da região é do tipo Afi, segundo classificação climática de Köppen, com médias de temperatura anual, precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar, de 33 °C, 2.400 mm, e 90%, respectivamente. A estação mais chuvosa ocorre de dezembro a maio e, a menos chuvosa, de junho a novembro (SANTOS, SILVA & COSTA, 2006).

Esta pesquisa foi conduzida no período setembro de 2015 a julho de 2016 na Agrovila Castelo Branco, Município de Castanhal, nas proximidades do ponto com as coordenadas geográficas: 01° 17' 49" S e 47° 55' 19" W. Os dados foram coletados na propriedade do Senhor Tarcisio Alves Pinheiro, e solo trabalhado com implementos pesados (arado, grade aradora, pulverizador) durante 20 anos e em solo de área de mata, situados no Km 22 da PA-Castanhal-São Domingos do Capim (**Figura 1**).

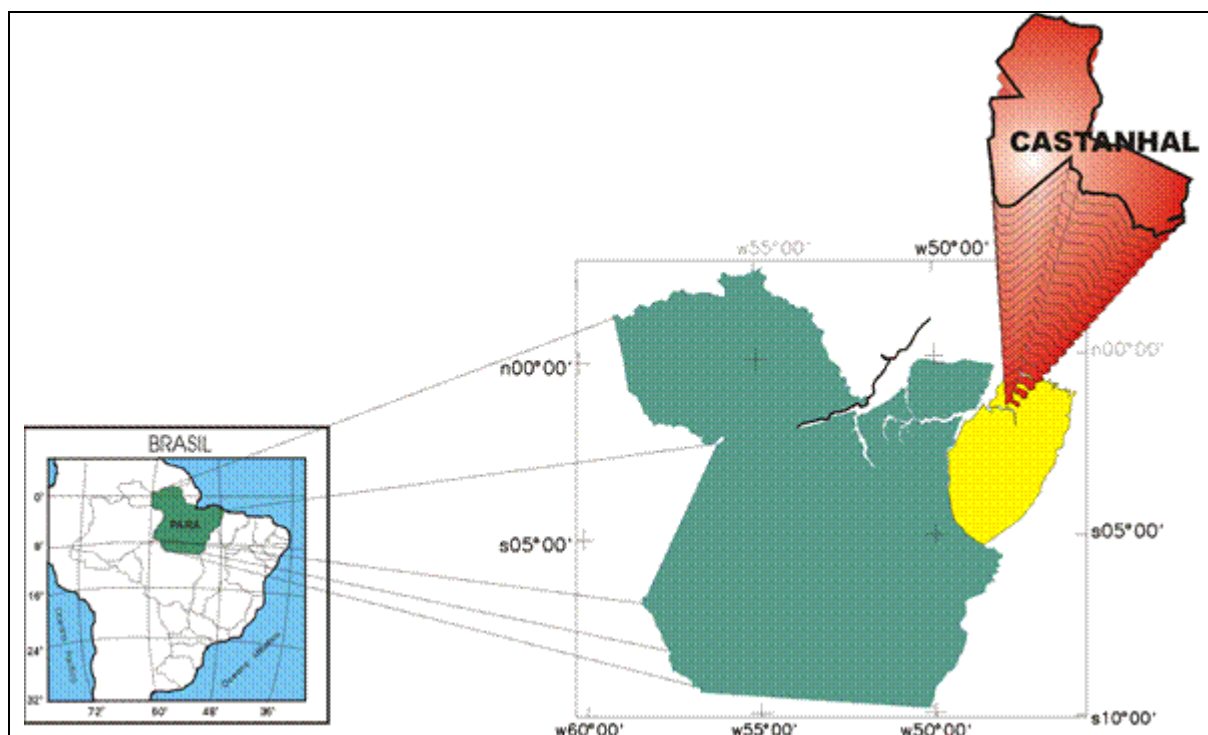


Figura 1 - Localização de Castanhal no nordeste paraense (Fonte: Google Maps)

3.2 – Descrição da área de estudo

O solo estudado se encontra sob duas formas de uso, uma ‘cultivada’ e outra ‘mata secundária’ (**Figuras 2 e 3**). A área cultivada corresponde a 8,5 hectares e a área de mata secundária, 16,5 hectares, totalizando 25 hectares de dimensões 500m x 500m, divididos em 6 subáreas distribuídas e exploradas conforme Quadro 1.



Figura 2 - Detalhe da área cultivada (Fonte: Acervo próprio)



Figura 3 - Detalhe da área de mata secundária (Fonte: Acervo próprio)

Quadro 1 – Formas de uso e distribuição das subáreas da propriedade estudada

Formas de uso (exploração)	Subárea (hectares)
Mata secundária ¹ . Área destinada a conservação florestal formada por mata secundária. A floresta secundária (capoeira) utilizada a 20 anos, da qual foram retiradas as espécies de valor econômico, existindo a presença de árvores remanescentes da mata original, com diâmetro à altura do peito (DAP), variando de 5 cm a 30cm, com possibilidade de exploração após avaliação do volume de madeira comercial. A composição florística está relacionada no Quadro 2.	16,50
Acácia manjo (<i>Acacia mangium</i>) no espaçamento 4m x 4m.	1,00
Pimenta do reino (<i>Piper nigrum</i>) no espaçamento 2,5m x 2,5m produzindo 4 a 5kg de pimenta preta por pé, mamão (<i>Carica papaya</i>) no espaçamento 1,5m x 1,5m e citros no espaçamento 6m x 6m com produção média de 1000 frutos por pé. A produção excedente é destinada ao mercado de Castanhal. As culturas são adubadas com matéria orgânica resultante da criação de frangos e suínos	1,00
Citros ² em plena produção no espaçamento de 5m x 5m.	1,50
Rotação e escalonamento de culturas. Exploração de culturas sazonais: arroz (<i>Oriza sativa</i>) com produtividade média de 1.100 kg/ha, milho (<i>Zea mays L</i>) no espaçamento de 1,00m x 0,40m com produtividade média de 300 a 700 kg/ha, feijão caupí (<i>Vigna unguiculata</i>) com produtividade média de 800 kg/ha, mandioca (<i>Manihot esculenta</i>) com produtividade média de 20.000 kg/h destinadas às agroindústrias implantadas na região, para a produção de fécula, tucupi, farinha de tapioca e farinha seca. Adubação com N-P-K 10-28-20 e 10-30-20. Rotação de cultura e escalonamento de culturas com assistência da Emater-PA.	2,00
Usos diversos: (residência, avicultura elevada com 500 aves, suinocultura com galpão de 10m x 3m; com divisórias para reprodutor, matrizes e terminação; tanque de piscicultura de 4m x 3m com criação de peixe, alimentado com ração e destinado à comercialização; criação de pato extensivo em cercado, utilizando a margem do rio para refrescamento dos animais; forno para produção de carvão.	3,00
Total	25,00

O preparo do solo para o plantio das culturas é feito mecanizado com grade aradora, sem queima, sendo a vegetação incorporada com o mesmo implemento. Para redução da acidez é usado calcário dolomítico, enriquecido com magnésio, com PRNT = 80%, na dosagem de 1,0 t/ha, sem base em análise química de solo, incorporado com grade aradora.

As capinas são manuais com o uso de enxada, a área não possui período de pousio. Após a retirada da mandioca, volta novamente o plantio das culturas citadas no quadro acima, incluindo melancia e abóbora.

¹ Subárea selecionada para a pesquisa

² Subárea cultivada selecionada para a pesquisa

Quadro 2. Espécies que compõem a floresta secundária

Nome comum	Nome Científico
Envira fofa	<i>Anona paludosa</i>
Envira preta	<i>Pollinia exucca</i>
Imbaúba vermelha	<i>Cicropia palmata</i>
Jatereu	<i>Lecythis idatimon</i>
Lacre	<i>Vismia guianensis</i>
Louro preto	<i>Nectandra cuspidata</i>
Matamatá	<i>Eschweilera sp</i>
Matamatá branco	<i>Eschweilera odorata</i>
Matamatá preto	<i>Eschweilera glandiflora</i>
Muruci da mata	<i>Byrsonima densa</i>
Sapucaia	<i>Lecythis pisonis</i>
Tamanqueira	<i>Zanthoxylum rhoifolia</i>
Tapiririca	<i>Tapiria guianensis</i>
Tauari	<i>Couratari sp.</i>

3.3 - Coleta e processamento das amostras de solo

As coletas de amostras para fins de caracterização e análises físico-hídricas e químicas dos solos, foram realizadas na área cultivada com ‘citros’, correspondente a 1,5 ha, a qual se encontrava infestada de plantas daninhas bem como na área de ‘mata’, dentro de um perímetro de 1,0 ha.

Nas duas áreas estudadas (‘cultivada’ e ‘mata’) foram feitas as amostragens dentro do perímetro e em duas profundidades (0-20 cm e 20-40 cm). As amostras foram coletadas, aleatoriamente e seguindo um caminhar em zigue-zague (AZEVEDO, 2000), sendo 10 repetições/área/profundidade, perfazendo 40 amostras indeformadas. As amostras indeformadas foram coletadas com auxílio de trado e cilindro de aço, tipo Kopecky, com volume conhecido (98,175 cm³).

As amostras destinadas à análise textural e caracterização química foram processadas e analisadas no Laboratório de Análises Física e Química de Solos do IFPA Castanhal. Para tal seguiram-se os procedimentos contidos no manual de métodos de análises de solo (DONAGEMA et al., 2011).

3.4 - Características físico-hídricas e químicas dos solos estudados

3.4.1 - Matéria orgânica e caracterização textural das áreas de estudo

Os resultados da matéria orgânica (M. Org) e a caracterização granulométrica dos solos estão apresentados na Tabela 1.

A classificação taxonômica do solo da Agrovila Castelo Branco enquadra-se como Latossolo Amarelo Distrófico, apresentando médias elevadas de areia nos horizontes A e B com maiores médias de argila no horizonte B das áreas cultivada e mata secundária, caracterizando alta relação textural (**Tabela 1**).

A textura foi determinada nas profundidades de 0 a 20cm e 20 a 40cm em área cultivada e área de mata pelo método da pipeta. De posse dos teores das frações granulométricas foi utilizado o diagrama de classificação textural (USDA) para definição da textura do solo (JORGE, 1983).

Tabela 1 – Teor de matéria orgânica e caracterização textural dos solos das áreas pesquisadas.

Profundidade (cm)	Forma de uso	M.Org	Argila (dag kg ⁻¹)	Silte	Areia	Textura
0 – 20	Cultivada	0,38	8,8	4,8	86,4	Areia franca
	Mata	0,55	6,2	1,4	92,4	Arenosa
20 – 40	Cultivada	0,38	15,5	1,4	83,1	Franco arenoso
	Mata	0,45	9,5	1,5	89,0	Areia franca

Fonte: Laboratório de Análises Física e Química de Solos do IFPA Castanhal

3.4.2 - Relevo das áreas de estudo

A declividade das áreas pesquisadas, calculadas a partir da Equação 1, foi determinada no sentido morro abaixo utilizando de nível de mangueira. A declividade calculada com nível de mangueira foi de 2,72 % na ara ‘cultivada’ e 3,48% na área de ‘mata’ (Tabela 2), classificado como suave ondulado (2 a 5%) segundo INCRA (2006).

$$d = \frac{EV}{EH} 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

d = Declividade do terreno (%);

EV = Espaço vertical ou diferença de nível (m);

EH = Espaço ou distância horizontal (m).

Tabela 2 – Relevo das áreas pesquisadas.

Forma de uso	Declividade (D%)	Classificação
Cultivada	2,72	Suave ondulado
Mata	3,48	Suave ondulado

3.4.3 - Caracterização química das áreas de estudo

Os resultados das análises químicas dos solos estão apresentados na **Tabela 3**.

É um solo de baixa fertilidade química, apresentando-se fortemente ácido, com valores elevados de alumínio trocável, baixo teor de fósforo, potássio, cálcio e médio de magnésio. Solos com pH até 4,5 possuem assimilação baixa de Nitrogênio 20%, Fósforo 30%, Potássio 30%, Enxofre 40%, Cálcio 20% e Magnésio 20% (VALENTE, 2001).

Tabela 3 – Caracterização química dos solos das áreas pesquisadas.

Prof. (cm)	Forma de uso	pH	N dag/kg	P mg dm ⁻³	K*	Ca	Ca+ g cmol dm ⁻³	Mg	Al	H+Al
0 – 20	Cultivada	4,47	0,48	2,00	0,06	0,95	1,60	0,65	1,10	3,63
	Mata	4,40	0,47	1,00	0,06	0,70	1,95	1,25	1,15	3,80
20 – 40	Cultivada	4,68	0,20	1,00	0,06	0,60	1,78	1,18	1,13	2,83
	Mata	4,44	0,31	1,00	0,06	0,48	1,75	1,27	1,25	3,60

Fonte: Laboratório de Análises Física e Química de Solos do IFPA Castanhal; * Laboratório Agropecuário da Amazônia – LABAM.

Pelos dados da **Tabela 3**, nota-se que o solo da Agrovila Castelo Branco é um solo de baixa fertilidade química, apresentando-se fortemente ácido, com valores elevados de alumínio trocável, baixo teor de fósforo, potássio, cálcio e médio de magnésio. Para Valente (2001) solos com pH até 4,5 possuem baixa assimilação pelas plantas: nitrogênio 20%, fósforo 30%, potássio 30%, enxofre 40%, cálcio 20% e magnésio 20%.

3.5 – Variáveis avaliadas

3.5.1 - Densidade do solo (ds)

Determinou-se a densidade do solo da Agrovila Castelo Branco através do método do anel volumétrico (Figura 4), utilizando-se amostras com estrutura indeformada, coletadas em cilindros ou anéis de aço de Kopecky (H = 5cm; D = 5cm) de volume igual a 98,175 cm³ (EMBRAPA, 2011). Foram coletadas um total de 40 amostras, sendo 20 amostras por sistema, ou seja 10 amostras na profundidade de 0 a 20 cm e 10 amostras na profundidade de 20 a 40 cm de cada área.

$$ds = \frac{m}{V} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

ds = densidade do solo (g cm⁻³);

m = massa do solo seco (g);
 V = volume do solo (cm^3).



Figura 4 - Amostra indeformada para determinação da densidade do solo. (Fonte: Albuquerque & Magalhães, 2016)

3.5.2 - Densidade das partículas (dp)

Para a densidade das partículas, de cada área ('cultivada' e 'mata') foram retiradas 10 amostras de solo, sendo 5 amostras de 0 a 20cm de profundidade, e 5 amostras de 20 a 40cm.

Em laboratório, as amostras foram colocadas em latas de alumínio de massa conhecida e levadas à estufa a 105 °C por 12 horas. Posteriormente foram dessecadas e pesadas para obtenção da massa da amostra seca. A densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico, usando 20 gramas de solo seco transferido para um balão volumétrico de 50ml, completado com álcool etílico, seguido por pequenos movimentos para eliminar as bolhas de ar (**Figura 5**), sendo os resultados calculados a partir da equação 3.



Figura 5 - Método do balão volumétrico para determinação da densidade de partículas do solo. (Fonte: Albuquerque & Magalhães, 2016)

$$dp = \frac{Ms}{50 - V} \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que:

dp = densidade de partículas (g cm^{-3});

Ms = massa da amostra seca a 105°C (20 g);

V = volume de álcool etílico gasto (cm^3);

50 = Volume de álcool etílico colocado na bureta (cm^3).

3.5.3 – Porosidade total (P)

A determinação da porosidade total do solo (água e ar) foi determinada pela equação 4, descrita em Donagema et al. (2011) e Libardi (2005):

$$P = \frac{dp - ds}{dp} 100 \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que:

P = Porosidade total (%);

dp = densidade de partícula (g cm^{-3});

ds = densidade de solo (g cm^{-3}).

3.5.4 – Capacidade de campo (CC) e ponto de murchamento (PM) pelo método de laboratório

A capacidade de campo foi definida em laboratório com uso do extrator de Richards. As amostras foram submetidas a potencial de -0,1 bar no extrator de Richards, seguindo recomendações de Bernardo, Soares & Mantovani (2008).

Para a determinação do ponto de murchamento permanente as amostras foram submetidas à pressão de 15 bar em extrator de Richards, pressão a qual a umidade remanescente representa o teor de umidade respectivo ao ponto de murchamento permanente do solo (REICHARDT, 1988). Igualmente à CC, a umidade foi determinada pelo método padrão da estufa no laboratório de solos do IFPA Castanhal.

As umidades (CC e PMP) foram determinadas pelo método padrão da estufa, em base gravimétrica, ou seja, umidade em base de solo seco (U_{ss}) (Eq. 5) no laboratório de solos do IFPA Castanhal (**Figura 6**).

$$U_{ss} = \frac{msu - mss}{mss} 100 \quad (\text{Eq. 5})$$

Em que:

U_{ss} = umidade gravimétrica (%)

msu = massa de solo úmida (g)

m_{ss} = massa de solo seca (g)



Figura 6 - Aparato para determinação da capacidade de campo e ponto de murchamento do solo.
(Fonte: Albuquerque & Magalhães, 2016)

3.5.5 – Água disponível (AD)

Os valores de água disponível foram calculados pela diferença entre os valores de CC (-0,1 bar) e PMP (-15 bar) determinados pelo método de laboratório (Eq. 6).

$$AD = CC - PMP \quad (\text{Eq. 6})$$

Em que:

AD = água disponível (% peso)

CC = capacidade de campo (% peso)

PMP = ponto de murchamento permanente ((% peso)

3.5.6 – Resistência do solo à penetração (RP)

Nos mesmos pontos de coletas de dados dos atributos anteriores, mediu-se a resistência do solo à penetração, também chamada de índice de cone, utilizando de um penetrômetro de solos com anel dinamométrico. As medições de resistência foram realizadas na superfície do solo e a 30cm de profundidade.

Foram coletadas um total de 40 leituras, sendo 20 amostras por sistema, ou seja 10 amostras na superfície de solo (0 cm) m e 10 amostras na profundidade de 30 cm de cada área.

O penetrômetro é usado na medida da tensão admissível dos solos, trabalha na escala de 0 a 100 Kgf, medidos por um anel dinamométrico, o que lhe confere maior exatidão. Possui uma maçaneta dupla (guidão), uma ponta cônica removível (cone de penetração) em aço

tratado e 3 hastes prolongadoras rosqueáveis, acondicionados em estojo de madeira (**Figura 7**).



Figura 7 – Penetrômetro de solos com anel dinamométrico (Fonte: Solotest, 2016)

3.5.7 – Infiltração acumulada (Ia) e Condutividade hidráulica ($K(h_0)$)

Para a determinação da condutividade hidráulica do solo não saturado na superfície do solo foi utilizado o mini infiltrômetro de disco (**Figura 8**). O infiltrômetro de base de 5 cm de diâmetro foi colocado sobre o solo, tendo uma camada de areia fina para garantir bom contato hidráulico entre o disco e o solo. As leituras foram realizadas de 30 em 30 segundos, iniciando do 0 (zero) até 300 segundos (5 minutos), tempo suficiente para atingir a infiltração constante, sendo o equipamento ajustado para uma sucção (h_0) igual a 2,0cm.

Em duas profundidades de cada área (superfície do solo e a 20 cm) foram realizados 3 testes em pontos representativos e as leituras, registradas em planilhas apropriadas (Apêndice 1) para o calcula da lâmina infiltrada (IA).

Foi definida a equação da infiltração acumulada (IA) em função do tempo, construída a partir das médias de infiltração dos 3 testes, sendo determinado também o coeficiente de determinação (R^2) de cada curva.

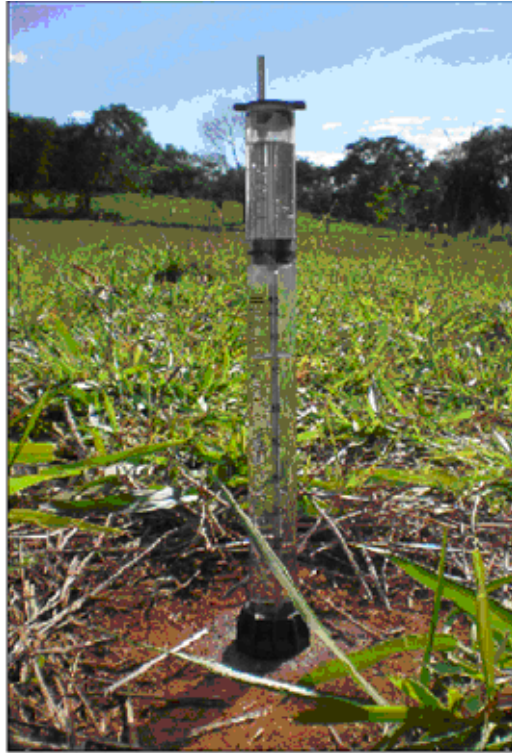


Figura 8 – Mini infiltrômetro a disco. (Fonte: Costa, 2010)

O processo de infiltração a partir do infiltrômetro de disco, para qualquer tempo de infiltração, é descrito por um modelo proposto por Zhang (1997) conforme a Equação 7:

$$IA = C_1 t + C_2 \sqrt{t} \quad (\text{Eq. 7})$$

Em que:

IA = infiltração acumulada (cm);

C_1 (cm s^{-1}) e C_2 ($\text{cm s}^{-1/2}$) = parâmetros relacionados à condutividade hidráulica $K(h_0)$ do solo e à sorvidade $S(h_0)$, respectivamente.

A condutividade hidráulica ($K(h_0)$) foi determinada a partir de dados de infiltração acumulada, utilizando-se a equação 8:

$$K(h_0) = \frac{C_1}{A} \quad (\text{Eq. 8})$$

Em que:

$K(h_0)$ = condutividade hidráulica (cm s^{-1})

C_1 = constante obtida no gráfico de infiltração acumulada;

A = um valor relacionado a um parâmetro de Van Genuchten (1980), para determinado tipo de solo e de sucção utilizada no infiltrômetro de disco durante o processo de infiltração (Apêndice A2).

Tabela 4 - Caracterização hidrodinâmica dos solos das duas áreas em duas profundidades.

Uso	Camada	Textura	α	η	C_1	A	$K(h_0)^*$ $mm\ h^{-1}$
Cultivada	Superfície	Areia franca	0,124	2,28	0,0014	2,4286	20,75
	20 cm	Franco Arenosa	0,075	1,89	0,0016	3,9099	14,73
Mata	Superfície	Arenosa	0,145	2,68	0,0065	1,7279	135,42
	20 cm	Areia franca	0,124	2,28	0,0007	2,4286	10,38

*A $K(h_0)$ foi obtida a partir da Equação 8 e convertida para $mm\ h^{-1}$. Os parâmetros de van Genuchten (α , η , A) constam no Apêndice A2.

3.6 – Tabulação do dados

Os dados foram tabulados em planilhas eletrônicas de Excel (Apêndice A3) para análises estatísticas posteriores bem como para a confecção de gráficos.

3.7 - Delineamento estatístico

Para fins de análise estatística foi adotado o arranjo fatorial 2x2 sendo dois sistemas ('cultivado' e 'mata') e duas profundidades ($P_1 = 0$ a 20 cm e $P_2 = 20$ a 40cm). Aplicou-se o teste 'F' para análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey, a 5% de probabilidade, para comparação das médias dos fatores.

Empregou-se o software ASSISTAT (SILVA & AZEVEDO, 2009) para realização das análises estatísticas.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

O solo é a maior riqueza de uma propriedade rural. É a fábrica que vai produzir os grãos e os frutos que vão ser utilizadas na alimentação de animais e pessoas, assim como na propagação de espécies vegetais. A terra não se deteriora apenas pelo descuido ou pelo desmatamento, ela também se degrada pelo mal uso de equipamentos na preparação do solo para uma cultura, podendo trazer problemas futuros (SILVEIRA, 1988; BAENA, 1994). Dentre os parâmetros físicos do solo mais afetados pela ação antrópica destacam-se a densidade do solo e a porosidade total (FERREIRA, TAVARES FILHO & FERREIRA, 2010). Os resumos das análises de variância (ANOVA) assim como as médias das variáveis estudadas constam nos Apêndices 4 a 9.

4.1 - Densidade do solo (ds)

A densidade do solo (ds) expressa a relação entre a massa de amostra de solo seco em estufa a 105 °C durante 24 horas, e o volume dessa amostra em g cm^{-3} (LOPES, 2009).

A densidade do solo de uma propriedade é relativamente instável, variando de solo para solo e dentro de um mesmo solo, em função principalmente do grau de compactação, do teor de matéria orgânica, da ausência ou presença de cobertura vegetal, do sistema de cultivo empregado e da profundidade (BRADY, 1989).

O resumo da análise da variância para a variável densidade do solo (ds), em função dos fatores estudados, Sistema (S) e Profundidade (Pr) bem como para a Interação (S x Pr) estão contidas na **Tabela 5**, onde se observa que houve efeito altamente significativo dos dois fatores ‘S’ e ‘Pr’ entretanto não houve efeito significativo para a interação entre os fatores. A ausência de interação indica que os fatores ‘sistema’ e ‘profundidades’ tiveram efeitos isolados ou independentes, ou seja, o efeito de um fator não interferiu no efeito do outro fator.

Ferreira (2004), em estudos sobre a densidade em solos da EAF Castanhal (hoje IFPA Castanhal) sob diferentes formas de uso, também observou valores menores para densidade aparente nas áreas de Mata e de SAF em comparação com as áreas de cultivos anuais (arroz, caupi, milho e mandioca) sob preparo mecanizado, na profundidade de 0-20 cm. Assim como também observou que na camada de 20-40 cm, das áreas cultivadas, o solo apresenta uma compactação (densidade em torno de $1,70 \text{ g cm}^{-3}$), valores acima dos encontrados na presente pesquisa. Em estudo similar mais recente, Albuquerque & Magalhães (2016) também verificaram resultados semelhantes e concluíram que a camada de 20-40cm, comparada a de 0-20cm, apresentou maiores valores de densidade global.

Ao se analisar a **Figura 9A** onde está representado o desdobramento da variável em discussão, constata-se, de fato, que não houve interação significativa, pois as médias da ‘ds’ não diferiram entre ‘sistemas’ tampouco entre ‘profundidades’ ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Porém, nota-se que na camada mais subsuperficial (20–40 cm) tem maior densidade global, ocorre tendência de apresentar maior densidade quando compara à camada superficial. Esse resultado é esperado, pois os solos da região têm um adensamento natural no horizonte B.

Quando se compara o fator sistema (**Figura 9A**) não se observaram diferenças significativas entre área ‘cultivada’ e área de ‘mata’. Estudos efetuados no nordeste paraense em diferentes solos têm mostrados que o horizonte B pode apresentar densidade elevada em condições naturais.

Tabela 5 - Resumo da análise de variância para a variável densidade do solo (ds), densidade das partículas (dp) e porosidade total (P), em função dos fatores estudados, Sistema (S) e Profundidade (Pr).

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio (Variância)		
		ds (g cm ⁻³)	dp (g cm ⁻³)	P (%)
Sistema (S)	1	0,0740**	0,0021 ^{NS}	95,1414 ^{NS}
Profundidade (Pr)	1	0,4244**	0,0664 ^{NS}	388,0667**
Interação (S x Pr)	1	0,0123 ^{NS}	0,0013 ^{NS}	35,8534 ^{NS}
Resíduo	36	0,1475	0,0220	25,1682
CV(%)	--	6,40	5,95	11,89

NS = efeito não significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F

* = efeito significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F

** = efeito significativo ao nível de 1 % de probabilidade pelo teste F

A compactação está ligada, provavelmente ao efeito dos implementos, arado e grade pesada. Segundo Cavenage et al. (1999) a densidade do solo em condições naturais se eleva com a profundidade do solo, considerando a diminuição do teor de matéria orgânica e o peso das camadas de solo subjacentes.

Oliveira Junior et al. (1997) observaram em trabalhos desenvolvidos na Mesorregião Nordeste do Pará, que até mesmo em ecossistema natural, há um adensamento do horizonte B, causado pela evolução de um material endurecido de composição granulométrica variável, causando a desestabilização do complexo organo-mineral, a migração de argila e a obstrução dos macroporos.

A maioria dos autores considera que variações na ‘ds’ entre 1,00 e 1,30 g cm⁻³ não oferecem impedimento mecânico ao desenvolvimento do sistema radicular, sendo estes

valores considerados como os ideais para a maioria dos solos. Valores de densidades a partir de $1,60 \text{ g cm}^{-3}$ indicam um estado de compactação desfavorável ao crescimento das plantas. No presente estudo encontraram-se valores muito próximos de $1,60 \text{ g cm}^{-3}$. Assim o alerta está ligado, o solo da agrovila encontra-se em compactação, necessitando de boas práticas de manejo. Para Silva (2010) solos com densidades acima de $1,25 \text{ g cm}^{-3}$ encontram-se compactados.

Em parte, os valores elevados de densidade, podem estar relacionados com a textura do solo que variou de arenosa a franco arenosa, tendo no mínimo 83% de areia (Tabela 1).

Baena (1994) verificou aumento da densidade causada pela mecanização afetando o desenvolvimento das raízes da cana de açúcar. Com o estudo, o autor verificou que pequenos aumentos na densidade causaram desenvolvimento das raízes na superfície do solo, e que densidades em torno de $1,50$ e $1,70 \text{ g cm}^{-3}$ causaram impedimento total desse crescimento.

4.2 - Densidade das partículas (dp)

Com base no resumo da análise de variância para a ‘dp’ (**Tabela 5**) e as médias plotadas na **Figura 9B** não foram observados efeitos significativos para ‘sistemas’ e ‘profundidades’ bem como para a interação ‘sistema x profundidade’, em que os valores giram em torno de $2,50 \text{ g cm}^{-3}$, independente do fator pesquisado. Não se observaram efeitos significativos sobre a ‘dp’, provavelmente por se tratar de uma característica pedogenética do solo.

A dp é definida como a massa de solo seco por unidade de volume de sólidos do solo (ao contrário do volume do solo, que inclui o espaço poroso). A composição química e estrutura cristalina de um mineral determinam sua densidade de partículas. A densidade de partículas não é afetada pelo espaço poroso, e consequentemente não está relacionada com o tamanho ou o arranjo das partículas (estrutura do solo).

Segundo Brady & Weil (2001) para a maioria dos solos minerais a densidade de partículas varia de $2,60$ a $2,75 \text{ g cm}^{-3}$ ou Mg m^{-3} (megagrama por metro cúbico) o que se deve à predominância de minerais como quartzo, feldspato, mica e colóides silicatados que possuem densidades dentro desta faixa. Para cálculos em geral, considerando a camada arável (1 a 5% de matéria orgânica), caso a densidade de partículas real não seja conhecida, assume-se uma densidade de aproximadamente $2,65 \text{ Mg m}^{-3}$.

4.3 - Porosidade total (P)

O resumo da análise de variância está contido na **Tabela 5** e as médias observadas, nas **Figura 9C**. Houve efeito altamente significativo ($P < 0,01$) apenas para o fator ‘profundidade’.

O comportamento da porosidade total (P) é inversa ao comportamento da densidade do solo (ds), ou seja, quanto menor a ‘ds’ maior será a ‘P’. Tal fato está ilustrado nas **Figuras 9A e 9C**. Assim a camada superficial ‘0-20cm’ por ser menos densa, é mais porosa diferindo significativamente da porosidade da camada de ‘20-40cm’.

Pela **Figura 9C** (desdobramento da interação) constata-se maior porosidade total na camada de ‘0-20cm’ e que a porosidade total da área de ‘mata’ (47,80%) foi significativamente maior e na área ‘cultivada’ (42,82%) dentro da camada de ‘0-20cm’, e nesta camada, tanto o sistema ‘cultivado’ quanto a área de ‘mata’ tiveram maior porosidade em relação a ‘20-40 cm’, camada onde não se observaram diferenças entre os dois sistemas.

Albuquerque & Magalhães (2016) também verificaram resultados semelhantes ao observarem que a camada de 20-40cm, comparada à camada de 0-20cm, apresentou menores valores de porosidade total. Anjos et al. (1994) verificaram que os valores de porosidade total estiveram inversamente associados aos de densidade do solo, ou seja, quanto menor a densidade do solo, maior a porosidade total, estando de acordo com os resultados encontrados neste trabalho.

A porosidade total, por estar relacionada com o volume e distribuição dos espaços porosos merece especial atenção visto que nesses espaços se processam os principais fenômenos que regulam o crescimento e a produção vegetal. Jakelaitis et al. (2008) observaram aumento significativo da densidade global, assim como redução da porosidade total, quando a vegetação natural foi substituída por pastagens.

Os resultados sugerem que a área antropizada pelo preparo do solo mecanizado possivelmente sofreu efeitos de compactação a ponto de interferir na qualidade física do solo. Convém salientar que as duas áreas pesquisadas são adjacentes. Segundo Aguiar (2008) a densidade do solo, aliada a porosidade, proporciona um indicativo do estado de compactação do solo, sendo variável com o conteúdo de umidade, textura e estrutura do mesmo.

Estes resultados estão de acordo com os observados por Ferreira (2004), em estudos de outros sistemas no campus Castanhal, ao observar a compactação dos solos com valores de ‘ds’ na ordem de $1,70 \text{ g cm}^{-3}$. Baena (1994) afirma que a compactação diminui a porosidade total de 44% para 33% com a pressão de $12,5 \text{ kg cm}^{-2}$. O mesmo autor reporta que o efeito da

compactação pela mecanização na obstrução de macroporos se estende até a profundidade de 51cm. Segundo Silveira (1988), o solo está compactado quando a proporção do volume de poros em relação ao volume total do solo está inadequada ao máximo desenvolvimento de uma cultura.

Estudos realizados nos Estados Unidos comprovam que a compactação diminui o pH e o teor de fósforo no solo, aumentando o teor de alumínio livre, o que faz com que o solo vá se tornando mais ácido ao longo do tempo (SILVEIRA, 1988).

Valores próximos a este foram encontrados por Carvalho, Costa e Veloso (1997) pesquisando um Podzólico Vermelho de textura arenosa /média sob diferentes usos: capoeira como testemunha e mecanizado, em Igarapéçu-PA, encontraram valores que comprovam o aumento da densidade do solo (d_s) de $1,40 \text{ g cm}^{-3}$ na profundidade de 0-20cm para a densidade de $1,50 \text{ g cm}^{-3}$ na profundidade de 20 – 40cm, com diminuição da porosidade total (P) de 45% para 43% no solo preparado de forma mecanizada. A compactação diminuiu a porosidade total do solo que está relacionada ao manejo do solo com implementos como arado de disco e grade pesada, sobre o solo.

Segundo Silva (2005) a compactação do solo pode ser relacionada à menor porosidade e a maior densidade do solo bem como sua resistência a penetração. A compactação ocorre quando os implementos operam na profundidade até 30 cm de profundidade durante 3 a 4 anos seguidos, tempo suficiente para a formação do pé de grade, uma crosta compacta, abaixo da camada arável, que dificulta o desenvolvimento do sistema radicular e a infiltração da água no solo.

Albuquerque & Magalhães (2016) em pesquisa semelhante, concluíram que a antropização provocou alterações significativas na qualidade do ambiente edáfico, notadas em suas características físico-hídricas, quando comparadas à condição preservada do ambiente de Mata.

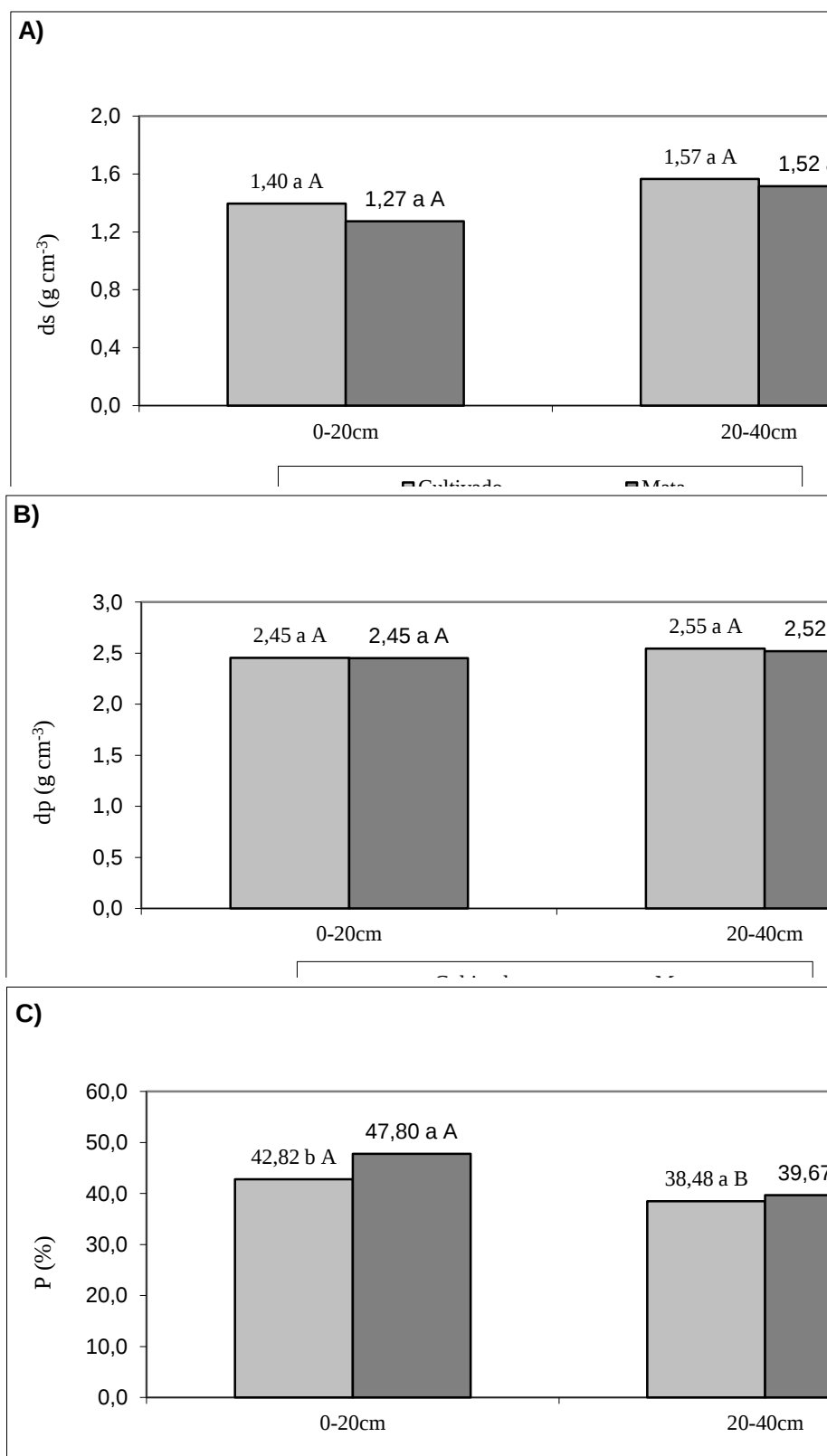


Figura 9 – Densidade do solo - ds (A), densidade das partículas do solo - dp (B) e Porosidade total do solo - P (C) em função dos fatores estudados, ‘sistemas’ e ‘camadas de solo’. (Médias seguidas por diferentes **letras minúsculas dentro da profundidade** (entre sistemas) e por diferentes **LETRAS MAIÚSCULAS ENTRE PROFUNDIDADES** (dentro do sistema) diferem entre si, ao nível de 5% pelo teste de Tukey)

4.4 - Capacidade de campo (CC)

Capacidade de campo (CC) é a condição em que o solo se encontra com pequena ou nula capacidade de drenagem. Assim, a água localizada na superfície do solo terá um movimento vertical para baixo, que somente diminuirá significativamente quando o teor de umidade do solo for tal que a sua capacidade de drenagem se torne muito pequena (BERNARDO, SOARES & MANTOVANI, 2008). Portanto a 'CC' representa de um modo geral, a umidade adequada para o crescimento e desenvolvimento das culturas.

Conforme a **Tabela 6** verifica-se que houve efeito altamente significativo ($P < 0,01$) entre os dois sistemas (S) e as duas profundidades (Pr). Também verifica-se interação significativa a nível de 5% de probabilidade pelo teste F. Essa interação significativa entre os dois fatores é um indicativo de que o efeito dos 'sistemas' sobre a 'CC' depende da 'profundidade'.

Pela **Figura 10A**, onde se tem o desdobramento da interação, constata-se que a forma de uso 'mata' tem, de fato, maior capacidade de campo que a forma de uso 'cultivado', nas duas profundidades. Pelas médias plotadas, deduz-se que a 'CC' do solo na área de 'mata' supera a área 'cultivada' em mais de 7%, em termos absolutos dentro de cada camada, sendo 14,80 e 7,26% e, 17,60 e 10,34% nas camadas '0-20cm' e 20-40cm, respectivamente. Esses resultados indicam o equilíbrio no ambiente natural em relação ao ambiente antropizado.

Por outro lado, os resultados denotam que a capacidade de armazenamento de água pelo solo do sistema 'cultivado' foi reduzida, provavelmente pelas atividades antrópicas, notadamente pela mecanização agrícola.

Carvalho et al. (1997) em pesquisa sobre atributos físico-hídricos, em Podzólico Vermelho Amarelo de textura média, realizada no solo de Igarapé-Açu, encontraram resultados semelhantes aos da Agrovila Castelo Branco, em que o solo da área de capoeira (testemunha) apresentou maior valor médio na capacidade de armazenar água, quando comparado com o solo da área de cultivos anuais com preparo mecanizado.

Quanto menor a capacidade de retenção hídrica pelo solo, mais suscetível é o solo à erosão que pode ser intensificada por outros fatores como textura, intensidade de chuvas, cobertura vegetal e velocidade de infiltração.

Segundo Libardi (2005) a retenção de água no solo é explicada pelos fenômenos de capilaridade e adsorção. Essas forças dão origem ao potencial mátrico ou matricial, que para solos de textura mediana, como os solos da presente pesquisa, corresponde 0,10 bar quando em capacidade de campo.

Ao se relacionar a ‘CC’ em base gravimétrica (expressa em ‘peso’, uss) com a ‘ds’ pode-se obter a ‘CC’ em base de volume ($CC_0 = CC_{uss} \times ds$); com isso deduz-se que os solos das formas de uso ‘cultivada’ e ‘mata’ são capazes de armazenar 13,02 e 22,52% do volume do solo, respectivamente.

A área cultivada por ter baixa capacidade de retenção hídrica torna-se uma área sujeita a erosão. Outro fato que deve ser destacado é a declividade da área de estudo, a qual é classificada como suave ondulado (Tabela 2). Nessas condições deve-se ter a preocupação em inserir práticas preventivas e conservacionistas de solo.

Tabela 6 - Resumo da análise de variância para a variável capacidade de campo (CC), ponto de murchamento (PM) e água disponível (AD), em função dos fatores estudados, Sistema (S) e Profundidade (Pr).

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio (Variância)		
		CC (% peso)	PM (% peso)	AD (% peso)
Sistema (S)	1	328,7098**	3,3604**	398,5411**
Profundidade (Pr)	1	51,7342**	28,1133**	3,5738**
Interação (S x Pr)	1	0,1188*	4,0851**	2,8105**
Resíduo	20	0,1270	0,0092	0,1460
CV(%)		2,85	1,85	5,22

NS = efeito não significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F

* = efeito significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F

** = efeito significativo ao nível de 1 % de probabilidade pelo teste F

4.5 - Ponto de murchamento (PM)

Os resultados desta variável estão sumariados na **Tabela 6** e nas **Figura 10B**. Verifica-se que pelo teste ‘F’ houve efeito altamente significativo ($P < 0,01$) entre os dois sistemas (S), entre as duas profundidades (Pr) assim como para a interação ‘S x Pr’.

Registraram-se menores umidades na camada superficial em relação à camada subsuperficial. Esse comportamento é ratificado pela **Figura 10B** sendo a camada ‘20-40cm’ com maior ponto de murchamento permanente tanto no sistema ‘cultivado’ (7,05% contra 4,06%) como no sistema ‘mata’ (5,48% contra 4,14%). Porém dentro da camada ‘0-20cm’ os pontos de murchamento são muito parecidos, sem diferença significativa, ao passo que na camada de ‘20-40cm’ o ‘PM’ é significativamente maior no sistema ‘cultivado’.

O fato de o sistema ‘cultivado’ apresentar maior ‘PM’ também é um fator que indica menor qualidade física do solo, pela simples razão de repercutir em menor disponibilidade hídrica para as culturas exploradas. Considerando-se que se estudou até 40cm de profundidade, numa situação de déficit hídrico, plantas com sistema radicular mais superficial

murchariam primeiramente no ambiente antropizado. Convém realçar que o trabalho foi realizado até a profundidade de 40 cm de solo, a qual não representa a profundidade efetiva das raízes da flora natural do sistema ‘mata’, mas que serve para testemunhar os efeitos e indicar possíveis causas e soluções para os impactos observados em áreas cultivadas.

Segundo Costa (1983) a matéria orgânica tem influência direta e/ou indireta sobre atributos do solo, provocando nítidas modificações nas características e propriedades físicas e químicas, isoladamente ou em conjunto.

4.6 - Água disponível (AD)

A água disponível ($AD = CC - PM$) corresponde o quanto de água a cultura pode explorar antes de murchar e morrer. A ‘AD’ a semelhança do ‘PM’ teve efeito altamente significativo ($P < 0,01$) das fontes de variação (**Tabela 6**).

Collares et al. (2006), estudando Argissolo com cultivo de feijoeiro, observaram que a ‘CC’ e o ‘PM’ aumentaram com o aumento da densidade do solo, sendo justificado pelo aumento da densidade que promove a redistribuição dos tamanhos de poros, com redução da macroporosidade e aumento da microporosidade do solo. Salienta-se que a microporosidade é o volume de poros responsáveis pela retenção hídrica, em outras palavras, corresponde à capacidade de campo.

A partir do estudo da interação dos fatores ($S \times Pr$), representada na **Figura 10C**, confirma-se que o sistema ‘mata’ tem ‘AD’ significativamente maior nas duas camadas de solo pesquisadas. Neste sistema, verifica-se maior ‘AD’ na camada ‘20-40cm’ (12,12%), comparada à camada 0-20cm’ (10,66%), ao passo que no sistema ‘cultivado’ não houve diferença significativa entre as duas camadas de solo, com valores próximos da média (3,25%) para as duas camadas.

Nesse trabalho, a maior ‘ds’ no solo cultivado da Agrovila Castelo Branco (**Figura 9A**) esteve relacionada com menor ‘CC’ (**Figura 10A**) e com o maior ‘PM’ (**Figura 10B**), implicando em baixa ‘AD’ (**Figura 10C**).

Essa variável (água disponível) é a que melhor explica os efeitos das atividades antrópicas sobre a qualidade física do solo da Agrovila Castelo Branco.

A área ‘cultivada’ por apresentar-se com tendência a maior ‘densidade do solo’, menor ‘porosidade’, menor ‘capacidade de campo’, e conseqüentemente menor ‘água disponível’, encontra-se atualmente com o solo com baixa qualidade física, necessitando de boas práticas de manejo para restituir sua capacidade produtiva.

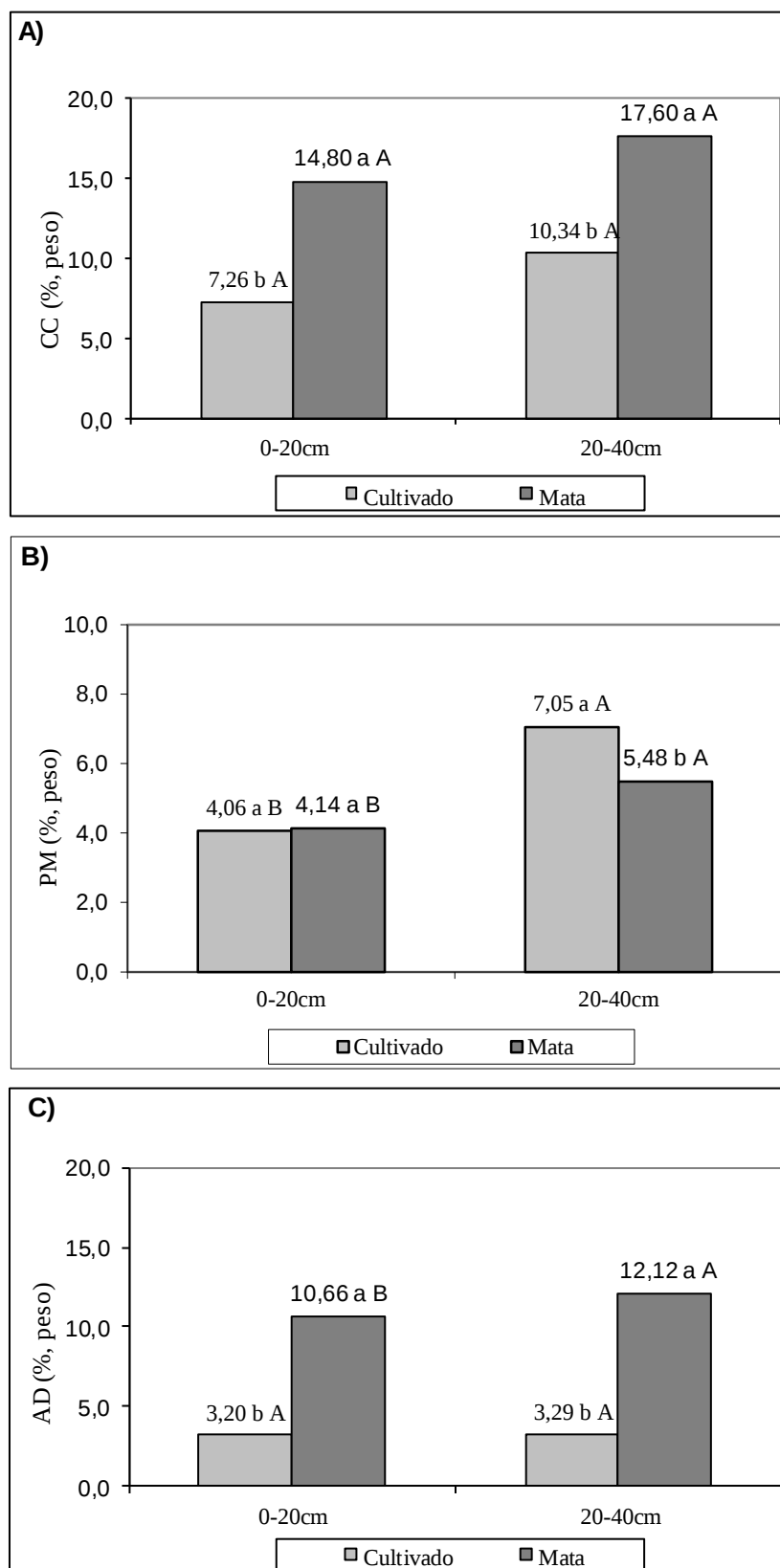


Figura 10 – Capacidade de campo - CC (A), ponto de murchamento - PM (B) e água disponível do solo – AD (C) em função dos fatores estudados, ‘sistema’ e ‘camada de solo’. (Médias seguidas por diferentes **letras minúsculas dentro da profundidade** (entre sistemas) e por diferentes **LETRAS MAIÚSCULAS ENTRE PROFUNDIDADES** (dentro do sistema) diferem entre si, ao nível de 5% pelo teste de Tukey).

4.7 – Resistência do solo à penetração (RP)

O uso do penetrômetro é uma das formas para se identificar a profundidade em que se encontram as camadas naturalmente adensadas ou compactadas devido o manejo inadequado. Penetrômetro é um aparelho destinado a determinar a resistência à penetração (RP) do meio (solo). A resistência é medida através da penetração no solo do cone instalado na extremidade da haste prolongadora (MANTOVANI, 1987). À medida que o penetrômetro atinge camadas mais adensadas/compactadas, a penetração é menor, possibilitando identificar essa zona no perfil do solo.

Convém salientar que o teor de umidade do solo interfere na RP, ao influenciar na coesão entre as partículas do solo que é maior no solo seco e decresce a medida que o teor de água aumenta, provocando a separação das partículas. Na presente pesquisa o solo se encontrava com a umidade próxima à capacidade de campo. Não se determinou a umidade tendo em vista que se coletaram os dados no mesmo dia e se tinha como objetivo comparar os índices na mesma condição ambiental.

A resistência à penetração varia muito mais com o conteúdo de umidade do solo do que com a densidade. Um solo com a mesma densidade apresentará índices de resistência à penetração diferentes se os conteúdos de umidade forem diferentes. Portanto, sua utilidade fica limitada a medida feita para o mesmo solo à mesma umidade (ADUR, 1990).

Consalter (1998) verificou que em relação aos dados obtidos de índice de cone, durante todos os períodos de amostragem, em 2 profundidades, ficou demonstrado que a resistência do solo à penetração aumentou com a diminuição da umidade.

Os resultados da análise de variância sobre a variável ‘resistência do solo à penetração’ estão apresentados de forma resumida na **Tabela 7**. Não houve efeito significativo ($P > 0,05$) para o fator ‘sistema’ comprovado pela teste de Tukey representado na **Figura 11A**, onde configuram as resistências médias, aproximadas, de 73,0 e 80,0 kgf cm⁻² (7300 a 8000 KPa) para o solo da área ‘cultivada’ e da área de ‘mata’, respectivamente.

Quanto ao fator ‘profundidade’, nota-se haver efeito significativo a nível de 1% de probabilidade, pelo teste F (**Tabela 7**). Pela **Figura 11B**, percebe-se que na profundidade de 20cm ($\cong 115,0$ kgf cm⁻²) a resistência do solo é 3x (três vezes) maior quando comparada à camada superficial ($\cong 38,0$ kgf cm⁻²). Este resultado tem coerência com o resultado da densidade global do solo d_s (**Figura 9A**) em que a camada de ‘20-40cm’ tem maior ‘ d_s ’

(1,54 g cm⁻³) que a camada '0-20cm' (1,33 g cm⁻³), evidenciando maior compactação no subsolo.

Tabela 7 - Resumo da análise da variância para resistência do solo à penetração (RP), em função dos fatores estudados, Sistema (S) e Profundidade (Pr).

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio (Variância)
		RP
Sistema (S)	1	442,2250 ^{NS}
Profundidade (Pr)	1	59.830,2250**
Interação (S x Pr)	1	3.186,2250**
Resíduo	20	292,9806
CV(%)		22,24

NS = efeito não significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F

* = efeito significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F

** = efeito significativo ao nível de 1 % de probabilidade pelo teste F

No tocante a interação, com efeito altamente significativo (**Tabela 7**) e ao se analisar a **Figura 11C**, percebe-se que na camada superficial, o solo da área 'cultivada' oferece maior resistência a penetração, provavelmente causada pelas práticas mecanizadas. Esse fato tem relação direta com a infiltração da água no solo. Enquanto o solo da área 'cultivada' tem resistência de 43,2 kgf cm⁻², o solo da área de 'mata' tem resistência média de apenas 32,0 kgf cm⁻².

Quanto maior a resistência, maior a compactação, maior a densidade, menor a porosidade, implicando em menor infiltração de água no solo que pode trazer como consequência escoamento superficial de água traduzindo em erosão e seus efeitos.

A compactação acarreta consequências negativas na qualidade física do solo para o crescimento das plantas (TORMENA et al., 1998b), em virtude das modificações deletérias na disponibilidade de água no solo às plantas, na capacidade de difusão gasosa do solo e na resistência do solo à penetração das raízes (BOONE et al., 1986).

Tormena et al. (2004) concluíram que a escarificação do solo promoveu redução na densidade do solo e na resistência à penetração, refletindo em maiores retenções de água.

Segundo Baena (1994) a pressão de 12,5 kg cm⁻² diminui a porosidade total de 44% para 33%.

Primavesi (1986) afirma que em solo argiloso, quando úmido, a compactação é pior que em solo arenoso e que as diferentes pressões por pisoteio se fazem sentir de 12 a 18 cm de profundidade. Afirma também, que as pressões exercidas por um bovino de 400 Kg ou um ovino de 60 Kg de peso vivo são respectivamente, de 3,5 e 2,1 Kgf cm⁻², enquanto que para um trator de esteira variam de 0,21 a 0,56 Kgf cm⁻².

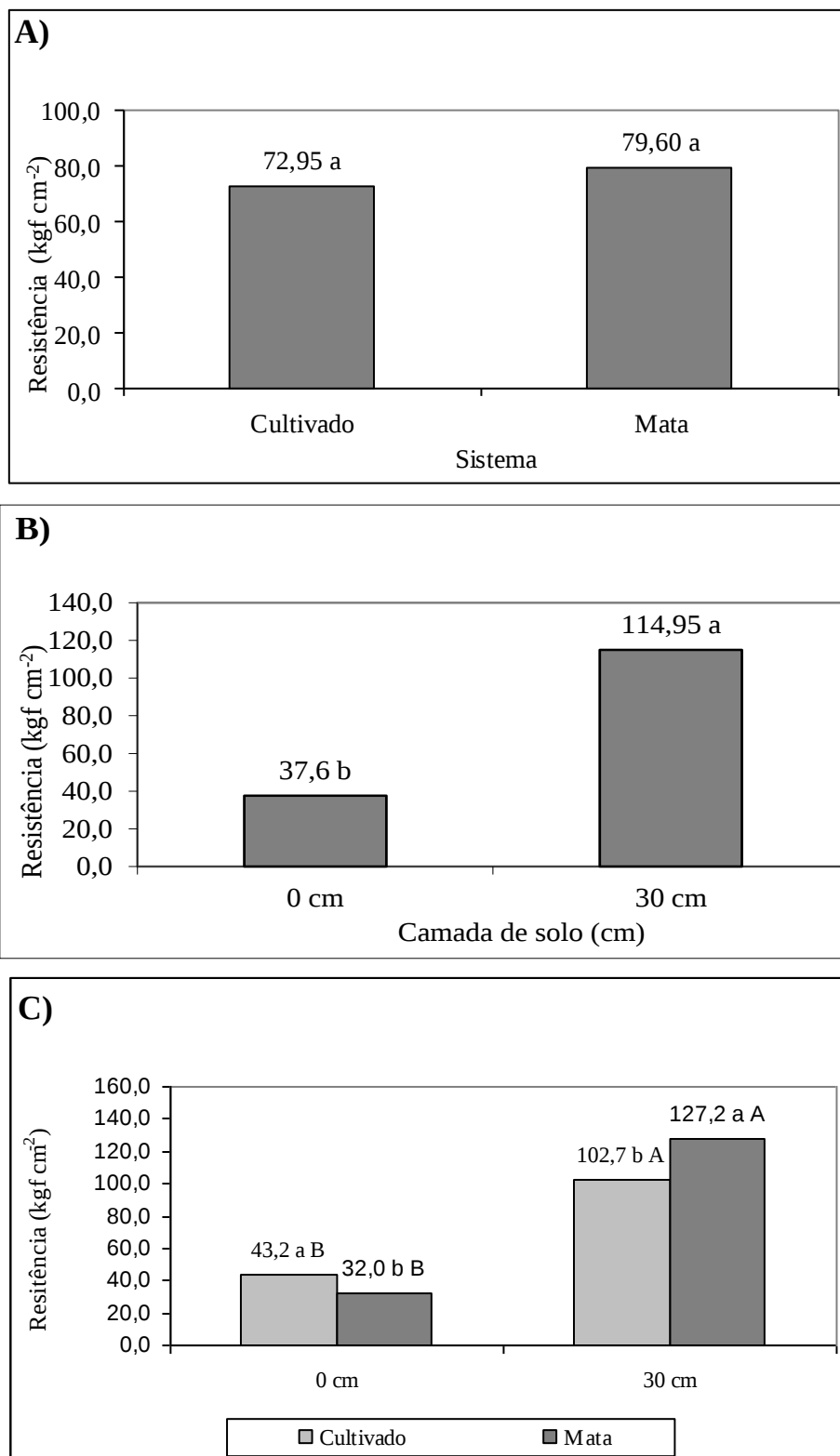


Figura 11 – Resistência do solo à penetração (RP) nos sistemas ‘cultivado’ e ‘mata’ (A), em duas profundidades do solo 0 cm e 30 cm (B) bem como a interação ‘sistema x profundidade’(C). (Médias seguidas por diferentes **letras minúsculas dentro da profundidade** (entre sistemas) e por diferentes **LETRAS MAIÚSCULAS ENTRE PROFUNDIDADES** (dentro do sistema) diferem entre si, ao nível de 5% pelo teste de Tukey).

Consalter (1998) pesquisando a resistência à penetração em sistema de integração lavoura-pecuária, concluiu que o conhecimento do comportamento das variáveis índices de cone ou 'RP' e densidade do solo, relacionadas com a umidade, como parâmetros para avaliar a compactação do solo, são importantes para entender a potencialidade e limitações do sistema.

Verifica-se um fato curioso na profundidade de 30 cm. As resistências se invertem, em que o solo da área de 'mata' se apresenta com índice de compactação ($127,2 \text{ kgf cm}^{-2}$), na 'cultivada' é menor ($102,7 \text{ kgf cm}^{-2}$), diferindo estatisticamente. Imagina-se que em área de mata haja o efeito de compressão do sistema radicular das plantas, enquanto que em solo cultivado, esse fato não se espera, pois com a retirada da cultura, após colheita, as raízes morrem diminuindo a resistência.

Por fim, em ambos os sistemas (**Figura 11C**), a profundidade de 30 cm tem maior resistência que a camada superficial do solo. Convém ressaltar que a superfície faz parte da camada arável que recebe maior influência da matéria orgânica e maior atividade microbiana, oferecendo menor resistência à penetração.

4.8 – Infiltração acumulada (IA) e Condutividade hidráulica ($K(h_0)$)

As lâminas médias infiltradas (IA) a partir da superfície do solo durante os testes foram 1,15cm e 3,08cm na área cultivada e área de mata, respectivamente (**Figura 12A e 12C**) enquanto que a partir de 20cm, as sucessivas infiltrações foram 0,56 e 0,53cm (**Figura 12B e 12D**). As associações das curvas de infiltração acumulada em função da raiz quadrada do tempo, descreveram os testes de infiltração com excelente precisão, com elevados coeficientes de determinação (R^2).

A condutividade hidráulica ou permeabilidade do solo $K(h_0)$ que está relacionada com a infiltração acumulada (IA), foi muito mais elevada na superfície do solo, porém na área de mata foi muito maior por ser arenosa, sendo 135 mm h^{-1} contra 21 mm h^{-1} , na área cultivada (**Tabela 4**). Na camada de 20 cm os valores são mais próximos, aproximadamente 10 e 15 mmh^{-1} para floresta e área cultivada, respectivamente (**Tabela 4**). Percebe-se nítida relação inversa da 'RP' (discutida anteriormente) com a infiltração da água e consequentemente com a $K(h_0)$.

Segundo Antonino et al. (2001), as diferenças entre os valores de C_1 e C_2 (ver **Equação 7**) entre curvas da mesma área, são devidas aos efeitos da variabilidade espacial, em pequena escala, das características da infiltração, dado que cada ensaio ocupa um local diferente, porém próximo.

Na condição de saturação ($h_0 = 0$ cm) e após 1500 segundos de infiltração, Antonino et al. (2001) observaram lâmina de água infiltrada de 37 mm para a camada argilosa, enquanto para a camada de areia foi de 196 mm, corroborando, em parte, com os resultados obtidos neste trabalho, porém com potencial menor ($h_0 = -2$ cm), ou seja, numa condição menos úmida.

Albuquerque et al. (2015), em pesquisa semelhante, verificaram menores valores de $K(h_0)$, variando entre 2,0 e 40,0 mm h⁻¹.

Gradientes texturais entre duas camadas promovem diferentes comportamentos hidráulicos. O potencial de sucção (h_0) aplicado também tem efeito marcante sobre a infiltração. Assim, quanto mais negativo (solo mais seco), menor será a infiltração para um mesmo tempo e mesma condição textural.

Para Antonino et al. (2001) no início do processo de infiltração, as forças gravitacionais podem ser desprezadas diante das forças capilares, e vice-versa; após um longo tempo de infiltração, as forças capilares podem ser desprezadas.

Dalla Rosa (1981) mediu a taxa constante de infiltração de água em 3 camadas de um Latossolo Roxo distrófico, cultivado durante 15 anos, convencionalmente com trigo e soja e verificou que, à superfície do solo, a taxa foi de 48 mm h⁻¹, sobre a camada compactada foi de 8 mm h⁻¹ e abaixo da camada compactada foi de 192 mm h⁻¹.

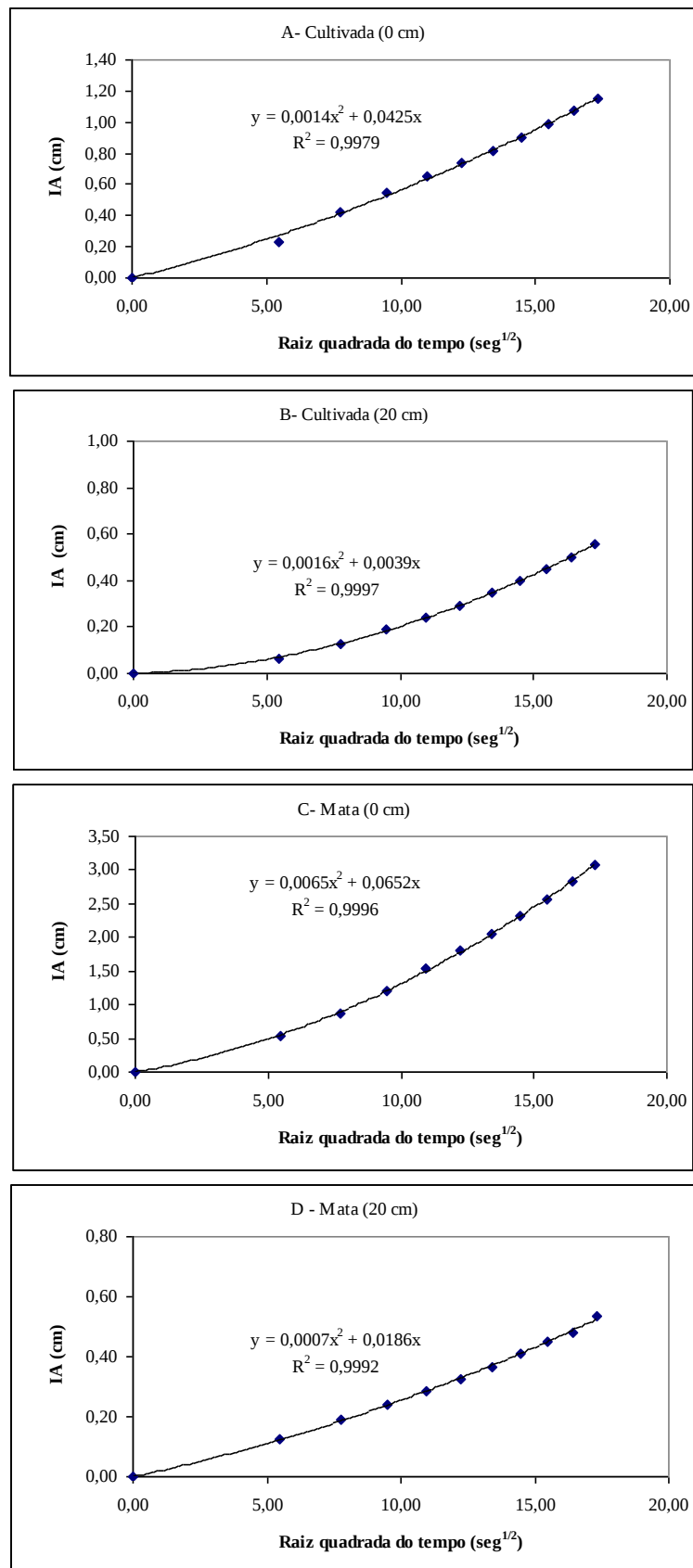


Figura 12 – Infiltração acumulada (IA) nos sistemas ‘cultivado’ e ‘mata’, em duas profundidades do solo, 0 cm e 20 cm.

5 – CONCLUSÃO

- A qualidade física dos solos agrícolas da Agrovila Castelo encontra-se afetada pela mecanização. A área antropizada pelo preparo do solo mecanizado sofreu efeitos de compactação a ponto de interferir na qualidade física do solo.
- A área ‘cultivada’, em relação a área de ‘mata’, encontra-se com maior ‘densidade do solo’, menor ‘porosidade’, menor ‘capacidade de campo’, maior ‘ponto de murchamento’ e consequentemente menor ‘água disponível’.
- A medida que a densidade do solo se eleva, há aumento na compactação do solo, maior resistência à penetração - RP e menor condutividade hidráulica - $K(h_0)$.
- A condutividade hidráulica do solo, em condições de umidade controlada ($h_0 = -2,0$ cm) variaram entre 10,0 e 136,0 mm h⁻¹, com maiores valores para camadas arenosas.

6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos na pesquisa do solo agricultável da Agrovila Castelo Branco servirão para acrescentar conhecimento sobre o solo da região, contribuindo para sanar o problema levantado nesta pesquisa.

A identificação dos problemas arrolados na pesquisa em questão ajudarão a selecionar, com segurança, as técnicas mais adequadas para manejar o solo da Agrovila, contribuindo para uma produção satisfatória e para o crescimento agrícola da região.

A pesquisa é de grande relevância para a microrregião de Castanhal, tendo em vista que o solo dessa região está entre os solos de baixa fertilidade natural e estão submetidos a elevados índices pluviométricos anuais, condições que favorecem a erosão do solo e o seu empobrecimento.

Os resultados foram discutidos entre os envolvidos na pesquisa. Os representantes da Agrovila Castelo Branco participaram na pesquisa com o conhecimento do censo comum, colocando suas áreas cultivadas e mata secundária a disposição da pesquisa.

Para manter e elevar a produtividade do solo da agrovila, é necessário que a exploração dos ecossistemas e agroecossistemas seja de forma racional, tanto na conservação das matas ciliares para evitar o assoreamento dos rios, manter a vegetação das encostas evitando o desbarrancamento, conservação da vegetação nativa e o solo da Agrovila obedecendo o Código Florestal vigente.

O manejo organizado dos agroecossistemas torna o ambiente mais saudável. Para isso é fundamental a manutenção do ecossistema de mata secundária, com sua reserva de essências florestais, mantendo o sub-bosque preservado, mantendo o equilíbrio entre a população de animais silvestres e a fauna, em condições de propagar as sementes das árvores em toda região.

Como boas práticas serão sugeridas, aos produtores da Agrovila Castelo Branco, plantio direto, plantio em nível, cultivo mínimo, adubação verde, correção do solo, adubação orgânica e implantação de SAFs.

Seguem algumas ações propostas para elevação da produtividade do solo da agrovila:

- 1- Despertar os agricultores para o manejo do solo com plantio direto, ainda desconhecido na agrovila.
- 2- Incentivar a regulação dos implementos seguindo as recomendações da Cartilha de Mecanização que será distribuída entre eles.

- 3- Orientar o percurso das máquinas e implementos no campo seguindo as recomendações da Cartilha.
- 4- Incentivar a incorporação da matéria orgânica no solo: resto de cultura, esterco de animais da propriedade.
- 5- Dinamizar a compostagem utilizando matéria prima da propriedade.
- 6- Divulgar o plantio de leguminosas em áreas em pousio.
- 7- Propor a adubação química, mediante o resultado da análise de solo, com ajuda técnica do IFPA.
- 8- Propor correção da acidez do solo, mediante o resultado da análise de solo, com ajuda técnica do IFPA
- 9- Divulgar as orientações técnicas prestadas pelo IFPA- Campus Castanhal.

7 - PRODUTO

Implantação de uma unidade demonstrativa na Agrovila Castelo Branco. Esta unidade compreenderá 1,0 hectare onde serão implantadas as boas práticas de manejo, medidas preventivas de uso e regulagem de implementos agrícolas envolvendo os produtores locais, docentes e discentes do IFPA Castanhal, com base na cartilha elaborada como produto da pesquisa, em conformidade com os resultados obtidos e divulgados entre os agricultores. Semestralmente serão promovidos dias de campo envolvendo os atores supracitados.

Previamente à implantação da unidade demonstrativa será elaborado material bibliográfico (folders, cartilhas, apostilas, manuais) e realizadas reuniões locais para planejamento das etapas necessárias.

8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADUR, A F. **Comportamento de um Latossolo Vermelho-Escuro, textura argilosa, quando submetido a diferentes energias de compactação**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). UFPR- Curitiba, PR. 1990.
- CONSALTER, M.A.S. **Sistema integrado lavoura - pecuária e compactação em Latossolo Bruno**. 111 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). UFPR- Curitiba, PR, 1998.
- AGUIAR, Maria Ivanilde de. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. 2008. 79 f. Dissertação (Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2008.
- ALBUQUERQUE, F.S.; RODRIGUES, L.N.; MAGALHÃES, Y.C.; NERY, A.R. **Determinação da Condutividade hidráulica de solo não saturado utilizando mini infiltrômetro de disco**. V Semana de Integração em Ciências Artes e Tecnologia - V SICAT 2015/IV Feira de Saberes e Sabores/IFPA Castanhal. 2015.
- ALBUQUERQUE, F.S.; MAGALHÃES, Y.M.C. **Caracterização físico-hídrica de um Latossolo Amarelo Distrófico presente no IFPA – Campus Castanhal sob diferentes usos**. Castanhal, PA: IFPA. 2016. 67f. Trabalho acadêmico de conclusão de curso (graduação em agronomia).
- ANJOS, Jonas Ternes dos et al. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 18:139-145, 1994.
- ANTONINO, A.C.D.; ANGULO-JARAMILLO, R.; SOUZA, E.S.; MACIEL NETTO, A.; CARNEIRO, C.J.G; MONTENEGRO, A.A.A. Determinação da condutividade hidráulica e da sorvidade de um solo com infiltrômetro a disco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.2, p.247-253, 2001.
- AZEVEDO, Antônio Neri Rodrigues. **Coleta de amostra de solos**. (Embrapa – Centro de Pesquisa Agroflorestal de Rondônia. Comunicado técnico, 2000). Rondônia: Embrapa – CPAR, 2000.
- BATEY,T., MCKENZIE, D. Soil : compaction, indentification directly inthe field. **Soil Use andManagement**, v. 22, n. 2, p. 123- 131, 2006.
- BERNARDO, Salassier; SOARES, Antonio Alves; MANTOVANI, Everardo Chartuni. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2008, 625p.
- BERTONI, José; LOMBARDI NETO, Francisco. **Conservação do solo**. 8. ed. São Paulo, SP: Editora Ícone, 2012.
- BRADY,N.C. **Naturezas e propriedades do solo**.7 ed. São Paulo: Freitas Bastos 1989,878p.
- BRADY,N.C.; WEIL, R.R. **The Nature and Properties of Soils**. 13 ed. Editora Prentice Hall. 2001, 960p.
- BAENA, A.R.C. **Efeito do desmatamento com maquinaria pesada em Latossolo Amarelo textura muito argilosa**. Belém: (EMBRAPA-CEPATU,1994. 20p. (EMBRAPA-CPATU. Boletim de Pesquisa, 157)

BOONE, F.R.; van der WERF, H.M.G.; KROESBERGEN, B.; HAAG, B.A. TEM & BOERS, A. The effect of compaction of arable layer in a sandy soils on the growth of maize for silage. I. Critical potentials in relation to soil aeration and mechanical impedance. **Neth. J. Agric. Res.**, 34:155-171, 1986.

BUSSCHER, W.J.; FREDERICK, J.R. & BAUER, P.J. Timing effects of deep tillage on penetration resistance and wheat and soybean yield. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 64:999-1003, 2000.

BUSSCHER, W.J.; BAUER, P.J. & FREDERICK, J.R. Recomposition of a coastal loamy sand after deep tillage as a function of subsequent cumulative rainfall. **Soil Till. Res.**, 68:49-57, 2002.

CAMPOS, Indio. **A sustentabilidade da agricultura na Amazônia**. (NAEA – Núcleo de Altos Estudos Amazônicos. Paper, 295). Parceria: UFPA. Belém: NAEA, 1998.

CAVENAGE, Adriana et al. Alterações nas propriedades físicas de um latossolo vermelho-escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 23, p. 997 – 1003, 1999.

CARVALHO, E. J. M; COSTA M. P. da; VELOSO, C. A. C. **Caracterização físico-hídrica de um podizólico vermelho-amarelo textura arenosa/média sob diferentes usos , em Igarapé-Açú, Pará. Belém**: Embrapa Amazônia Oriental, 1997. 22p (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de Pesquisa, 174).

COLLARES, Gilberto Loguércio et al. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 11, p. 1663 – 1674, nov. 2006.

CONSALTER, M.A.S. **Sistema integrado lavoura - pecuária e compactação em Latossolo Bruno**. 111 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). UFPR- Curitiba, PR, 1998.

COSTA, C.D.O. **Escoamento superficial e risco de erosão do solo na sub-bacia jardim novo horizonte, município de Ilha Solteira-SP**. 88 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Irrigação e Drenagem). UNESP- Campus Botucatu, SP, 2010.

COSTA, M. P. **Efeito da matéria orgânica em alguns atributos do solo**. Piracicaba, 1983. 137p. (Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/USP)

DALLA ROSA A. **Práticas mecânicas e culturais na recuperação de características físicas de solos degradados pelo cultivo**. Porto Alegre, 1981. Dissertação (Mestrado em Agronomia) U.F.R.S. 136 p.

DONAGEMMA, Guilherme Kangussú et al. **Manual de métodos de análise de solo**. 2º ed. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2011.

FERREIRA, Cícero Paulo. **Atributos físicos-hídricos e químicos do solo em sistemas agrícolas na microrregião de Castanhal, Pará**. Belém, PA: UFPA, 2004. 145p. (Tese de Doutorado - Curso de Pós-Graduação em Ciências Agrárias)

FERREIRA, Rogério Resende Martins; TAVARES FILHO, João; FERREIRA, Vinicius Martins. **Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 913-932, out./dez., 2010.

FRANCHINI, J.C.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; TONON, B.C.; FARIAS, J.R.B.; LIVEIRA, M.C.N.; TORRES, E. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil. **Field Crop Research**, v.137, p.178185, 2012.

IBGE. **Distribuição populacional do Brasil**. 2010.

IBGE. **Produção média da agricultura familiar do município de Castanhal-PA**. 2012.

IBGE. **Anuário. Castanhal-PA**. 2013 .

INCRA – Instituto Nacional de Reforma Agrária. 2006. **Manual de obtenção de terras e perícia judicial**. 140p

JAKELAITIS, Adriano et al. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Revista Pesquisa Agropecuária Tropical**. v. 38, n. 2, p. 118-127, 2008.

JORGE, José Antônio, **Solo: manejo e adubação: compêndio de edafologia**. 2ª Ed - São Paulo Nobel, 1983.

LIBARDI, Paulo Leonel. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo, SP: USP, 2005, 335p.

LOPES, J. D. S. **Irrigação por aspersão convencional**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2009. 330 p.: il; 23 cm.

MANTOVANI, E. C. Compactação do solo. **Inf. Agropec**. 13: 52-55,1987.

MANTOVANI, E.C. ; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação – Princípios e métodos**. 3a. ed. Viçosa: Imprensa Universitária, UFV, 2009. 355p.

MARCHIORI JÚNIOR, Milton; MELO, Wanderley Jose de. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1177 – 1182, jun. 2000.

MEDINA, F. B. **Influência de dois métodos de preparo de área na compactação de um Latossolo Amarelo do Estado do Amazonas. Simpósio do Trópico Úmido**, Belém, PA . Resumos. Belém, (EMBRAPA - CPATU, 1994. 474 p. Documentos, 31

OLIVEIRA, João Bertoldo de. **Pedologia aplicada**. 4º ed. Piracicaba: FEALQ, 2011, 595p.

OLIVEIRA JUNIOR, R. C. O.; VALENTE, M. A.; RODRIGUES, T. E.; SILVA, J. M. L. **Caracterização físico-hídrica de cinco perfis de solo do Nordeste Paraense**. Belém. Embrapa Amazônia oriental, 1997. 27 p. (Boletim de Pesquisa nº177)

PEDROSO, Augusto José Silva. **Atributos físicos e químicos de um Latossolo amarelo, submetido a diferentes sistemas de manejo na mesorregião do Nordeste paraense**. Belém, PA. UFRA/EMBRAPA. Amazônia Oriental. 2016 (Tese de Doutorado).

REICHARDT, Klaus. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, p. 211 – 216, 1988.

RESENDE, Mauro et al. **Pedologia – Base para distinção de ambientes**. 5º ed. rev. Lavras: UFLA, 2007.

RIBEIRO, K. D. **Influência da distribuição de vazios na condutividade hidráulica do solo saturado**. 2005. 56 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2005.

SANTOS, Josiane Sarmiento dos; SILVA, Ludmila Monteiro da; COSTA, Gabriel Brito. Um estudo da precipitação pluviométrica no município de Castanhal-PA. In: **XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Florianópolis, SC, 2006.

SILVA, J. R. **Compactação do solo exercida por tráfego de colheita e transporte de madeira**. 2003. 134 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, SP, 2003.

SILVA, S. L., **Máquinas e implementos para preparo do solo**, Cascavel-PR; Faculdade Assis Gurgacz, 2005.

SILVA, F. de A. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. **Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance**. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SILVA, Alvaro Pires da. **Física do Solo**. Universidade de São Paulo, 49p. Piracicaba 2010.

SILVEIRA, G. M., **O Preparo do Solo: Implementos Corretos**. Rio de Janeiro: Globo, 1988. 243 p.

SILVEIRA NETO, A.N.; SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F.; OLIVEIRA, L.F.C. Efeitos de manejos e rotação de culturas em atributos físicos do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.36, p.29-35, 2006.

SIPAM - **Sistema de Proteção da Amazônia**. SIPAM, UFPA, 2010.

SOLOTEST. **Penetrômetro para solos com anel dinamométrico - Resistência à penetração**. 20 de junho 2016. Acessado em 20 de junho 2016. Online. Disponível em: www.solotest.com.br/catálogo

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**, 22:573-581, 1998b.

TORMENA, C.A.; BARBOSA, M.C.; COSTA, A.C.S. & GONÇALVES, A.C.A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo Vermelho distrófico cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Sci. Agríc.**,59:795-801, 2002.

TORMENA, C.A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J.C.; COSTA, A.C.S. & FIDALSKI, J. propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:1023-1031, 2004.

PENUD. **Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento**. 2012

PRIMAVESI, A M. **Manejo ecológico de pastagens**: Em regiões tropicais e subtropicais. Ed. Nobel. São Paulo, 1986.

VIEIRA, Lúcio Salgado. **Os solos dos estados do Pará**. Belém, Instituto de Desenvolvido Econômico Social do Pará (Cadernos Paraenses, 8), 1971

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

VALENTE, M. A. et al. **Solos e avaliações da aptidão agrícola das terras do Município de Castanhal, Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001. 27p.; 22cm (Documento 119)

ZHANG, R. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 61, p. 1024-1030, 1997.

APÊNDICES

A1 – Modelo de planilha para cálculo da infiltração acumulada (IA) com o exemplo da área cultivada na superfície do solo.

Raio (cm)	2,25		Area (cm²)	15,90431
Tempo - T (s)	T^{1/2}	Volume médio (mL)	Δ vol (mL)	IA (cm)
0	0,00	90,00	0,00	0,00
30	5,48	86,33	3,67	0,23
60	7,75	83,33	3,00	0,42
90	9,49	81,33	2,00	0,54
120	10,95	79,67	1,67	0,65
150	12,25	78,33	1,33	0,73
180	13,42	77,00	1,33	0,82
210	14,49	75,67	1,33	0,90
240	15,49	74,33	1,33	0,99
270	16,43	73,00	1,33	1,07
300	17,32	71,67	1,33	1,15

A2 – Parâmetros de van-Genuchten (1980) para classes texturais e valores de ‘A’ para o minidisco com raio de 2,25cm e valores de sucção (ho) de 0,5 a 4,0 cm.

Textura	α	n	Sucção (ho)				
			-0,5cm	-1cm	-2cm	-3cm	-4cm
Arenosa	0,145	2,68	2,84	2,40	1,73	1,24	0,89
Areia Franca	0,124	2,28	2,99	2,79	2,43	2,12	1,84
Franco Arenosa	0,075	1,89	3,88	3,89	3,91	3,93	3,95
Franco	0,036	1,56	5,46	5,72	6,27	6,87	7,53
Siltosa	0,016	1,37	7,92	8,18	8,71	9,29	9,90
Franco Siltosa	0,020	1,41	7,10	7,37	7,93	8,53	9,19
Franco Argilo Arenosa	0,059	1,48	3,21	3,52	4,24	5,11	6,15
Franco Argilosa	0,019	1,31	5,86	6,11	6,64	7,23	7,86
Franco Argilo Siltosa	0,010	1,23	7,89	8,09	8,51	8,95	9,41
Argilo Arenosa	0,027	1,23	3,34	3,57	4,09	4,68	5,36
Argilo Siltosa	0,005	1,09	6,08	6,17	6,36	6,56	6,76
Argilosa e muito argilosa	0,008	1,09	4,00	4,10	4,30	4,51	4,74

Fonte: van-Genuchten (1980)

A3 – Modelo de planilha eletrônica em EXCEL para tabulação dos dados coletados

SISTEMA	PROF.	ds	dp	P	CC	PM	AD	RP*
CULTIVADA	0-20							
CULTIVADA	0-20							
CULTIVADA	0-20							
CULTIVADA	0-20							
CULTIVADA	0-20							
CULTIVADA	0-20							
CULTIVADA	0-20							
CULTIVADA	0-20							
CULTIVADA	0-20							
CULTIVADA	0-20							
CULTIVADA	20-40							
CULTIVADA	20-40							
CULTIVADA	20-40							
CULTIVADA	20-40							
CULTIVADA	20-40							
CULTIVADA	20-40							
CULTIVADA	20-40							
CULTIVADA	20-40							
CULTIVADA	20-40							
CULTIVADA	20-40							
MATA	0-20							
MATA	0-20							
MATA	0-20							
MATA	0-20							
MATA	0-20							
MATA	0-20							
MATA	0-20							
MATA	0-20							
MATA	0-20							
MATA	0-20							
MATA	20-40							
MATA	20-40							
MATA	20-40							
MATA	20-40							
MATA	20-40							
MATA	20-40							
MATA	20-40							
MATA	20-40							
MATA	20-40							
MATA	20-40							
MATA	20-40							

* Leituras a 0 cm e 30 cm

A4 - Resumo das médias para a variável densidade do solo (ds), densidade das partículas (dp) e porosidade total (P), em função dos fatores estudados, Sistema (S) e Profundidade (P).

Fator	Média		
	ds (g cm ⁻³)	dp (g cm ⁻³)	α (%)
Sistema cultivado	1,4805 a	2,4995 a	40,6490 a
Sistema mata	1,3945 b	2,4850 a	43,7335 a
Profundidade 0-20 cm	1,3345 b	2,4515 a	45,3060 a
Profundidade 20-40 cm	1,5405 a	2,5330 a	39,0765 b

Médias seguidas por diferentes letras diferem entre si, ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

A5 – Desdobramento das médias da variável densidade do solo (ds), densidade de partículas (dp) e Porosidade (P), em função dos fatores estudados, Sistema (S) e Profundidade (P)

Sistema/Profundidade	0-20cm	20-40cm
A- Densidade do solo - ds (g cm ⁻³)		
Cultivado	1,3950 a A	1,5660 a A
Mata	1,2740 a A	1,5150 a A
B- Densidade de partículas do solo - dp (g cm ⁻³)		
Cultivado	2,4530 a A	2,5460 a A
Mata	2,4500 a A	2,5200 a A
C- Porosidade total do solo - P (%)		
Cultivado	42,8170 b A	38,4810 a B
Mata	47,7950 a A	39,6720 a B

Médias seguidas por diferentes letras minúsculas na coluna (sistemas) e por diferentes letras maiúsculas na linha (profundidade) diferem entre si, ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

A6 - Resumo das médias para a variável capacidade de campo (CC), ponto de murchamento (PM) e água disponível (AD), em função dos fatores estudados, Sistema (S) e Profundidade (Pr).

Fator	Média		
	CC (% peso)	PM (% peso)	AD (% peso)
Sistema cultivado	8,7994 b	5,5562 a	3,2432 b
Sistema mata	16,2011 a	4,8078 b	11,3933 a
Profundidade 0-20 cm	11,0321 b	4,0997 b	6,9323 b
Profundidade 20-40 cm	13,9684 a	6,2643 a	7,7041 a

Médias seguidas por diferentes letras diferem entre si, ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

A7 – Desdobramento das médias da variável capacidade de campo (CC), ponto de murchamento (PM) e água disponível (AD), em função dos fatores estudados, Sistema (S) e Profundidade (Pr)

Sistema/Profundidade	0-20cm	20-40cm
A- Capacidade campo – CC (% peso)		
Cultivado	7,2608 b A	10,3380 b A
Mata	14,8033 a A	17,5989 a A
B- Ponto de murchamento – PM (% peso)		
Cultivado	4,0613 a B	7,0511 a A
Mata	4,1381 a B	5,4776 b A
C- Água disponível – AD (% peso)		
Cultivado	3,1995 b A	3,2869 b A
Mata	10,6652 a B	12,1213 a A

Médias seguidas por diferentes letras minúsculas na coluna (sistemas) e por diferentes letras maiúsculas na linha (profundidade) diferem entre si, ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

A8 - Resumo das médias para a variável ‘resistência à penetração’ (RP) em função dos fatores estudados, Sistema (S) e Profundidade (P).

Fator	Média
	RP (kgf cm ⁻²)
Sistema cultivado	72,9500 a
Sistema mata	79,6000 a
Profundidade 0-20 cm	37,6000 b
Profundidade 20-40 cm	114,9500 a

Médias seguidas por diferentes letras diferem entre si, ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

A9 – Desdobramento das médias da variável ‘resistência à penetração’ (RP), em função dos fatores estudados, Sistema (S) e Profundidade (P)

Sistema/Profundidade	0-20cm	20-40cm
	RP (kgf cm ⁻²)	
Cultivado	43,2000 a B	102,7000 b A
Mata	32,0000 b B	127,2000 a A

Médias seguidas por diferentes letras minúsculas na coluna (sistemas) e por diferentes letras maiúsculas na linha (profundidade) diferem entre si, ao nível de 5% pelo teste de Tukey.