

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE APOIO À PESQUISA
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS SOLOS EM
ÁREAS UTILIZADAS COMO ESTACIONAMENTOS NO CAMPUS
UNIVERSITÁRIO DA UFAM.**

Voluntário: Rodrigo da Silva Oliveira.

**MANAUS – AM
2012**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE APOIO À PESQUISA
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**

RELATÓRIO FINAL

PIB – A 007/2011

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS SOLOS EM
ÁREAS UTILIZADAS COMO ESTACIONAMENTOS NO CAMPUS
UNIVERSITÁRIO DA UFAM.**

Voluntário: Rodrigo da Silva Oliveira.

Orientador: Dr. Afrânio Ferreira Neves Junior.

**MANAUS – AM
2012**

Sumário

Resumo	4
Introdução	5
1. Revisão bibliográfica.....	7
1.1. Qualidade do solo (Qs).....	8
1.2. Indicadores da qualidade física dos solos.....	9
1.2.1. Densidade do solo (Ds)	9
1.2.2. Porosidade total do solo (PT)	10
1.2.3. Resistência à penetração (RP).....	10
1.2.4. Granulometria do solo.....	10
2. Material e métodos	12
3. Resultados e discussão.....	15
3.1. Estacionamento da biblioteca do setor Sul do Campus da UFAM.....	15
3.2. Faculdade de Direito – FD	17
3.3. Faculdade de Tecnologia – FT	19
4. Conclusão	22
5. Referências	23
6. Cronograma de Atividades	27

Resumo

Estimativas de mais de uma década consideravam que 15% do solo mundial encontrava-se degradado ou em processo de degradação. No Brasil, ocorrem sérios problemas de degradação do solo, muitas vezes resultantes da falta de informação sobre as potencialidades e limitações de uso e manejo adequado do solo. Como consequência ocorre a perda de solo por erosão, a redução dos teores de matéria orgânica e a compactação do solo. No campus universitário da Universidade Federal do Amazonas – UFAM é possível encontrar áreas que estão sendo utilizadas como estacionamentos. No entanto, estas áreas não foram preparadas e planejadas para tal uso. As condições pluviométricas da região e o intenso tráfego de veículos pode causar a compactação do solo, ocasionando problemas na estrutura do solo, relacionados à drenagem, infiltração e diminuição da capacidade de retenção de água. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi verificar, por meio de propriedades físicas do solo e índices de compactação, se os solos das áreas utilizadas como estacionamento apresentam-se compactados. Para realização do estudo foram escolhidas três áreas do Campus utilizadas com a finalidade de estacionamento de veículos: biblioteca do Mini-campus (Est1); Faculdade de Direito (Est2) e Faculdade de Tecnologia (Est3). O solo das áreas de floresta, adjacentes aos estacionamentos, foram utilizadas como testemunhas. A densidade do solo (D_s), porosidade total (PT), resistência do solo à penetração de raízes (RP) e granulometria foram as propriedades físicas do solo utilizadas para avaliar as áreas do presente estudo. Além destes parâmetros, a macroporosidade, microporosidade, densidade máxima do solo e densidade relativa foram estimadas para avaliar o grau de compactação do solo. As propriedades físicas avaliadas apresentaram resultados significativamente diferentes entre as áreas do estudo. Os resultados de RP foram maiores que 2 MPa (valor crítico) nas três áreas de estacionamento, embora que a D_s e PT tenham apresentado valores adequados ao crescimento de plantas. Nas áreas denominadas Est2 e Est3 foram encontrados valores de D_{srel} acima do nível adotado como crítico (87%). As áreas denominadas Est2 e Est3 encontram-se compactadas. Já a área denominada Est1 não apresentou indícios de compactação do solo.

Introdução

A partir da década de sessenta do século passado, o quadro de degradação ambiental entrou em evidência. Posteriormente, a discussão ambiental tornou-se um assunto polêmico, atingindo vários segmentos da sociedade. Dentre os tópicos associados à consciência ambiental, o solo passou a ser considerado e analisado como um recurso natural de essencial importância para a manutenção da vida e do meio ambiente (SANTOS, 2007).

Este tem sido utilizado de diversos modos e com várias funções em obras de engenharia (estradas, barragens, linhas de transmissão de energia, etc.), em atividades de mineração (exposição de jazidas de minérios, matérias primas para olarias e cerâmicas, etc.) e em assentamentos de comunidades urbanas. E todos esses usos podem redundar em degradação, principalmente se a utilização for feita numa intensidade acima da capacidade de suporte e de oferta para determinada função (GOEDERT e OLIVEIRA, 2007). A degradação dos solos constitui um prejuízo socioeconômico para as gerações atuais e representa um enorme risco para as gerações futuras (WANDT et al., 2003)

Estimativas de mais de uma década consideravam que 15% do solo mundial encontrava-se degradado ou em processo de degradação (DIAS et al., 2007). No Brasil, ocorrem sérios problemas de degradação do solo, muitas vezes, resultantes da falta de informação sobre as potencialidades e limitações de uso e um bom manejo desse recurso. Exemplos desses problemas são a perda de solo por erosão,

a redução da matéria orgânica e a compactação que concorrem para a degradação física do solo, com consequente perda de uma ou mais destas funções (LAL, 1990).

A falta de atenção a estes aspectos tem elevado o custo ambiental e econômico, evidenciando a necessidade de revisão das práticas de manejo prevalentes e adoção de práticas que melhorem o manejo do solo permitindo a sua utilização sustentável (LAL, 1990), a fim de garantir a manutenção dos recursos naturais e também atender as necessidades sociais no uso do ambiente (TOMÉ, 2004).

No campus universitário da Universidade Federal do Amazonas – UFAM é possível encontrar áreas que estão sendo utilizadas, como estacionamentos, no entanto estas áreas não foram preparadas, planejadas para desempenharem esta função. E de acordo com Reichert et al. (2010), de todas as pressões a que o solo pode ser submetido, pisoteio de animais, força imposta pelo crescimento das raízes, peso das camadas de solo, tráfego de máquinas, entre outras. Esta última é a que impõe as maiores alterações ao solo.

Considerando as condições pluviométricas da nossa região e o intenso tráfego de veículos com cargas diferentes, independente da umidade em que o solo se encontre, estas áreas acabam por apresentar sérios problemas relacionados à retenção, drenagem e infiltração de água no solo. Dando início a processos erosivos que comprometerão a área em si e as áreas de floresta adjacentes. Tais comprometimentos podem impossibilitar o seu uso atual, assim como usos futuros que poderiam ser dados a esta área, sejam para fins de recreação, reflorestamento, projetos paisagísticos, entre outros.

Desta forma os objetivos deste trabalho foram verificar se os solos das áreas utilizadas como estacionamento apresentam-se compactados.

1. Revisão bibliográfica

O solo é definido como uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais e dinâmicos, formada por materiais minerais e orgânicos que ocupam maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, contém matéria viva e podem ser vegetados na natureza onde ocorrem e, eventualmente, terem sido modificados por interferências antrópicas (Embrapa, 2006).

Do ponto de vista da física é considerado um sistema trifásico muito heterogêneo, poroso e não rígido formado de partículas que apresentam complexidade de forma, tamanho e estrutura mineralógica, e de algumas partículas finitamente divididas de maneira a apresentar uma grande área superficial (VAN LIER, 2010).

Segundo Reichert et al. (1993) não existe um único conceito para o solo e este apresenta diversas funções, dentre elas podemos citar a promoção de meio de crescimento das plantas; regular e compartimentalizar o fluxo de água no ambiente; estocar e promover a ciclagem de elementos na biosfera e atuar como tampão ambiental (LARSON & PIERCE, 1994). Para que isso seja possível e o solo desempenhe adequadamente suas funções, as interações entre os processos químicos, físicos e biológicos devem estar funcionando perfeitamente.

No entanto as atividades humanas modificam os sistemas naturais e acabam por originar as áreas alteradas, tais modificações podem melhorar, conservar ou diminuir a capacidade produtiva. Assim sendo, a alteração de uma área não significa necessariamente sua degradação. Contudo, se essa alteração ocorre juntamente

com os processos que levam a perda de capacidade produtiva do sistema, diz-se que as áreas estão degradadas. E uma forma de identificar essa degradação é a determinação de atributos e/ou características que nos permita inferir sobre a qualidade do solo.

1.1. Qualidade do solo (Qs)

Segundo Goedert e Oliveira (2007), o uso intensivo e irracional do solo pode resultar em diminuição da sua qualidade, com graves consequências sociais, econômicas e ambientais. Desta forma, o uso dos recursos do solo deve ser realizado de forma racional, com vista a satisfazer as necessidades atuais e das futuras gerações, através do estabelecimento de estratégias de uso que respeitem sua capacidade de oferta de recursos, manejando-o de modo a manter ou melhorar sua qualidade.

A qualidade do solo refere-se às condições ótimas para que o solo funcione adequadamente. Reichert et al., (2003), define que um solo, com adequada qualidade física, é aquele que permite a infiltração, retenção e disponibilidade de água às plantas, córregos e subsuperfície, responde ao manejo e resiste à degradação, permite as trocas de calor e de gases com a atmosfera e raízes das plantas, e permite o crescimento das raízes.

Para Goedert e Oliveira (2007) a qualidade aborda três linhas de pensamento. A primeira procura identificar os melhores indicadores (atributos ou propriedades) físicos, químicos e biológicos de funções que o solo deve cumprir. A segunda considera a matéria orgânica do solo, bem como seus compartimentos, como o melhor indicador de qualidade do solo. E a terceira deixa de lado os indicadores e procura analisar os processos no sistema solo-planta, envolvendo o nível de organização dos componentes do solo.

No Brasil a Qs tem sido abordada pela primeira linha de pensamento. Um dos desafios da pesquisa é como avaliar a qualidade de um solo, de uma maneira simples e confiável.

Esta pode ser avaliada por meio da quantificação de alguns indicadores ou atributos, ou seja, de propriedades físicas, químicas e biológicas que possibilitem o monitoramento de mudanças no estado de qualidade deste solo. No entanto, para que estes indicadores tenham uma utilidade prática eles devem ser sensíveis às

variações de manejo, correlacionar-se com as funções do solo, ser de fácil mensuração e baixo custo (DORAN & ZEISS, 2000).

1.2. Indicadores da qualidade física dos solos

A escolha dos indicadores deve considerar, dentre outros, os seguintes aspectos: facilidade de medição, resposta a mudanças, limite claro entre condições de sustentabilidade e não sustentabilidade e relação direta com requerimentos de qualidade do solo (GOEDERT E OLIVEIRA, 2007).

Podem ser usados como indicadores da qualidade física dos solos: a matéria orgânica do solo, o intervalo hídrico ótimo, a curva de retenção de água e a estrutura do solo, característica que avaliaremos neste trabalho, uma vez que esta influi diretamente nas condições de adensamento, compactação, encrostamento, infiltração de água e suscetibilidade do solo à erosão (CAMPOS et al., 1995).

A estrutura pode ser avaliada por meio da densidade do solo, porosidade, estabilidade dos agregados, resistência à penetração e infiltração da água no solo.

Uma vez selecionados os atributos que serão utilizados para avaliar a Qs, torna-se necessário definir limites de sustentabilidade, ou seja, quantificar ou calibrar as informações obtidas pelas medições analíticas, no campo e no laboratório. Têm sido propostos para se estabelecerem critérios de referencia para determinar tais limites: a condição do solo nativo, especialmente para as propriedades físicas (GOEDERT E OLIVEIRA, 2007).

1.2.1. Densidade do solo (Ds)

A densidade do solo é definida como a massa por unidade de volume de solo seco. Este volume inclui partículas sólidas e o espaço poroso do solo. Os solos com maior proporção de espaço poroso em relação ao volume de sólidos possuem menor densidade que solos mais compactados e com menor espaço poroso. Consequentemente, qualquer fator que influencie o espaço poroso afetará a densidade do solo.

A Ds relaciona-se com a estrutura, uma vez que esta é função do arranjo e orientação das partículas do solo, assim como da quantidade e geometria dos espaços porosos. Além da estrutura, a textura do solo também esta relacionada com

a densidade do solo, mas as variações de D_s relacionadas com a textura não constituem isoladamente um adequado indicador da qualidade física do solo, devendo ser associada com outras propriedades e características do solo.

Mudanças na densidade do solo são facilmente medidas e podem ser um indicador de alterações na qualidade do solo e no funcionamento do ecossistema. Aumentos na densidade geralmente implicam em diminuição na qualidade do solo para crescimento radicular, redução da aeração e mudanças indesejáveis no comportamento da água no solo, como redução da infiltração.

1.2.2. Porosidade total do solo (PT)

A porosidade do solo é reflexo direto da estrutura e textura do solo, sendo os poros determinados pelo arranjo e geometria das partículas, diferindo quanto à forma, comprimento, largura e tortuosidade. A porosidade reflete o efeito do manejo, podendo sofrer alteração, tendo em vista a frequente redução dos poros, que ocorre devido à quebra de agregados e conseqüente entupimento dos poros.

1.2.3. Resistência à penetração (RP)

A resistência mecânica do solo à penetração representa a força que as raízes das plantas devem exercer para romper o solo. É influenciada diretamente pela densidade do solo, proporcionando um indicativo do estudo da compactação do solo, sendo variável com o conteúdo de umidade, textura e estrutura do solo.

A resistência à penetração mostra-se útil na avaliação da qualidade física do solo por permitir a identificação de valores potencialmente limitantes ao crescimento das raízes, além de possibilitar o estabelecimento de valores críticos de umidade e de densidade (IMHOFF et al., 2000).

O uso dos solos pode provocar alterações na resistência do solo à penetração, modificando-se de forma negativa, devido à desagregação da estrutura do solo. De forma que solos alterados, em geral, apresentam maior resistência à penetração quando comparados com solos sob vegetação natural.

1.2.4. Granulometria do solo

A análise granulométrica é uma medida do tamanho das partículas individuais em uma amostra de solo (GEE; BAUDER, 1986 citados por NEVES JUNIOR, 2008), estimada pela capacidade das partículas passarem através de peneiras com tamanhos definidos ou pela sedimentação das partículas em água.

As proporções são geralmente representadas pelo peso relativo das partículas dentro de uma classe de tamanho estabelecida (SHELDRICK; WANG, 1993 citados por NEVES JUNIOR, 2008).

A composição granulométrica é uma propriedade física (qualitativa) de extrema importância no solo, pois controla a retenção (água e nutrientes) e as trocas gasosas. É a propriedade que influencia a maioria das outras propriedades e os processos do solo, além disso, a composição granulométrica muda pouco através do tempo (relativo) para um determinado solo (NEVES JUNIOR, 2008).

1.2.5. Grau de compactação

Apesar de densidade do solo, a porosidade total e de aeração e a resistência à penetração poderem ser utilizados para caracterizar o estado de compactação dos solos, o valor desses atributos varia entre solos e estados de compactação (SUZUKI et al., 2007). Para um mesmo valor de densidade do solo, o grau de compactação é maior num solo argiloso, em relação a um arenoso (Silva et al., 2010).

Segundo este autor, uma forma de contornar esse problema é a utilização da grandeza relativa ou grau de compactação. Esta é definida como a relação entre a densidade atual e a densidade máxima de um solo (Silva et al., 2010). A densidade máxima é o valor máximo de densidade que pode ser obtido para um solo (Reichert et al., 2010).

O grau de compactação ou compactação relativa pode ser um parâmetro útil de fácil medição para indicar mudanças nos parâmetros físicos com macroporosidade, condutividade hidráulica, permeabilidade ao ar e resistência à penetração do solo (CARTER, 1990 citado por SUZUKI et al., 2007).

2. Material e métodos

O experimento foi conduzido no Campus Universitário da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, Manaus/AM. Para realização do estudo foram escolhidas três áreas do Campus utilizadas com a finalidade de estacionamento de veículos: biblioteca do (mini-campus) Setor sul (Est1), Faculdade de Direito (Est2) e Faculdade de Tecnologia (Est3). Como testemunhas foram utilizados os solos adjacentes sob floresta, próximos às áreas de estacionamento.

As propriedades físicas que foram determinadas para avaliar a compactação do solo são: densidade do solo (D_s), porosidade total (PT), resistência mecânica à penetração (RP) e granulometria do solo. Além destes parâmetros, a macroporosidade, microporosidade, densidade máxima do solo e densidade relativa foram estimadas a partir dos dados de granulometria e densidade do solo (Stolf et al., 2011).

A D_s foi determinada pelo método do anel volumétrico (5 cm x 5 cm). Em cada área foram coletadas 10 amostras indeformadas na profundidade de 0-20 cm, utilizando um amostrador de solo (Figura 1).



Figura 1. Trado para coleta de amostras indeformadas utilizadas no experimento.

No laboratório as amostras foram preparadas e pesadas para a obtenção do peso úmido, necessário para a determinação da umidade do solo. Em seguida as amostras foram levadas à estufa onde foram secas a 105°C por 24 horas, para determinação do conteúdo da massa de solo seco (MSS) e assim obter-se a densidade do solo (D_s) conforme Blake e Hartge (1986), dada pela seguinte equação:

$$D_s = \text{MSS}/\text{VT}$$

Onde D_s = densidade do solo (Mg m^{-3}); MSS = massa de solo seco a 105°C (Mg); VT = volume total (m^3).

A porosidade total do solo (P_t) foi calculada a partir dos valores de densidade do solo e de densidade de partículas, seguindo a expressão:

$$P_t = [1 - (D_s/D_p)]$$

Onde P_t = porosidade total do solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); D_s = densidade do solo (Mg m^{-3}); D_p = densidade de partículas (Mg m^{-3}).

A determinação da resistência à penetração (RP) foi realizada *in loco*, em pontos adjacentes aos pontos onde foram coletadas as amostras para a determinação da densidade do solo, permitindo assim que se possa fazer a correlação com a umidade do solo no momento da determinação da RP. Esta foi realizada por meio da utilização de penetrômetro de impacto da marca Sonda Terra, onde os valores em impacto/dm foram obtidos por um peso constante para a penetração da haste, logo transformados para MPa, pela equação de Stolf:

$$RMP = \left(5,6 + 6,89 \times \left(\left(\frac{N}{P - A} \times 10 \right) \right) \times 0,0981 \right)$$

Onde: N é o número de impactos realizados com o martelo do penetrômetro para a obtenção da leitura, A e P são, respectivamente, as leituras antes e depois da realização dos impactos (cm).

A análise granulométrica foi determinada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997). Em cada área foram coletadas 10 amostras de solo. Após a coleta as amostras foram destorroadas, secas ao ar e passadas em peneira com abertura de malha de 2 mm para a obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA).

A macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), densidade máxima do solo (Dsmax) e densidade relativa (Dsrel) foram estimadas pelas seguintes equações:

$$Ma = 0,693 - (0,465 \times Ds) + (0,212 \times \text{areia})$$

$$Mi = 0,337 + (0,120 \times Ds) - (0,294 \times \text{areia})$$

$$Dsmax = 1,490 + (0,456 \times \text{areia})$$

$$Dsrel = Ds/Dsmax$$

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado. A análise estatística dos resultados consistiu da análise da variância por meio do PROC GLM e comparação de médias pelo teste Tukey (que considera a diferença mínima de 5%). Todas as análises foram realizadas por meio do software estatístico SAS (SAS, 2000).

3. Resultados e discussão

3.1. Estacionamento da biblioteca do setor Sul do Campus da UFAM

Os resultados da análise granulométrica não revelaram diferenças na composição de partículas das áreas estudadas (Tabela 1), pois ambas foram enquadradas na classe textural muito argilosa (argila > 650 g kg⁻¹). Estes resultados permitem avaliar as variáveis do solo entre as áreas de estudo, comparando as modificações da estrutura do solo devido ao uso como estacionamento (Tabela 1).

Tabela 1. Dados de análise granulométrica, classe textural, densidade do solo (Ds), resistência à penetração (RP), umidade (Ug), porosidade total (PT), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), densidade máxima (Dsmax) e densidade relativa (Dsrel) do estacionamento (Est1) e da área de capoeira adjacente (Test1), à biblioteca do setor Sul do Campus da UFAM.

VAR	Argila	Silte	Areia	Classe textural**	Ds	RP	Ug	PT	Ma	Mi	Dsmax	Dsrel
LOCAL	g kg ⁻¹				Mg m ⁻³	MPa	kg kg ⁻¹	m ³ m ⁻³	m ³ m ⁻³	m ³ m ⁻³	Mg m ⁻³	%
Est 1	700	120	180	Muito argiloso	1,33 a	10,19 a	0,38 a	0,50 b	0,11 b	0,44 a	1,57 a	84 a
Test 1	720	80	200	Muito argiloso	0,88 b	0,69 b	0,38 a	0,67 a	0,33 a	0,38 b	1,58 a	56 b

*Valores seguidos por letras iguais não apresentam diferenças estatísticas entre si, pelo teste Tukey a 5%.

** Santos et al. (2005).

*** N = 10.

A densidade do solo (Ds) de Est1 mostrou-se significativamente maior ($p < 0,001$; $F = 313,6$) do que em Test1, com uma amplitude de 1,21 a 1,44 Mg m⁻³ em Est1 e 0,82 a 0,92 Mg m⁻³ em Test1. Para solos muito argilosos, o valor de $Ds < 1,10$ Mg m⁻³ é considerado ideal para o crescimento de plantas e $Ds > 1,39$ Mg m⁻³ pode

afetar o crescimento do sistema radicular (Arshad et al., 1996). Dessa forma, observando apenas os valores de D_s em termos absolutos, ambas as áreas encontram-se dentro dos limites considerados não restritivos ao crescimento de plantas. Moraes et al. (1996) encontraram valor médio, no solo de floresta, de $1,35 \text{ Mg m}^{-3}$ na profundidade de 0-0,10 m. E Neves Junior (2005) observaram uma variação entre 1,35 a 1,67 para mesma profundidade em estudo realizado no município de Ariquemes – RO.

Para a resistência do solo à penetração de raízes (RP) o tratamento Est1 foi superior a Test1 ($p < 0,001$; $F = 246,24$). Em Est1 a RP variou de 7,78 a 13,09 MPa. Os valores encontrados são muito superiores ao valor de $RP = 2 \text{ MPa}$, adotado como limitante ao crescimento de plantas (LAPEN et al., 2004). A área Test1 exibiu resultados menores que 2 MPa (variação entre 0,15 a 0,97 MPa), valores próximos aos encontrados por Neves Junior (2005), para a mesma variável no município de Ariquemes – RO. Este mesmo autor ressalta ainda que um solo que apresenta valores elevados de densidade pode não ser limitante ao crescimento de raízes quando úmido, no entanto, quando este mesmo encontra-se seco, poderá apresentar condições limitantes ao crescimento radicular por apresentar valores elevados de RP por incorporar os efeitos da densidade e umidade do solo.

Para Kiehl (1979), a distribuição da porosidade total de um solo ideal deve ser de $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, sendo a distribuição percentual de 1/3 para macroporos e 2/3 para microporos. Para a porosidade total (PT), o tratamento Test1 foi superior à Est1 ($p < 0,001$; $F = 313,60$). Com 0,46 a $0,54 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ de amplitude em Est1 e 0,65 a $0,69 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para Test1. Apesar da redução significativa de PT, as duas áreas, estão dentro da faixa de 0,30 e $0,70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ estimada por Ferreira (2010).

As modificações foram observadas para macroporosidade e microporosidade, concordando com os resultados de Neves Junior (2005) e Aguiar (2008), onde a redução da PT está associada à redução da macroporosidade e consequente incremento de microporosidade.

A macroporosidade é responsável pela infiltração, rápida redistribuição e aeração do solo (FEREIRA, 2010). Esta exibiu uma variação de 0,06 a $0,17 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para a área de estacionamento (Est1) e de 0,31 a $0,35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para a área adjacente (Test1).

Mesmo Test1 sendo significativamente maior que Est1 ($p < 0,001$; $F = 300,07$), os valores médios observados (Tabela 1) foram superiores a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, valor

considerado necessário para que haja um desenvolvimento satisfatório do sistema radicular (VOMOCIL & FLOCKER, 1966). Resultados muito próximos aos observados por Neves Junior (2005) e Cavenage (1999).

Os valores encontrados de microporosidade (Mi) mostraram-se estatisticamente superiores em Test1Est1 ($p < 0,001$; $F = 287,42$). A variação observada foi de 0,43 a 0,46 $m^3 m^{-3}$ em Est1 e de 0,38 a 0,39 $m^3 m^{-3}$ em Test1, maiores do que os valores encontrados por Neves Junior (2005).

A microporosidade é fortemente influenciada pela textura, teor de carbono orgânico e pouco influenciado pelo aumento da densidade do solo ocasionada pelo tráfego de máquinas (SILVA & KAY, 1997).

A densidade máxima do solo obtida foi de 1,57 $Mg m^{-3}$ para Est1 e 1,58 $Mg m^{-3}$ para Test1, valores baixos atribuídos aos elevados teores de argila encontrados em solos destas áreas (Tabela 1). Com base nesses resultados, é possível observar que, Est1 está a 84% de sua D_{max} , enquanto que Test1 encontra-se a 55%, resultados abaixo do valor considerado limitante (87%) por Hakansson (1990).

Suzuki (2007), ao considerar uma macroporosidade mínima de 0,10 $m^3 m^{-3}$ para o crescimento e desenvolvimento satisfatório das plantas, valor próximo ao encontrado neste trabalho em Est2 (Tabela 2), correspondeu a um grau de compactação de, aproximadamente, 76% no Latossolo e, aproximadamente, 86% no Argissolo.

3.2. Faculdade de Direito – FD

De acordo com Santos et al. (2005) a área de estacionamento (Est2) da Faculdade de direito – FD foi classificada como de textura franco-arenosa, enquanto que a área de capoeira adjacente (Test2) ao estacionamento como de textura muito argilosa (Tabela 2).

Esta diferença entre as duas áreas pode ser atribuída à interferência antrópica, provavelmente houve adição de areia no local, tentativa de minimizar os transtornos aos usuários do estacionamento, principalmente no período chuvoso da região.

Tabela 2. Dados de análise granulométrica, classe textural, densidade do solo (Ds), resistência à penetração (RP), umidade (Ug), porosidade total (PT), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), densidade máxima (Dsmax) e densidade relativa (Dsrel) do estacionamento (Est1) e da área de capoeira adjacente (Test1), à Faculdade de Direito (FD), setor norte do Campus da UFAM.

VAR	Argila	Silte	Areia	Classe textural**	Ds	RP	Ug	PT	Ma	Mi	Dsmax	Dsrel
LOCAL	g kg ⁻¹				Mg m ⁻³	MPa	kg kg ⁻¹	m ³ m ⁻³	m ³ m ⁻³	m ³ m ⁻³	Mg m ⁻³	%
Est 2	180	80	740	Franco-arenoso	1,63 a	5,73 a	0,15 b	0,38 b	0,092 b	0,32 b	1,83 a	89 a
Test 2	660	120	220	Muito argiloso	0,85 b	0,67 b	0,41 a	0,68 a	0,35 a	0,37 a	1,59 b	53 b

*Valores seguidos por letras iguais não apresentam diferenças estatísticas entre si, pelo teste Tukey a 5%.

** Santos et al. (2005).

*** N = 10.

Todas as variáveis estudadas apresentaram diferenças estatísticas entre os tratamentos (Tabela 2). A Ds em Est2 foi maior quando comparada a Test2, resultado da diferença de textura entre as áreas, segundo Ferreira (2010) a tendência é que solos ou camadas mais arenosas apresentem valores mais elevados de densidade do solo.

A amplitude exibida em Est2 foi de 1,40 a 1,79 Mg m⁻³ e em Test2 foi de 0,71 a 0,97 Mg m⁻³ para o atributo densidade do solo. Em que o valor médio da densidade do solo em Est2 (Tabela 2), encontra-se entre o valor ideal (Ds < 1,60 Mg m⁻³) e o valor que pode provocar alguma restrição ao crescimento do sistema radicular (Ds = 1,69 Mg m⁻³), para esta classe de solo (ARSHAD et al., 1996). Já Test2 encontra-se dentro das condições ideais (Ds < 1,1 Mg m⁻³) proposta por Arshad et al., (1996).

A RP em Est 2 foi significativamente maior a observada em Test2. Para a RP a variação observada foi de 2,46 a 11,05 MPa, em Est2 enquanto que em Test2 a variação foi de 0,42 a 0,97 MPa. Os valores de Est2 muito acima dos níveis considerados críticos (RP = 2 MPa) para o crescimento das plantas (SILVA et al., 1994; TORMENA et al., 1998).

Neves Junior (2008), para um solo com textura muito próxima ao observado para Est2 (argila = 170, silte = 60 e areia = 770g kg⁻¹), observou valores médios na faixa de 0,53 MPa e faixa de variação entre 0,41 a 0,62 MPa em área de floresta secundária no Município de Iranduba – AM.

A PT em Test2 foi superior à observada em Est2, resultado inversamente relacionado com os valores de densidade do solo observados para esta área (Tabela 2). Com variação entre 0,33 a 0,47 m³ m⁻³ em Est2 e 0,63 a 0,73 m³ m⁻³ em Test2, resultados semelhantes aos obtidos por Neves Junior (2008). Que se mantiveram dentro da faixa estimada por Ferreira (2010). No entanto, Est2 encontra-se abaixo do valor proposto por Kiehl (1979).

Para a mesma área, a macroporosidade exibiu uma variação de 0,02 a 0,20 m³ m⁻³, com valor médio (Tabela 2) abaixo do valor (0,10 m³ m⁻³) comumente usado para definir condições limitantes da aeração do solo (GRABLE, 1971; CARTER, 1988).

Na área de capoeira a variação foi de 0,29 a 0,41 m³ m⁻³ e valor médio muito acima do considerado limitante. Os valores de microporosidade exibiram uma amplitude de 0,29 a 0,33 m³ m⁻³ e 0,36 a 0,39 m³ m⁻³ em Est2 e Test2, respectivamente. Resultados maiores dos que os observados por Neves Junior (2008).

A densidade de solo máxima que foi de 1,63 Mg m⁻³ em Est2, foi maior que Test2 (1,59 Mg m⁻³). Resultado que pode ser atribuído ao incremento no teor de areia em Est2. Esse aumento no valor da densidade do solo máxima com o teor de areia pode ser devido à maior capacidade de empacotamento das partículas do solo e à forma irregular dos grãos da areia ou à maior densidade de partículas da areia, o que causa aumento na densidade do solo (PACHECO & DIAS JUNIOR, 1990; DIAS JUNIOR & ESTANISLAU, 1999).

A densidade de solo relativa foi menor em Test2 (53%) abaixo do valor considerado limitante por Hakansson, (1990), no entanto a área de estacionamento apresentou-se superior a 87% (Tabela 2), considerado como limitante para o desenvolvimento de plantas (HAKANSSON, 1990) resultado dentre outros fatores, do uso a que a área está submetida.

Carter (1990), verificou que para o horizonte Ap de dois solos franco arenosos, numa macroporosidade de 0,10 m³m⁻³, o grau de compactação correspondeu a um valor de 89%, semelhante ao observado neste trabalho para Est2.

3.3. Faculdade de Tecnologia – FT

Os solos sob as área estudada foram classificados como franco-siltoso (Est3) e muito argiloso (Test3) (Tabela 3), segundo Santos et al. (2005).

Tabela 3. Dados de análise granulométrica, classe textural, densidade do solo (Ds), resistência à penetração (RP), umidade (Ug), porosidade total (PT), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), densidade máxima (Dsmax) e densidade relativa (Dsrel) do estacionamento (Est1) e da área de capoeira adjacente (Test1), à Faculdade de Tecnologia (FT), setor norte do Campus da UFAM.

VAR	Argila	Silte	Areia	Classe textural**	Ds	RP	Ug	PT	Ma	Mi	Dsmax	Dsrel
LOCAL	g kg ⁻¹				Mg m ⁻³	MPa	kg kg ⁻¹	m ³ m ⁻³	m ³ m ⁻³	m ³ m ⁻³	Mg m ⁻³	%
Est 3	200	680	120	Franco-siltoso	1,34 a	3,73 a	0,27 a	0,50 b	0,096 b	0,46 a	1,54 a	87 a
Test 3	610	200	200	Muito argiloso	0,90 b	0,64 b	0,34 a	0,66 a	0,32 a	0,38 b	1,58 a	57 b

*Valores seguidos por letras iguais não apresentam diferenças estatísticas entre si, pelo teste Tukey a 5%.

** Santos et al. (2005).

*** N = 10.

A Ds foi estatisticamente maior em Est3 ($p < 0,001$; $F = 190,08$) quando comparada a Test3. Entretanto, o valor observado não é restritivo ao crescimento das raízes. Segundo Arshad et al., 1996 a densidade ideal para a para a classe textural franco-argiloso deve ser $< 1,30 \text{ Mg m}^{-3}$, $1,60 \text{ Mg m}^{-3}$ é considerado o valor que pode afetar o crescimento de plantas e valores maiores que $1,75 \text{ Mg m}^{-3}$ restringem o crescimento do sistema radicular. A amplitude observada em Est3 $1,21$ a $1,41 \text{ Mg m}^{-3}$ e Test3 $0,90$ a $0,80 \text{ Mg kg}^{-1}$. Valores Est3 próximos ao observadas por Neves Junior (2008), no município de Iranduba – AM.

A RP em Est3, superior ao limite considerado crítico (2MPa), foi significativamente maior quando comparada a Test3, que mostrou-se inferior a este limite citado por vários autores (SILVA et al., 1994; TORMENA et al., 1998; LAPEN et al., 2004).

A dispersão da variável RP tanto em Est3 quanto em Test3, $1,65$ a $6,96 \text{ MPa}$ e $0,28$ a $1,10 \text{ MPa}$, respectivamente. Neves Junior (2008) observou valores médios na faixa de $0,79 \text{ MPa}$ e faixa de variação entre $0,49$ a $1,22 \text{ MPa}$ em área de floresta secundária no Município de Manacapuru – AM.

A PT em Test3 ($p < 0,001$; $F = 197,77$) mostrou-se significativamente superior a Est3, mas dentro do limite considerado ideal por Kiehl (1979). Est3 apresentou valor médio igual ao observado por Neves Junior (2008). Em Est3 a dispersão de

0,46 a 0,54 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ e Test3 de 0,62 a 0,70 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, respectivamente. Com variação, nas duas áreas, dentro da faixa estimada por Ferreira (2010).

A Ma foi estatisticamente maior em Test3 ($p < 0,001$; $F = 210,82$) quando comparada a Est3. A área de estacionamento apresentou uma amplitude de 0,05 a 0,16, enquanto que em Test3 a amplitude foi de 0,26 a 0,36 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$. Cavenage et al. (1999) obteve variação entre 0,09 e 0,12 para a macroporosidade próximos as condições ideais (BAVER, 1972; KIEHL, 1979) resultados semelhantes aos obtidos no presente trabalho.

Para a Mi, Est3 que apresentou uma dispersão entre 0,45 a 0,47 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ e Test3 apresentou uma variação entre 0,37 a 0,40 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$. Diferindo dos resultados de Neves Junior (2008), que encontrou uma variação de 0,13 a 0,24 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$.

O tratamento Est3 está a 87% de sua D_{smax} (1,54 Mg m^{-3}) valor considerado limitante para o desenvolvimento de plantas, segundo Hakansson (1990) e Test3 encontra-se a 0,56% de sua D_{smax} (1,58 Mg m^{-3}). Suzuki (2005) obteve um grau compactação de 80% para solos com 20-30% de argila

4. Conclusão

As áreas denominadas Est2 (Faculdade de Direito) e Este3 (Faculdade de Tecnologia) encontram-se compactadas. Já a área denominada Est1 (Biblioteca) não apresentou indícios de compactação do solo.

5. Referências

ARSHAD, M.A.; LOWER, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. **Madison**: Soil Science Society of America, 1996. p.123-141.

BAVER, L.D. GARDNER, W.H. & GARDNER, W.R. Soil physics. 4.ed. New York: John Wiley C. Sons, Inc. 1972. 529p.

CARTER, M.R. Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies on fine sandy loams. **Can. J. Soil Sci.**, 70:425-433, 1990.

CARTER, M.R. Temporal variability of soil macroporosity in a fine sandy loam under mouldboardploughing and direct drilling. **SoilTill. Res.**, 12:37-51, 1988.

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

CAVENAGE, A.; MORAES, M. L. T.; ALVES, M. C.; CARVALHO, M. A. C.; FREITAS, M. L. M.; BUZETTI, S. Alterações nas propriedades de um latossolo vermelho-escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:997-1003, 1999.

DIAS JUNIOR, M.S. & ESTANISLAU, W.T. Grau de compactação e retenção de água de Latossolos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:45-51, 1999.

DIAS, L.E.; FRANCO, A.A. Fertilidade do solo e seu manejo em áreas degradadas. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L., Eds. **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1017p. Viçosa, 2007.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de solos. **Manual de Métodos de Análises de Solos**. Rio de Janeiro, 1997, 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 2006. 306p.

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: VAN LIER, Q.J.(ed). **Física do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, 2010.

GRABLE, A. R. Effects of compaction on content and transmission of in soil. In: BARNES, K. K.; CARLETON, E. M.; TAYLOR, H. M. THROCKMORTON, R. I.; VANDEN BERG, G. E. (ed.). **Compaction of agricultural soils**. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Mi:1971. p. 154-164.

GOEDERT, W.J.; OLIVEIRA, S.A. Fertilidade do solo e sustentabilidade da atividade agrícola. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L., Eds. **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1017p. Viçosa, 2007.

HÅKANSSON, I.A method for characterizing the state of compactness of the plough layer. **Soil Till. Res.**, 16:105-120, 1990.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P. da; TORMENA, C.A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 35: 1493 – 1500, 2000.

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

LAL, R.; STUART, B.A. Soil degradation: a global threat. **Adv. Soil Sci.**, New York, v.11, p.13-17, 1990.

LAPEN, D.R.; TOPP, G.C.; GREGORICH, E.G. & CURNOE, W.E. Least limiting water range indicators of soil quality and corn production, Eastern Ontario, Canada. **Soil Till. Res.**, 78:151-170, 2004.

LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, **Soil Science Society of America** Special Publication number 35, p. 37-51. 1994.

MORAES, J.F.L.; VOLKOFF, B. & CERRI, C.C. Soil properties under Amazon forest and changes due to pasture installation in Rondônia, Brazil. **Geoderma**, 70:63-81, 1996.

MARQUES, J. D. O.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M.; CRUZ JUNIOR, O. F.; BATISTA, S. M.; AFONSO, M. A. C. B. Atributos químicos, físico-hídricos e

mineralogia da fração argila em solos do baioxa Amazonas: Serra de Parintins. **Acta Amazônia**, 40:1-12, 2010.

NEVES JUNIOR, A.F. Avaliação da qualidade física de solos em pastagens degradadas da Amazônia. Piracicaba, Universidade de São Paulo, 2005. 66p. (Dissertação de Mestrado).

NEVES JUNIOR, A.F. Qualidade física dos solos com horizontes antrópico (Terra Preta de Índio) na Amazônia Central/ Afranio Ferreira Neves Junior. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 93 p. Piracicaba, 2008 (Tese de Doutorado).

OTTONI, M. V. Classificação Físico-Hídrica de Solos e Determinação da Capacidade de Campo *in situ* a partir de Testes de Infiltração. [Rio de Janeiro] 2005.

PACHECO, A.A.R.C. & DIAS JUNIOR, M.S. Estudo comparativo de métodos de campo e laboratório aplicados à confecção de blocos de adobe. *Ci. Prát.*, 14:176-190, 1990.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Manejo, qualidade do solo e sustentabilidade: condições físicas do solo agrícola. Congresso Brasileiro de Ciência do solo, 29, 2003, Ribeirão Preto. **Palestras**. Ribeirão Preto: SBCS, 2003 (CD-ROM).

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; SUZUKI, L. E. A. S.; HORN R. Mecânica do solo. In: VAN LIER , Q.J.(ed). **Física do solo**. Sociedade Brasileira de Ciencia do Solo, Viçosa, MG, 2010.

SAS Institute. SAS[®] (Statistical Analysis System). User's guide: Statistics. SAS Institute Inc., Cary, NC; 2000.

SANTOS, J.D.A Influência de diferentes sistemas agrícolas nas propriedades físicas e químicas das camadas superficiais do solo – São José Da Lapa, MG. Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, 2007.

SANTOS, R. D.; LEMOS R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. Mnaual de descrição e coleta de solo no campo. 5^a Ed. Revista e ampliada Viçosa, **Sociedade Brasileira de Ciência de solo**, 2005.

SILVA, A.P. & KAY, B.D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 61:877-883, 1997.

SILVA, A. P.; TORMENTA, C. A.; DIAS JUNIOR, M. S.; IMHOFF, S.; KLEIN, V.A. Indicadores da qualidade física do solo. In: VAN LIER , Q.J.(ed). **Física do solo**. Sociedade Brasileira de Ciencia do Solo, Viçosa, MG, 2010.

STOLF, Rubismar et al . Method to estimate soil macroporosity and microporosity based on sand content and bulk density. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa , v. 35, n. 2, Apr. 2011. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-

06832011000200014&lng=en&nrm=iso>. access on 27 Jan. 2012.
<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000200014>.

SUZUKI, L. E. A. S. Compactação do solo e sua influencia nas propriedades físicas. Dissertação (Mestrado em Ciencia do solo) – Universidade Federal de Sajta Maria, Santa Maria. 2005.

SUZUKI, L. E. A. S. REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; LIMA, C. L. R. **Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo**; Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, v. 42, n. 8, p. 1159-1167, ago. 2007.

TOMÉ, M.V. D. F. Manejo responsável de Agroecossistema: Integração de variáveis ambientais, sociais e econômicas. Universidade Federa de Viçosa. **Tese**. 2004.

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, 1998.

VOMOCIL, J.A.; FLOCKER, W.J. Effect of soil compaction on storage and movement of soil, air and water. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v.4, p.242-246, 1966.

6. Cronograma de Atividades

Nº	Descrição	Ago 2011	Set	Out	Nov	Dez	Jan 2012	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
1	Revisão de literatura	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	
2	Coleta de amostras deformadas (granulometria) e indeformadas (Ds) e determinação da resistência mecânica à penetração nas áreas de estacionamento.		R	R	R								
3	Análise de laboratório.					R	R	R					
4	Relatório parcial.						R	R					
5	Apresentação parcial.				R								
6	Coleta de amostras deformadas (granulometria) e indeformadas (Ds) e determinação da resistência mecânica à penetração nas áreas de floresta adjacentes.							R	R	R			
7	Análise de laboratório.								R	R			
8	Análise dos dados.								R	R	R		
9	Elaboração do Resumo e Relatório Final.									R	R	R	
10	Preparação da Apresentação Final para o Congresso										R	R	
11	.Apresentação final.												R

R - Atividades realizadas; X - Atividades a serem realizadas.