

**ESCOLA SUPERIOR BATISTA DO AMAZONAS
LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

CÍNTIA CASTRO QUARESMA

**DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DO SOLO POR DIFERENTES
MÉTODOS DAS PRINCIPAIS CLASSES DE SOLOS NA AMAZÔNIA
CENTRAL**

**MANAUS
2008**

BRUNO
2008

T
10/2008



CÍNTIA CASTRO QUARESMA

**DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DO SOLO POR DIFERENTES
MÉTODOS DAS PRINCIPAIS CLASSES DE SOLOS NA AMAZÔNIA
CENTRAL**

Monografia apresentada à Escola Superior Batista do Amazonas como requisito para obtenção do título de graduado (a) em Licenciatura em Ciências Biológicas.

Orientador: Dr. Wenceslau Gerales Teixeira

Embrapa	
Unidade.....	Amazônia Ocidental
Valor.....	
Data da aquisição.....	22/07/09
Nº N. Fiscal / Fatura.....	
Fornecedor.....	
Nº OCS.....	
Origem.....	Nacional
Nº Registro.....	2009.00008

MANAUS

2008

CÍNTIA CASTRO QUARESMA

**DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DO SOLO POR DIFERENTES MÉTODOS
DAS PRINCIPAIS CLASSES DE SOLOS NA AMAZÔNIA CENTRAL**

Monografia apresentada à Escola Superior
Batista do Amazonas como requisito para a
obtenção do título de graduado (a) em
Licenciatura Plena em Ciências Biológicas.

Aprovado em: _____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA

*Orientador: Dr. Wenceslau Geraudes Teixeira
Embrapa Amazônia Ocidental*

*MSc. Santiago Linorio Ferreyra Ramos
Universidade Nacional da Amazônia Peruana - UNAP*

*Dr. Sergio Luiz Rodrigues da Silva
ESBAM*

Dedico
Ao meu alicerce (minha mãe)
E aos meus sobrinhos:
Aline, Gabriel, Davi Miguel e Igor Vinicius.
Amores meus...

AGRADECIMENTOS

Foram muitos, os que me ajudaram a concluir este trabalho.

Deus... Porque dEle, por Ele, para Ele são todas as coisas!;

Ao meu pai pela “pequena” ajuda financeira e o grande incentivo moral;

A minha mãe pelas orações, incentivo, força, apoio moral e por me esperar chegar todas as noites;

Aos meus queridos irmãos Noca, Menhô e Dinho pelo companheirismo, força e amizade;

A dona Alcinéia e sua filha Kátia (minha melhor amiga), pelas orações, pelo apoio moral e pela amizade de anos;

Ao Garcia e ao Marcelo por aquela ajuda...

Aos amigos Rodrigo e Santiago e aos Doutores Paulo César e Sergio Luis por aquelas ajudas incansáveis de última hora. “Se não fosse vocês, o que seria de mim?”;

Aos meus mestres, desde as garatujas até a monografia. Pois neste caminhar, a vida fez sentido porque temos um professor que nos conduz na missão árdua do aprender;

A todos meus amigos da Faculdade: Tatiana (ou quer dizer Tatiane), Teddi, Cris e os demais colegas por me aturarem nesses quatro anos e por está concluindo o curso junto comigo. Em especial a Berreca por estarmos sempre juntas em todas as situações e momentos, por se mostrar uma grande pessoa, pelos incentivos a toda hora e por ser minha melhor amiga. Todos foram importantes;

Ao Dr. Eliseo, (nesta hora fiquei até sem palavras...);

A Faculdade ESBAM por me proporcionar à oportunidade de um curso superior;

Ao Dr. Marcos Garcia por me aceitar dois anos sob sua orientação;

A FAPEAM pela ajuda de custo, durante a Iniciação Científica que deu origem a este trabalho;

A EMBRAPA AMAZÔNIA OCIDENTAL, pela oportunidade, pelo laboratório, pelo incentivo e pelas amizades conquistadas;

E ao meu querido e estimado orientador Dr. Wenceslau, por aceitar a me orientar neste estudo, conduzindo seu desenvolvimento com muita sabedoria e acima de tudo com muita paciência (*quão difícil é o papel do orientador*).

Meus sinceros agradecimentos...

Todos são muito importantes para mim.

Não conseguiria sem a ajuda de vocês.

“A Amazônia é a região de maior biodiversidade na Terra, um banco genético do qual a mínima parte foi pesquisado. É riquíssima em madeira, minérios, água, tem um potencial energético fantástico. É vital para o equilíbrio do planeta. O desmatamento de grandes áreas da Amazônia pode gerar mudanças climáticas catastróficas. A civilização humana pode ser enriquecida. A educação pode ser diferente, a saúde, as artes, a filosofia e a maneira de viver ainda podem mudar”.

(Marina Silva, ex-ministra do meio ambiente).

RESUMO

O solo é um recurso básico que suporta toda a cobertura vegetal de terra, sem a qual os seres vivos não poderiam existir e além da grande superfície que ocupa no globo, é uma das maiores fontes de energia. Os cultivos nos solos alteram suas propriedades físicas em relação ao solo não cultivado. No Brasil, os principais métodos para a determinação da densidade são os métodos do cilindro e o torrão impermeabilizado. Há também um método para avaliação da densidade do solo pouco difundido no Brasil, denominado método do torrão no querosene. O objetivo deste estudo é comparar os valores da densidade do solo das principais classes de solo da Amazônia avaliadas por diferentes métodos. As amostras de solos foram coletadas em três diferentes áreas: Campo Experimental do Caldeirão, Embrapa Amazônia Ocidental e município do Urucu. Foram coletadas amostras em ARGISSOLO AMARELO textura média A moderado, ARGISSOLO AMARELO textura média com horizontes A antrópico (denominado localmente de Terra Preta de Índio), GLEISSOLO HÁPLICO siltoso, horizonte A incipiente. Amostras em horizontes A e B de áreas com LATOSSOLO AMARELO textura argilosa A incipiente e amostras de Cambissolo Háplico. As análises de variância (ANOVA) e testes de comparação de médias (Tukey Test) foram realizadas por meio do programa estatístico R, a fim de avaliar diferenças significativas entre os três métodos testados. Nesse estudo, a densidade variou de 860 kg m³ nas Áreas de Latossolo Amarelo até 1670 kg m³ na área Argissolo TPICultivada. Os resultados encontrados por meio do MT foram maiores nas profundidades que determinados MC. Os valores estimados pelo método do torrão são maiores que os dois métodos anteriores. Não há diferenças entre o tamanho dos torrões.

Palavras chaves: Torrão, Cilindro, Querosene, Latossolos, Gleissolos.

ABSTRACT

Soil is a resource base that supports all the canopy of land, without which living beings can not exist and beyond that occupies a large area in the world, is a major source of energy. The culture change in soil physical properties in relation to the ground not grown. In Brazil, the main methods for determining the density are the methods of the cylinder and ball sealed. There is also a method for evaluating the density of the soil rather widespread in Brazil, called the method of the ball in kerosene. The aim was to compare the values of soil density of the main classes of soil of the Amazon evaluated by different methods. Samples of soil were collected in three different areas: Field Trial of Caldron, Embrapa Western Amazon and the municipality Urucu. Samples were collected in medium texture Yellow Argisol the moderate, with medium texture Yellow Argisol horizons The anthropic (locally known as the Land of Black Indian), Gleissolo Haplic silty, The incipient horizon. Samples in A and B horizons of areas with clay Oxisol The incipient and samples of Cambisol Haplic. The analysis of variance (ANOVA) tests and comparison of means (Tukey test) were performed using the statistical program R, to assess significant differences among the three methods tested. In this study, the density ranged from 860 kg m³ in Areas of Oxisol until 1670 kg m³ in the area Argisol TPICultivada. The results found by MT were higher at depths that certain MC. The values estimated by the method of the ball are larger than the two previous methods. There are no differences between the sizes of cubes.

Key words: News, Cylinder, Kerosene, Oxisols, Gleysols.

Lista de Tabelas

<i>Tabela 1.</i> Médias e o desvio padrão das amostras.....	28
<i>Tabela 2.</i> Quadro de análise de variância.....	30
<i>Tabela 3.</i> Comparação de média entre os métodos utilizando o Teste de Tukey HSD....	30
<i>Tabela 4.</i> Comparação de média entre as classes de solo utilizando o Teste de Tukey HSD.....	31

Lista de Figura

<i>Figura 1.</i> Campo Experimental do Caldeirão – AM070 – Iranbuda-AM.....	20
<i>Figura 2.</i> Campo Experimental Embrapa Amazônia Ocidental – AM010 – Manaus-AM.....	21
<i>Figura 3.</i> Base de operação Geólogo Pedro Moura, Província Petrolífera de Urucu, Coari-AM.....	22
<i>Figura 4.</i> Perfil de solo utilizado para coleta de material.....	23
<i>Figura 5.</i> Amostras de solos feitas em cilindros de 100 e 300cc.....	24
<i>Figura 6.</i> Torrões coletados em campo.....	25
<i>Figura 7.</i> Torrão emergido no querosene.....	26
<i>Figura 8.</i> Amostras de solos em estufas a 105°C.....	26
<i>Figura 9.</i> Gráfico os valores da ds em relação ao tamanho do torrão.....	29
<i>Figura 10.</i> Gráfico box-plot – valores da densidade dos solo nas classes de solos e nos horizontes.....	32
<i>Figura 11.</i> Gráfico box-plot – valores médios da densidade nos horizontes A e B das classes de solo estudadas.....	33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	13
2.1 AMAZÔNIA CENTRAL.....	13
2.2 IMPORTÂNCIA DO SOLO.....	13
2.3 CLASSE DE SOLOS.....	14
2.3.1 Latossolos Amarelo.....	15
2.3.2 Gleissolos.....	16
2.3.3 Cambissolos Amazônicos.....	16
2.4 DENSIDADE DO SOLO.....	16
2.4.1 Métodos Avaliados.....	17
2.4.1.1 Métodos do Cilindro ou (Anel Volumétrico).....	17
2.4.1.2 Método do Torrão Impermeabilizado.....	18
2.4.1.3 Densidade de Partículas.....	18
3 OBJETIVOS.....	19
3.1 OBJETIVO GERAL.....	19
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	20
4.1 ÁREA DE COLETA.....	20
4.2 SELEÇÃO DO MATERIAL.....	23
4.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	23
4.3.1 Método do cilindro ou anel volumétrico.....	25
4.3.2 Método do torrão no querosene.....	25
4.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	27
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	28
CONCLUSÕES.....	34
REFERÊNCIAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

Os cultivos dos solos alteram suas propriedades físicas em relação ao solo não cultivado. Tais alterações são mais pronunciadas nos sistemas convencionais de preparo do que nos conservacionistas, as quais se manifestam, em geral, na alteração na densidade do solo, no volume, na distribuição de tamanho dos poros e na estabilidade dos agregados do solo, influenciando a infiltração da água, erosão hídrica e o desenvolvimento de plantas (BERTOL *et al.*, 2004).

Os solos sob diferentes sistemas de produção integrando lavoura e pecuária, apesar de apresentarem indícios de desestruturação, não atingem níveis considerados críticos (SPERA, 2006). Os solos com elevada densidade causam o aumento da resistência à penetração e a diminuição do volume dos macroporos, o que influenciam no crescimento radicular das plantas (HOFFMAN & JUNGK, 1995). A compactação do solo, devida à aplicação de cargas resulta em modificações na estrutura do solo (SOANE & VAN OUWERKERK, 1994). Em função disso, o solo vem sofrendo perda na sua produtividade (SILVA, 2000).

Os aspectos positivos convencionais são perdidos, quando o solo, descoberto pelo efeito do preparo, é submetido às chuvas erosivas, as quais o desagregam na superfície pelo impacto das gotas, (BERTOL *et al.*, 2000) e aumentam o escoamento superficial e a erosão hídrica (BERTOL *et al.*, 1997), em relação aos outros sistemas de manejo do solo.

Apesar das propriedades mecânicas permitirem uma estimativa da capacidade de suporte de carga dos solos, no Brasil, poucos são os trabalhos que quantificam os níveis de pressões que podem ser aplicados para evitar a compactação do solo (KONDO & DIAS JUNIOR, 1999). Trabalhos como os de Araújo Filho (1992) e Silva (2000), mostram que solos de elevada densidade oferecem dificuldades a penetração de cilindros, gerando compactação adicional produzindo deformações.

As informações disponíveis na literatura quanto ao grau de conhecimento da densidade do solo de diferentes classes de solos amazônicos, ainda são consideradas insuficientes para o estabelecimento de estudos específicos que venham caracterizar os mesmos. O principal motivo é a dificuldade de acesso a essas informações. Portanto, a caracterização e a estimativa da densidade do solo permitirá a análise da compactação nestes solos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 AMAZÔNIA CENTRAL

A Amazônia é um dos mais importantes ecossistemas do planeta, devido à extensão de suas florestas tropicais úmidas, à biodiversidade que estas contêm e às taxas em que estão sendo modificadas. Dos cerca de 5 milhões de km² de floresta, mais de 587 mil km² já foram desmatados apenas no território brasileiro (BRASIL, 2002), principalmente devido ao desenvolvimento rápido ocorrido a partir da década de 70.

As áreas alagadas na Amazônia possuem um total de 300.000 km² sendo 200.000 km² várzea e 100.000 km² de igapó (JUNK, 1993). A Amazônia é caracterizada pela extensa bacia hidrográfica e pela floresta tropical úmida. Os ambientes semi-aquáticos apresentam aproximadamente oito meses de períodos de cheia e quatro meses de períodos secos. Um aspecto importante em ambientes de vegetação inundável é a presença de indivíduos adaptados à submersão parcial ou total durante um período prolongado (MAIA, 1997).

O Amazonas situa-se no maior bloco de floresta tropical remanescente da América do Sul. Nesta área, a floresta ainda está intacta, mas a fronteira agrícola está avançando em vários pontos. Cortando a Amazônia Central horizontalmente e verticalmente, estas frentes têm o potencial para fragmentar a região, facilitando sua transformação em paisagens agrícolas e urbanas (HOEFLE, 1987).

2.2 IMPORTÂNCIA DO SOLO

O solo é um recurso básico que suporta toda a cobertura vegetal da terra, sem a qual os seres vivos não poderiam existir e além da grande superfície que ocupa no globo, é uma das maiores fontes de energia. (BERTONI, 1990) e segundo Klein (1998), é um dos principais suportes da produção agrícola e o seu comportamento é regido por um complexo conjunto de fatores físicos, químicos e biológicos. O solo sob vegetação nativa encontra-se, normalmente, em melhor estado de agregação e com teor estável de matéria orgânica (CAMPOS *et al.*, 1995).

De acordo com Letey (1985), a compactação do solo pelo uso de práticas inadequadas de manejo resulta diretamente em aumento na densidade do solo (d_s) e, por consequência, outras propriedades físicas, tais como: a porosidade do solo, a retenção de água, a aeração e a resistência do solo à penetração das raízes.

De acordo com Reynolds *et al.*, (2002) e Dexter (2004), são independentes da textura do solo, mas há indicações de que apresentam limitações para distinguir os efeitos dos sistemas de manejo de solos pertencentes à classe textural arenosa. O uso e o manejo do solo alteram a sua densidade e conseqüentemente a porosidade total e a aeração (KLEIN & LIBORD, 2002). Assim, valores elevados de densidade implicam em valores baixos de porosidade e vice-versa.

2.3 CLASSES DE SOLO

A região Amazônica, com seus 4,8 milhões de km^2 , apresenta em torno de 50% de Latossolos sendo seguido pelos Argissolos na faixa dos 30-35% (DEMATTE, 1988). Os solos de terra firme da Amazônia Central, na sua maioria, são ácidos, pobres em nutrientes e a manutenção da floresta sobre esses solos é garantida pela ciclagem de nutrientes, praticamente fechada (VIEIRA & SANTOS, 1987). Segundo Reichardt (1996), solos de terra firme, devido a sua pobreza em nutrientes, bem como sua baixa capacidade de troca catiônica, atua apenas promovendo uma resistência a lixiviação dos nutrientes, suficiente para que os mesmos sejam eficientemente assimilados pela vegetação.

Nos solos de várzeas, principalmente naqueles que passam por inundação periódica, sob influência das cheias dos rios, ocorrem alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas, que determinam o crescimento e o desenvolvimento das plantas além de benefícios de nutrientes (PONNAMPERUMA, 1972), e sua fertilidade é renovada periodicamente pelo carreamento de sedimentos organominerais em suspensão nas águas de inundação, que atuam como fonte de nutrientes para culturas (MASCARENHAS & MODESTO JUNIOR, 1998).

Na várzea do Solimões/Amazonas, os solos normalmente apresentam teores elevados de silte e de areia fina. Em contraste aos solos bem drenados de terra firme, apresentam

reação menos ácida, níveis mais elevados de cátions básicos, baixos graus de saturação por alumínio e argilominerais de alta atividade (LIMA, 2001).

A Terra Preta de Índio é uma unidade de solo de origem antrópica, existente na Amazônia (SMITH, 1980 e WOODS, 2003). Esses solos, geralmente, estão localizados próximo dos rios e na sua maioria são distribuídos em áreas de dois a cinco hectares (TEIXEIRA & MARTINS, 2003). Estes solos apresentam alta fertilidade, com elevados teores de P, Ca, Mg, Zn, Mn, e com teor elevado de matéria orgânica estável (KERN & KAMPF, 1989).

2.3.1 Latossolo Amarelo

A Amazônia Brasileira é uma vasta área de 3.000.000 km², essencialmente recoberta por uma floresta densa, úmida e que se mantém verde todo o ano. No centro dessa área, dentro da região de Manaus, a progressão da desflorestação é importante, notadamente sobre os solos da classe Latossolo Amarelo que cobrem extensos platôs com declive suave. Esses solos amarelos, muito argilosos e caulíníticos, ocupam perto de 10% da superfície Amazônica (TAVARES FILHO, 2005).

Segundo Vieira & Santos (1987), os Latossolos Amazônicos são solos não hidromórficos que apresentam um horizonte B latossólolico em um perfil profundo, onde o teor de argila cresce lentamente em várias profundidades. São solos envelhecidos, normalmente ácidos, de boa drenagem e muitas vezes apresentam argila e esta classe de solo, encontradas na região com ou sem saturação elevada de alumínio, é formada a partir das Formações Barreiras e Solimões.

Sua estrutura é fraca a moderada, possui potencialidade natural muito baixa, evidenciada pelos teores de saturação. Os teores de matéria orgânica no horizonte superficial são altos (IPEAN, 1969).

2.3.2 Gleissolos

Os Gleissolos são solos hidromórficos, pouco desenvolvidos, com horizonte A moderado, de profundidade variável, assentado sobre um horizonte C gleizado, apresentado teor elevado de matéria orgânica, sempre acima de 5% e características morfológicas, no perfil típico de condições redutoras proporcionadas por um lençol freático próximo ou mesmo à superfície durante grande parte do ano. São mal drenados, com características determinadas pela ação do clima e da vegetação e cujo desenvolvimento é grandemente influenciado pela ação da água no solo, do relevo e da natureza do material parental. Desta forma estes solos apresentam cores neutras, mosqueados geralmente nos horizontes sub-superficiais, em virtude da redução dos compostos de ferro (Fe) que se processa em meio anaeróbio, devido ao encharcamento do terreno (VIEIRA & SANTOS 1987, p 228-229).

Para Schaefer *et al.* (2000), algumas exceções são os Gleissolos da planície aluvial do rio Amazonas, os solos de terraços e baixos planaltos das bacias do Acre e do Alto Amazonas, todos influenciados por sedimentos andinos ou calcários, além de poucas áreas dispersas de afloramentos de rochas. Tais áreas são pouco expressivas e, em muitos casos, apresentam outras limitações ao uso agrícola, além da baixa fertilidade dos solos.

2.3.3 Cambissolos

De acordo com Vieira & Santos (1987), os Cambissolos são solos com perfis em desenvolvimento devido à ação de seus processos pedogenéticos e que estão influenciados por períodos secos prolongados. Os Cambissolos distróficos são encontrados com mais frequência na parte sul e sudoeste da Amazônia, enquanto os Cambissolos eutróficos estão mais restritos à parte sudoeste.

2.4 DENSIDADE DO SOLO

De acordo com Kiehl (1979) e Camargo & Alleoni (1997), a densidade do solo é de grande importância para os estudos agrônômicos, pois permite avaliar atributos como porosidade, condutividade hidráulica, difusividade do ar, entre outros, além de ser utilizada

como indicador do estado da compactação do solo. Segundo Camargo (1983) e Dias Júnior (2000), a determinação da densidade do solo (d_s) é um importante atributo físico do solo, por fornecer indicações do estado de sua conservação.

Segundo Buckman & Brady (1974), os valores da densidade do solo normalmente aumentam com a profundidade, pois, as pressões exercidas pelas camadas superiores sobre as subjacentes, provocam o fenômeno do adensamento, bem como, a movimentação de material fino dos horizontes superiores para os inferiores por eluviação. Assim, solos soltos e porosos terão pesos reduzidos por unidade de volume e os mais densos ou compactados terão valores elevados.

A d_s pode ser definida como a relação existente entre a massa de uma amostra de solo seca a 105°C e a soma dos volumes ocupados pelas partículas e pelos poros. A d_s também é referida como massa específica aparente, peso específico aparente, peso do volume da terra, gravidade específica aparente, ou ainda, densidade global (KIEHL, 1979).

As propriedades físicas de um solo têm influência direta no desenvolvimento radicular da cultura e, conseqüentemente, na sua produtividade. Entre essas propriedades, a densidade é um parâmetro que serve como índice de compactação do solo (BOWEN, 1981; TOMPSON *et al.*, 1987) e é muito usada na avaliação do estado estrutural dos solos (HAKANSSON & VOORHEES, 1997).

2.4.1 Métodos Avaliados

2.4.1.1 Métodos do Cilindro ou (Anel Volumétrico)

O método do cilindro (MC) é considerado como o método padrão de amostragem para avaliação da porosidade total (P_t) e da densidade do solo. Esse método é criticado por provocar uma possível compactação do solo pelo atrito cilindro-solo durante a penetração do mesmo no solo, principalmente quando o solo estiver com umidade acima do ponto de friabilidade, o solo quando o mesmo estiver seco (BLAKE, *et al.*, 1986).

2.4.1.2 Método do Torrão Impermeabilizado

O método do torrão (MT) apresenta a desvantagem de poder segregar a amostra pela ocasião da coleta dos torrões em solos que foram mobilizados e não completamente reconsolidados, desconsiderando os macroporos existentes entre os torrões. O MT é bastante útil em solos pedregosos, ou quando o solo estiver muito seco que impeça a penetração do cilindro no solo (SILVA *et al.*, 2000). No Brasil, os principais métodos para a determinação da densidade do solo são os métodos do cilindro e o torrão impermeabilizado (EMBRAPA, 1997). Há também um método para avaliação da densidade do solo pouco difundido no Brasil, denominado método do torrão no querosene. O método do torrão em querosene é descrito em detalhes em Mathieu & Pieltain, (1998) e Teixeira & Huwe (2003) e se baseia no princípio de Arquimedes.

2.4.1.3 Densidade de Partículas

Segundo Forsythe (1975), a determinação da densidade de partículas do solo (D_p) possui grande relevância como indicativa da composição mineralógica, cálculo da velocidade de sedimentação de partículas em líquidos e determinação indireta da porosidade. Para FLINT & FLINT (2002), a escolha do método para a determinação da D_p leva em consideração aspectos como quantidade do material a ser analisado, disponibilidade de equipamentos e exatidão requerida na determinação, bem como praticidade e tempo de processamento.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

- Determinar a densidade do solo das principais classes de solos na Amazônia Central por diferentes métodos.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Verificar o efeito dos diferentes métodos nas estimativas da densidade do solo;

Verificar o efeito do tamanho do torrão nas estimativas da densidade do solo, pelo método do querosene;

Verificar o efeito do tamanho do cilindro nas estimativas da densidade do solo, pelo método do cilindro metálico;

Verificar os valores da densidade do solo nos horizontes A e B das classes de solo coletadas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ÁREAS DE COLETA

As amostras de solos foram coletadas em três diferentes áreas conforme descritas a seguir:

- Área 1

O Campo Experimental do Caldeirão está localizado no município de Iranubá no km 13 da rodovia AM-70, Estado do Amazonas, na margem esquerda do rio Solimões (**Fig. 1**). A temperatura anual é de 26,7°C e valores médios para as máximas e mínimas de 31,2°C e 23°C respectivamente. Suas coordenadas geográficas são de 03°14'22"S e 03°15'47"S e a 60°13'02"W e 60°13'50"W. Gr. O clima é do tipo Afi, pertencente ao grupo de clima tropical chuvoso.



Figura 1. Campo Experimental do Caldeirão – AM070 – Iranubá-AM. Fonte: Google Earth

Área 2

Estação Experimental da Embrapa Amazônia Ocidental, localizado no município de Manaus. Suas coordenadas geográficas são 3°8' S e 59°52' W. O clima da região é o tropical úmido, tipo Af_i pela classificação de Köppen, apresentando chuvas relativamente abundantes durante todo o ano (média de 2.250 mm), sendo que a quantidade de chuva no mês de menor precipitação é sempre superior a 60 mm. A temperatura média anual na região é de aproximadamente 26° C (**Fig. 2**).



Figura 2. Campo Experimental Embrapa Amazônia Ocidental – AM010 – Manaus-AM. Fonte: Google Earth

Área 3

Base de Operação Geólogo Pedro de Moura, Província Petrolífera de Urucu, situada nas coordenadas geográficas 4°53'S e 65°11'W, município de Coari – AM (**Fig. 3**). O clima é tropical úmido, tipo Af_i pela classificação de Köppen, apresentando precipitação média anual de 2.250 mm. A temperatura média anual da região é de aproximadamente 26°C.



Figura 3. Base de operação Geólogo Pedro Moura, Província Petrolífera de Urucu, Coari-AM. Fonte: Google Earth.

4.2 SELEÇÃO DO MATERIAL

Na área 1, foram coletadas amostras nos horizontes A e B nas classe de solo Argissolos Amarelo textura média A moderado nos horizontes, Argissolos Amarelo textura média com horizonte A antrópico (denominado localmente de Terra Preta de Índio, e Terra Mulata), Gleissolos Háplico siltoso, horizonte A incipiente. Também foram coletados, solos com diferentes tipos de uso (capoeira e áreas cultivadas).

Na área 2 foram coletadas amostras nos horizontes A e B de áreas com Latossolos Amarelo textura argilosa A incipiente (**Fig. 4**). Na área 3, foram coletados amostras de Cambissolos Háplico.

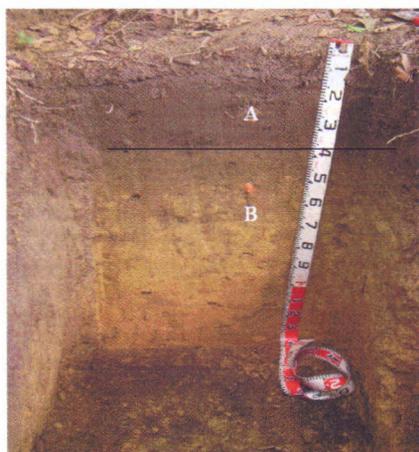


Figura 4: Perfil de solo utilizado para coleta de material.

Nas áreas 1 e 2, foram coletadas amostras indeformadas em cilindros metálicos nos horizontes superficiais (A) e subsuperficiais (B) para comparações de métodos, conforme metodologia descrita a seguir. Na área 3 foram coletadas amostras de solos para comparar o tamanho do torrão.

4.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

As avaliações foram determinadas por meio de duas metodologias:

4.3.1 Método do cilindro ou anel volumétrico (MC)

As amostras de solo foram coletadas com estrutura indeformadas através de anel volumétrico de bordas cortantes e volume interno de 100 e 300 cm³ (Fig. 5), conforme Embrapa (1997).

Foi determinado o volume do cilindro que contém a amostra;



Figura 5. Amostras de solos feitas em cilindros de 100 e 300cc.

O conjunto foi pesado e anotado o peso, para lata de alumínio numerada e de peso conhecido;

As amostras foram colocadas em estufa a 105°C e, após 24h, foi retirado e deixado esfriar para ser pesado novamente.

Calcula-se a densidade do solo (d_s) pela fórmula abaixo, conforme Embrapa (1997).

$$d = m/v$$

Em que:

d = densidade do solo

m = massa

v = volume

4.3.2 Método do torrão no querosene (MT)

Os torrões, selecionados em tamanhos entre 3 a 5 cm de diâmetro, foram secos em estufa de circulação forçada de ar à 105°C, e pesados (p1) (Fig. 6), conforme Embrapa (1997).



Figura 6. Torrões coletados em campo.

O torrão foi embebido em querosene e colocado num becker, sendo coberto inteiramente de querosene e, em seguida, colocado num dessecador a vácuo para retirada de bolhas de ar durante aproximadamente 30 minutos. Após cessar o desprendimento de bolhas, a bomba de vácuo foi desligada;

O torrão foi retirado do becker e deixado para escorrer e secar por aproximadamente 30 minutos sobre uma tela metálica sendo que, após cessar o desprendimento de bolhas, a bomba de vácuo foi desligada.

O querosene restante na superfície do torrão foi eliminado, fazendo rolar o torrão sobre uma folha de papel absorvente;

Novamente, o torrão embebido foi pesado (p2) e colocado sobre o suporte:
Então $p2 = \text{peso do torrão embebido de querosene} + \text{peso do suporte que ficou preso ao fio metálico na balança hidrostática}$;

Pesar o torrão embebido (p3) colocado sobre o suporte e emergido no becker de querosene (Fig. 7); pesando com precisão de 0,01g;

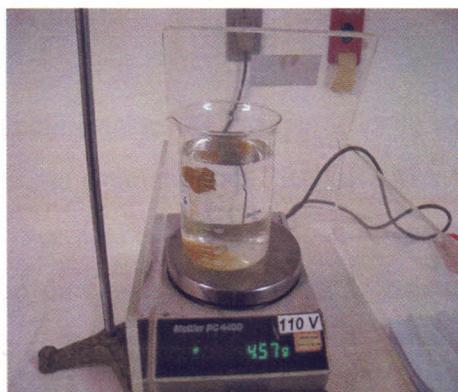


Figura 7. Torrão emergido no querosene.

As amostras de solos, em cilindros pequenos e cilindros grandes e em torrões no querosene foram colocadas em estufas a 105° C por 24 horas (Fig. 8).



Figura 8. Amostras de solos em estufas a 105°C.

Calcula-se a d_s , pelo MT pela fórmula abaixo, conforme Embrapa (1997).

Densidade do querosene: 0,79 kg m³

$$\text{Densidade do torrão} = \frac{\text{Massa seca a 105}^\circ}{\text{Volume do torrão}}$$

Também foram selecionados cinco torrões nos tamanho de 3 a 5 cm e de 10 a 15 cm de diâmetro para comparação do efeito do tamanho do torrão nos valores da densidade do solo.

4.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

As análises de variância e testes de comparação de médias (Teste de Tukey) foram realizados por meio do programa estatístico R (PROGRAMA R, 2006). Foi realizada análise de variância (Anova) para verificar o efeito dos diferentes métodos nas estimativas da densidade do solo em função da classe e horizontes de coleta das amostras. As médias dos fatores que foram significativos na Anova foram comparadas pelo Teste de Tukey, considerando significativas às diferenças com $p < 0,05$.



5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste estudo a d_s variou de 860 kg m^{-3} na área de Latossolo Amarelo em amostras coletadas na profundidade de 0-5 cm até a 1670 kg m^{-3} na área Argissolo com horizonte antrópico cultivado coletado na profundidade de 0-10 cm. Os resultados encontrados utilizando o método do torrão (MT) foram maiores em todas as profundidades que os valores determinados pelo método do cilindro (MC). Silva (2000), num trabalho de comparação entre métodos na determinação da d_s , também encontrou valores determinados por MT maior em relação ao MC. Este fato foi associado à penetração da parafina em macroporos e fendas existentes no torrão.

Os dados da d_s nos três métodos: cilindro pequeno, cilindro grande e torrão (CP, CG, T) estão contidos na Tabela 1. Baixos valores de desvio padrão indicam homogeneidade nos resultados obtidos.

Tabela 1. Médias e o desvio padrão das amostras. Determinações da densidade de partículas (d_p) para fins de cálculo de porosidade do solo.

	Horizonte e Profundidade	Densidade do solo (Média \pm Desvio Padrão) kg m^{-3}			Densidade de Partícula kg m^{-3}	
		Torrão	Cilindro Peq.	Cilindro Grande	Cilindro Pequeno	Cilindro Grande
Arg. TPI Capoeira	A 0-10	1,57 \pm 0,04	1,36 \pm 0,05	1,24 \pm 0,08	2,60	2,63
Arg. TPI Capoeira	B 90-100	1,46 \pm 0,04	1,36 \pm 0,07	1,33 \pm 0,03	2,70	2,69
Arg. TPI Cultivada	A 0-10	1,67 \pm 0,02	1,35 \pm 0,08	1,40 \pm 0,09	2,60	2,62
Arg. TPI Cultivada	B 140	1,48 \pm 0,04	1,31 \pm 0,03	-	2,67	2,71
Arg. TM Capoeira	A 0-10	1,54 \pm 0,08	1,21 \pm 0,08	1,20 \pm 0,05	2,60	2,64
Arg. TM Capoeira	B 90	1,58 \pm 0,05	1,46 \pm 0,04	1,49 \pm 0,02	2,74	2,74
Arg. TM Cultivada	A 0-10	1,57 \pm 0,05	1,24 \pm 0,04	1,19 \pm 0,06	2,60	2,62
Arg. TM Cultivada	B 40-100	1,65 \pm 0,09	1,32 \pm 0,08	1,40 \pm 0,03	2,67	2,71
Gleissolo - Capoeira	A 0-5	1,58 \pm 0,04	1,14 \pm 0,05	1,22 \pm 0,03	2,65	2,61
Gleissolo - Capoeira	B 20-25	1,65 \pm 0,03	1,41 \pm 0,04	1,50 \pm 0,03	2,67	2,64
Latossolo - Floresta primária	A 0-5	1,27 \pm 0,49	0,86 \pm 0,03	0,92 \pm 0,09	2,47	2,48
Latossolo - Floresta primária	B 100	1,21 \pm 0,05	1,01 \pm 0,04	1,02 \pm 0,01	2,66	2,65

A Figura 9 apresenta na forma de gráfico os valores da d_s em relação ao tamanho do torrão. A d_s variou de 1310 kg m^{-3} na área de Latossolo Amarelo até 1580 kg m^{-3} na área de Cambissolo Háplico. Contudo, pode-se observar que não houve diferenças na densidade do solo em relação ao tamanho do torrão. De acordo com Embrapa (1997), torrões com diâmetro de 4 e 7 cm são mais indicados para a determinação da densidade do solo. Torrões menores que 5 cm apresentam riscos de erros operacionais, entretanto, os maiores de 8 cm apresentam dificuldades de manuseio.

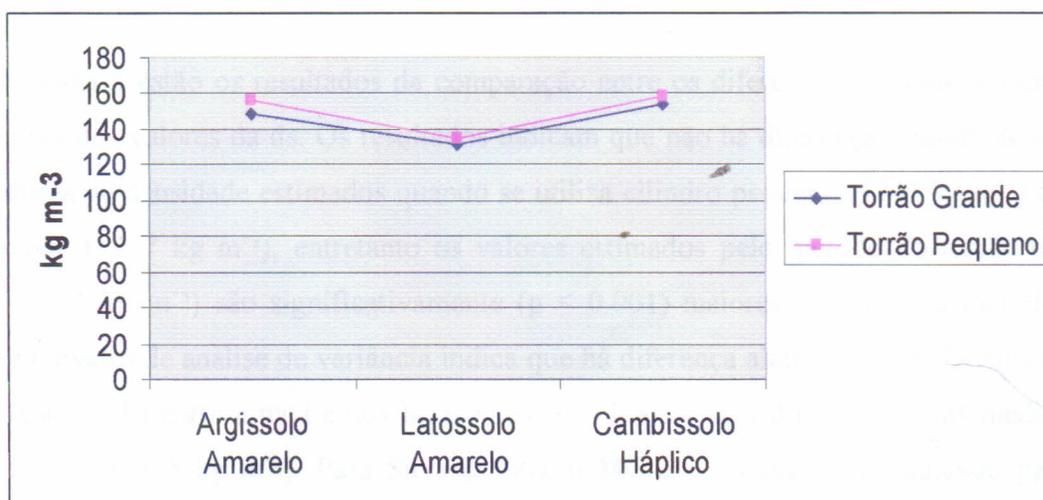


Figura 9. Valores da d_s em função do tamanho do torrão utilizado na determinação – torrão grande $\sim x$ cm e torrão pequeno $\sim y$ cm.

Nas análises estatísticas foram analisados os dados para os efeitos das classes de solo (LA, G, PVA, T PI, PVA_TM), para os horizontes (A e B) e para os métodos (CG, CP, T). A Tabela 2 apresenta o quadro da ANOVA. Há efeito significativo para todos os fatores analisados (métodos, horizontes, classes de solos). Foram feitos então teste de média para verificar as diferenças entre os fatores estudados.

Tabela 2. Quadro de análise de variância para avaliar o efeito dos métodos de determinação da densidade do solo, horizonte de coleta e classe de solo.

Fonte de variação	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	Sig.
Método	3367318	2	1683659	195,022	.000
Horizonte	110871	1	110871	12,842	.000
Classes de solo	3872851	3	1290950	149,534	.000
Erro	1726634	200	8633	-	-

Na Tabela 3 estão os resultados da comparação entre os diferentes métodos testados para estimativa dos valores da ds. Os resultados indicam que não há diferenças significativas entre os valores de densidade estimados quando se utiliza cilindro pequeno (1247 kg m^{-3}) ou cilindro grande (1257 kg m^{-3}), entretanto os valores estimados pelo método do torrão em querosene (1521 kg m^{-3}) são significativamente ($p < 0.001$) maiores que os dois métodos anteriores. O quadro de análise de variância indica que há diferença altamente significativa ($p < 0.001$ – Teste de F) entre a média dos horizontes A (1368 kg m^{-3}) dos valores das médias dos horizontes B (1418 kg m^{-3}). Para Silva (2000), o MC é o método mais indicado para determinação da ds, mas criticado por causar compactação quando o solo estiver seco (BLAKE *et al.*, 1986).

Não verificou diferença significativa quanto aos valores da ds em relação ao tamanho do cilindro utilizado. Resultados semelhantes foram encontrados por Blake *et al.*, (1986).

Tabela 3. Comparação de média entre os métodos utilizando o Teste de Tukey HSD.

	N	Subset	
Método	52	1	2
Cilindro Pequeno	47	1247.50a	-
Cilindro Grande	108	1257.02a	-
Torrão	-		1521.9b
Sig.	-	.840	1.000

As médias seguidas das mesmas letras na linha não diferem pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Na Tabela 4 mostra os resultados da comparação entre as médias das classes de solo utilizando-se o Teste de Tukey. Os valores da densidade média do Latossolo Amarelo considerando os dois horizontes analisados (A e B) foram significativamente ($p > 0.05$ – Teste de Tukey) mais baixos (1093 kg m^{-3}) que os valores de densidade do Argissolo Amarelo com horizontes antrópico TPI (1442 kg m^{-3}), Gleissolo (1462 kg m^{-3}) e Argissolo Amarelo com horizontes antrópico TM (1480 kg m^{-3}) que não diferiram entre si ($p < 0.05$ – Teste de Tukey).

Tabela 4. Comparação de média entre as classes de solo utilizando o Teste de Tukey HSD.

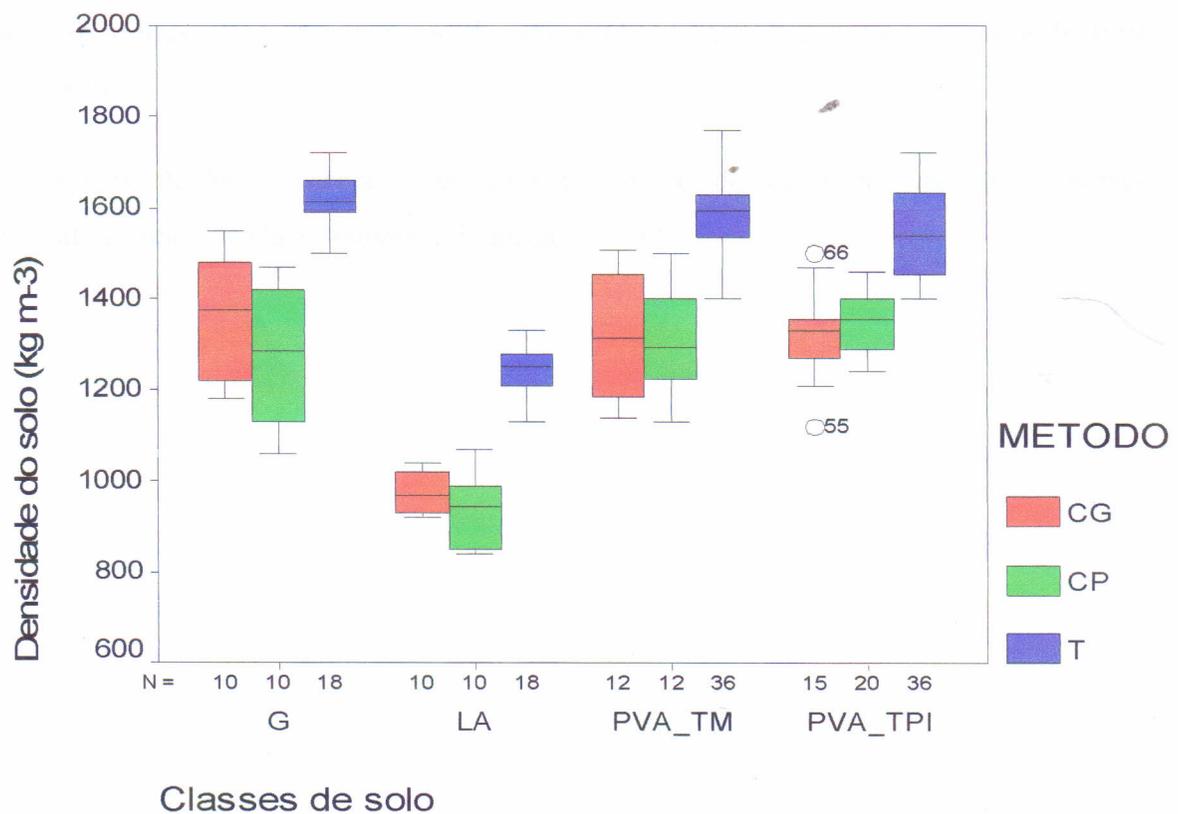
SOLO	Subset	
	1	2
LA	-	1093.16b
PVA_TPI	1442.39a	-
G	1462.11a	-
PVA_TM	1480.17a	-

As médias seguidas das mesmas letras na linha não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

Na Figura 10 é apresentado na forma de um gráfico Box-Plot os valores da ds nas classes de solos e nos horizontes. Observa-se que o horizonte A apresenta maior amplitude indicando a maior variabilidade da densidade na superfície do solo que nos horizontes B em todas as classes de solo estudada. Os valores médios da densidade no horizonte B tende a ser superior ao do horizonte A.



Na Figura 11 é apresentado na forma de um gráfico Box-Plot os valores médios da densidade nos horizontes A e B das classes de solo estudadas. Observa-se que o MT em todas as classes de solo mostra valores superiores da densidade. A significância desta diferenças foi estudada através de estudo da análise de variância, considerando um delineamento inteiramente casualizado com três fatores (classe de solo, horizonte, método de determinação da densidade).



CONCLUSÕES

Os valores médios da densidade do solo estimados pelo método do torrão em querosene foram significativamente ($p < 0.001$) maiores que o método do cilindro volumétrico, independente do tamanho dos cilindros avaliados;

Há diferença altamente significativa ($p < 0.001$) entre os valores médios da densidade do solo dos horizontes A (1368 kg m^{-3}) dos valores das médias dos horizontes B (1418 kg m^{-3});

Não há diferenças significativas entre os valores de densidade do solo estimados quando se utilizou o cilindro pequeno de 100 cc (1247 kg m^{-3}) do cilindro grande de 300cc (1257 kg m^{-3});

Os resultados mostraram que para o método do querosene não há diferenças significativas relacionada ao tamanho do torrão testado.

REFERENCIAS

ARAÚJO FILHO, J.C. **Infiltração e disponibilidade hídrica em Cambissolos do Baixo de Irece** – Bahia. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1992. 224p. (Tese de Mestrado).

BERTOL, I; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL A. J.; ZOLDAN JUNIOR W. **A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo.** Rev. Bras. Ciênc. Solo, 2004, vol.28, no.1, 155-163 p.

BERTOL, I.; COGO, NP; LEVIEN, R. **Erosão hídrica em diferentes preparos do solo logo após a colheita de milho e trigo, na presença e ausência de resíduos culturais.** R. Bras. Ci. Solo, 21:409-418, 1997.

BERTOL, I Schick, J.; MASSARIOL, J.M.; REIS, É.F.dos.; DILY L. **Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico álico afetadas pelo manejo do solo.** Ci. Rural, 2000. 30:91-95.

BERTONI, J., LOMBARDI NETO, F. **Conversação do solo.** ed. Icone. São Paulo 1990.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. **Methods of soil analysis. Physical and mineralogical methods.** Madison : ASA, 1986, p.363-375.

BOWEN, H.D. **Alleviating mechanical impedance.** In: ARKIN, G.F., TAYLOR, H.M., (eds). **Modifying the root environment to reduce crop stress.** St. Joseph : American Society of Agricultural Engineers, 1981, p.21-57.

BRASIL, INPE. **Monitoring of the Brazilian Amazon forest by satellite 1999-2000.** National Institute for Space Research. SÃO José dos Campos, SP, Brazil, 2002.

BUCKMAN, H. O.; BRADY, N. C. **Natureza e Propriedade dos Solos,** Biblioteca Universitária Freitas Bastos, Rio de Janeiro, 1974.

CAMARGO, A.O. **Compactação do solo e desenvolvimento de plantas.** Campinas, Fundação Cargill, 1983, 44p.

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e desenvolvimento das plantas.** Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997, 132p.

CAMPOS, B.C. REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. **Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo.** R. Bras. Ci. Solo. 1995, 19:121-126.

DEMATTÊ, J.L.I. **Manejo de solos ácidos dos trópicos úmido da região amazônica.** Campinas, Fundação Cargill, 1988. 215p.

DEXTER, A.R. **Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth.** Geoderma, 2004, 120:201-214.

DIAS JUNIOR, M.S. **Compactação do solo.** In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & SHAEFER, C.E.G.R. **Tópicos em ciências do solo.** Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2000. v.1. p.55-94.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo. 2. ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212 p.**

FLINT, A.L.; FLINT, L.E. **Particle density.** In: DANE, J.H ; TOPP, G.C. (Ed). **Methods of soil analysis: part 4 – physical methods.** Madison: American Society of America, 2002. p.229-240.

FORSYTHE, W. **Física de suelos.** Costa Rica: IICA, 1975. 212p.

FOUNDATION FOR STATISTICAL COMPUTING. **R: A Language and Environment for Statistical Computing Reference Index - The R Development Core Team.** Version 2.4.1 (2006-12-18), 1999–2003. 1503p.

GOOGLE EARTH. **Google Earth 4.3 (beta) – Download.** Data de acesso: 20/11/2008. página web: <http://earth.google.com.br/download-earth.html>.

HAKANSSON, I., VOORHEES, W.B. **Soil compaction.** In: LAL, R., BLUM, W.H., VALENTIN, C., (eds). **Methods for assessment of soil degradation.** Boca Raton: Lewis, 1997, p.167-179.

HOEFLE, S.W. **Nordeste: Desequilíbrio Econômico, Autoritarismo e Voto de Cabresto.** Comunicação e Política, vol. 7, (1), 1987, 21-58 p..

HOFFMAN, C. & JUNGK, A. **Growth and phosphorus supply of sugar beet as affected by soil 2 compaction and water tension.** Plant Soil, 1995, 176:16-25.

INSTITUTO DE PESQUISA E EXPERIMENTÇÃO AGROPECUÁRIA DO NORTE – IPEAN. **Os solos da área Manaus-Itacoatiara.** Rio de Janeiro, 1969, 116p.

JUNK, W. J. **Wetlands of tropical South America.** In: Whigham, D.; Hejny, S.; Dykyjova, D. (eds.) **Wetlands in the Amazon floodplain.** *Hidrobiologia*, 1993, 263:155-162.

KERN, D.C.; KÄMPF, N. **Antigos assentamentos indígenas na formação de solos com terra preta arqueológica na região de Oriximiná, Pará.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 1989, v.13, p.219-225.

KIEHL, E. J.; **Manual de Edafologia Relações Solo-Planta, Editora Agronômica Ceres, São Paulo, 1979, p. 89-91.**

KLEIN, V.A. **Propriedades físico-hídrico-mecânica de um latossolo roxo, sob diferentes sistemas de uso e manejo.** 1 Curso de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, ESALQ/Universidade de São Paulo. 1998. 150f. (Tese Doutorado)

KLEIN, V. A & LIBORD, L.P. **Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo.** R. Bras. Ci. Solo Viçosa (MG), 2002, V.26, p.857-867.

KONDO, M.K. & DIAS JUNIOR, M.S. **Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso.** R. Brás. Ci. Solo, 23:211-218, 1999.

LETEY, J. **Relationship between soil physical properties and crop production.** Adv. Soil Sci., 1985., 1:277-294.

LIMA, H.N. **Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental.** Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 176p. (Tese de Doutorado).

MAIA, L. M., **Influência do Pulso de Inundação na Fisiologia, Fenologia e Produção de Frutos de Hevea spruceana (Euphorbiaceae) e Eschweilera tenuifolia (Lecythidaceae), em áreas inundáveis de igapó da Amazônia Central.** 1997. 186p. (Tese de Doutorado).

MATHIEU, C; PIELTAIN, F. **Analyse physique des sols: méthodes choisies.** Paris: Technique & documentation, 1998. 275 p.

MASCARENHAS, R.E.B. & MODESTO JUNIOR, M.S. **Plantas daninhas de várzea do rio Guamá (PA)**. Belém, Embrapa/CPATU, 1998. 52p.

PONNAMPERUMA, F.N. **The chemistry of submerged soils**. Adv. Agron, 1972, 24:29-96.

REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. 2ª. ed., USP/ESALQ. Piracicaba, São Paulo, 1996, 513 pp.

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

SCHAEFER, C.E.G.R. LIMA, H.N.; VALE JÚNIOR, J.F. & MELLO, J.W.V. **Uso dos solos e alterações da paisagem na Amazônia: cenários e reflexões**. B. Museu Paraense Emílio Goeldi, Ser. Ci. Terra, 2000, 12:63-104.

SILVA, M.S.L. **Caracterização e gênese do adensamento superficial em solos de tabuleiros do semi-árido do Nordeste do Brasil**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. 126p. (Tese de doutorado).

SILVA, Vanderlei Rodrigues da; REINERT, Dalvan José e REICHERT, José Miguel. **Comparação entre os métodos do cilindro e do torrão na determinação da porosidade e da densidade do solo**. Cienc. Rural, 2000, vol. 30, no. 6, pp. 1065-1068.

SMITH, N.J.H. **Anthrosol and human carrying capacity in Amazonia**. Annals of the Association of American Geographers, Durham, 1980 v.70, 553-566p.

SOANE, B.D. & VAN OUWERKERK, C. **Soil compaction problems in World agriculture**. In: SOANE, B.D. & VAN OUWERKERK, C., eds. Soil compaction in crop production Amsterdam, Elsevier, 1994, p.1-21.

SPERA, S.T. SANTOS, H.P. dos ; FONTANELI, R.S. ; TOMM, G. O. **Efeito de pastagens de inverno e de verão em características físicas de solo sob plantio direto**. Revista Brasileira de Ciência Rural, Santa Maria, 2006, v.36, n.4, p.1193-1200.

TAVARES FILHO, J.; GRIMALDI, M.; TESSIER, D. **Compressibilidade de agregados de um Latossolo Amarelo da Amazônia em resposta ao potencial da água do solo**. Rev. Bras. Ciênc. Solo, 2005, vol. 29, no. 4, pp. 489-495.

TEIXEIRA, W.G.; MARTINS, G.C. **Soil physical characterization.** In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B.; WOODS, W.I. (Ed.). **Amazonian dark earths; origin, properties and management.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p.271286.

TEIXEIRA, W. G.; SCHROTH, G.; MARQUES, J.D.; HUWE, B. **Sampling and TDR probe insertion in the determination of the volumetric soil water content.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Vicosa, 2003, v. 27, p. 575-582.

THOMPSON, P.J.; JANSEN, I. J.; HOOKS, C. L. **Penetrometer resistance and bulk density as parameters for predicting root system performance in mine soils.** Soil Science Society of America Journal, Madison, 1987, v.51, p.1288-1293.

VIEIRA, L. S.; SANTOS, P.C.T.C. **Amazônia seus solos e outros recursos naturais.** Ed. Agronômica Ceres. São Paulo, 1987, 416 pp.

WOODS, W.I. **Development of antrosol research.** In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B.; WOODS, W.I. (Ed.). **Amazonian dark earths; origin, properties and management.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003, p.3-14.