



**Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal**

**Departamento da Engenharia Rural**

**Mestrado em Educação Agrária**

Tema: Avaliação das causas e mitigação da dureza dos solos da Casa do Gaiato

**Autora:**

Felizmina Augusta Chivindze

**Supervisor:**

Prof. Doutor Alfredo Bernardino Nhantumbo

Maputo, Novembro de 2015

## **Avaliação das causas e mitigação da dureza dos solos da Casa do Gaiato**

Projecto Final Submetido ao Departamento da Engenharia Rural da Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal, Universidade Eduardo Mondlane como requisito para obtenção do Grau de Mestre em Educação Agrária, sob orientação do Professor Doutor Alfredo Nhantumbo.

**Maputo, Novembro de 2015**

## Dedicatória

Aos meus amados Pais Jorge Ernesto Chivindze e Celina Jaime Macumbe por me terem trazido ao mundo e pela boa educação que me deram. Agradeço imenso pelo amor incondicional, criação exemplar, zelo desde o meu primeiro dia de vida até o dia de hoje e pelo incentivo aos estudos prezando sempre a qualidade.

Ao minha filha pelo apoio incondicional, pela confiança na minha capacidade, paciência, dedicação e ajuda na conquista de mais uma etapa da minha vida pondo me sempre em primeiro plano, suprimindo muitas vezes os seus sonhos para a realização dos meus.

## *Dedico*

A todos que fazem da minha vida um aprendizado constante, profissional e pessoal, contribuindo, cada um a sua maneira, na minha evolução.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pelo dom de vida, e por me conduzir em todos os dias da minha vida.

À Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal, pela oportunidade concedida para a realização deste curso.

À PRETEP (Programa de Reforma de Ensino Técnico Profissional) pela concessão da bolsa de estudos, que serviu de oportunidade para a minha progressão na, carreira profissional.

Ao meu Tutor Professor Doutor Alfredo Nhantumbo pelo apoio, incentivo, disponibilidade, orientação e ensinamentos prestados ao longo do seu desenvolvimento e pela leitura crítica e revisão do presente trabalho, bem como a confiança, atenção, amizade que tem demonstrado por mim e pela alegria e compreensão que sempre levou ao meu encontro.

Aos Doutores Carlos Lauchande, Alberto Cupane e Hélder Zavale e eng. Francisco Munguambe, pelo auxílio inestimável e sua disponibilidade em me apoiar na análise e interpretação dos resultados do trabalho.

Ao eng. Moisés Vilanculos pelo auxílio inestimável, sugestões e colaboração prestada sobre a orientação de como efectuar a recolha das amostras no campo.

Ao doutor António Machava, técnico do laboratório de Solos da FAEF, pelo apoio incondicional, prazeroso e incansável na determinação das principais propriedades químicas e físicas do solo.

À Direcção da Casa do Gaiato pelo apoio na disponibilização de máquinas, pessoal qualificado e instrumentos necessários para a abertura dos perfis.

À todos docentes da FAEF que directa ou indirectamente transmitiram valiosos conhecimentos e que me foram úteis na elaboração do mesmo, sou grato por seus esforços.

À Direcção do Instituto Agrário de Boane, pela compreensão, tempo e espaço que me concedia para a realização do trabalho e atendimento das preocupações pontuais relacionadas com o trabalho.

Aos meus colegas do Instituto Agrário de Boane pelo companheirismo e por partilhar os momentos bons e difíceis da minha carreira estudantil.

Aos colegas da minha filha pela generosidade, amparo, amizade, encorajamento e incentivo de modo que eu pudesse ir sempre em frente.

E à todos que não foram mencionados aqui devido a sua eminência, mas que directa ou indirectamente contribuíram para a minha formação.

*Sou grato a todos Vós!*

## **RESUMO**

O objectivo do presente trabalho era de avaliar as causas de dureza dos solos da Casa do Gaiato e propor as medidas de mitigação. Amostras de solo de quatro camadas (0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm de profundidade) foram colhidas em triplicados em perfis abertos representativos de campos agricultados (duros e não duros) e não agricultados. Dados sobre o equipamento usado, culturas agrícolas frequentemente produzidas e qualidade da água foram obtidos através de entrevistas com perguntas semi abertas. O delineamento completamente casualizado com três tratamentos (campos agricultados duros, não duros e não agricultados) foi considerado para efeitos de análise de dados do solo, usando pacote estatístico STATA 10. As médias dos parâmetros avaliados nas quatro camadas foram comparadas através do teste de Tukey a 5% de nível de significância. Os resultados sugerem que a dureza do solo expressa em densidade do solo é resultado do efeito combinado da elevada salinidade registada nos campos e provavelmente o uso da maquinaria pesada. Recomenda-se o dimensionamento e construção de um sistema de drenagem para permitir o escoamento dos sais. Adicionalmente, recomenda-se o estudos da ocorrência de outros agentes potencialmente cimentantes tais como Carbonatos, óxidos de Manganês, Ferro e Sílica.

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Antecedentes

O solo é originado através da porção externa e superficial da crosta terrestre e formada por vários tipos de corpos rochosos que constituem o manto rochoso. Estas rochas estão sujeitas a condições que alteram a sua forma física e sua composição química. Os factores que produzem tais alterações são chamados de agentes de meteorização. Este processo ocorre através de agentes como água, temperatura, pressão, vegetação e vento que resultam na formação de pedregulhos e areias (solos de partículas grossas) e até mesmo limo, partícula intermediária entre areia e argila, (Coelho *et al.*, 2009).

Os factores mais importantes na formação do solo são: acção de organismos vivos, a origem da rocha, tempo (estágio de desintegração/decomposição), clima, inclinação do campo ou condições topográficas (Embrapa, 1997).

O solo tem cinco papéis básicos ou funções no nosso ambiente. Ele sustenta o crescimento das plantas, principalmente fornecendo suporte mecânico, água e nutrientes para as raízes que posteriormente distribuem para a planta inteira e são essenciais para sua existência: as características dos solos determinam o destino da água na superfície da terra, essencial para a sobrevivência; o solo desempenha um papel essencial na reciclagem de nutrientes e destino que se dá aos corpos de animais (incluindo o homem) e restos de plantas que morreram na superfície da terra; e o solo é o habitat de muitos organismos (Embrapa, 2003).

A compactação e a conseqüente dureza dos solos é um dos factores que contribuem para a degradação dos mesmos, pois consiste na aproximação e compressão das partículas, ocasionando na diminuição da capacidade de absorção e percolação da água. Dois factores são fundamentais para a compactação do solo: o teor de humidade e a energia empregada na aproximação das partículas do solo (Barros & Calado, 2011).

A compactação pode ser devida às próprias características físicas do solo ou o resultado da passagem de alfaia agrícolas pesadas com mais ênfase na charrua de aiveca e a grade de discos que compactam o solo quando este se encontra no estado plástico. A fresa é também uma alfaia, que devido ao seu sistema de facas, compacta o solo e até mais à superfície que as duas alfaiais anteriormente mencionadas (Embrapa, 2003).

Mediante um solo compacto/duro, os agricultores tem recorrido ao uso de diversas alfaia agrícolas como a fresa, a grade de discos e o subsolador para o esmiuçamento do solo e garantir uma boa cama da semente com agregados de menor dimensão.

Este estudo foi realizado na Casa do Gaiato no distrito de Boane em virtude de aquela farma deparar-se com dureza dos solos que interfere no cumprimento das metas estabelecidas. De acordo com os técnicos afectos à aquela unidade de produção, o alcance das metas é inviabilizado pela dureza do solo que aumentam os custos de preparação e dificultam o crescimento das plantas.

## **1.2 Problema de Estudo e Justificação**

De acordo com o MINAG (2005), a agricultura é caracterizada pelo uso intensivo de maquinaria, automatização, adubos e pesticidas. A mecanização agrícola é um dos grandes avanços da agricultura nas últimas décadas estando cada vez mais presente na preparação do solo, trazendo inúmeros benefícios ao produtor sem considerar o resultado destas intervenções nas propriedades químicas, físicas e biológicas dos solos sendo importantes componentes de sua produtividade, visto que as plantas necessitam de solos bem estruturados, sendo por isso a selecção e a utilização adequada de cada tipo de solo de fundamental importância para a manutenção da qualidade e da produtividade do sistema (Marchão *et al.*, 2007; Pignataro Netto *et al.*, 2009; Bognola, *et al.*, 2010, citado por Biosci, (2012).



A Casa do Gaiato depara-se com elevadas dificuldades no uso das alfaias, para a realização das actividades do campo, resultante do aumento da densidade do solo. Por outro lado verifica-se um baixo desenvolvimento e rendimento das culturas devido a uma provável deficiência da aração, nutrientes, água disponível e resistência mecânica dos solos.

Segundo Richard *et. al.*, (2005), a prática convencional mais usada para combater a compactação do solo é a subsolagem. De acordo com o mesmo autor, esta prática é realizada por equipamentos denominados subsoladores traccionados por tractores e que apresentam hastes que penetram no solo e cultivam em profundidade que soltam as camadas compactadas, sem, entretanto, causar inversão das camadas inferiores. O mesmo autor ainda refere que esta operação é somente recomendada quando houver uma camada muito endurecida, em profundidades não atingidas por implementos de preparação do solo.

Face a esta situação, surge a necessidade de se estudar as reais causas da considerada “compactação” do solo no distrito de Boane, especificamente na casa do Gaiato que podem ser de origem da génese do mesmo ou das práticas de manejo desenvolvidas, daí que desenvolveu-se o presente estudo que tem como objectivo avaliar os factores que contribuem para a dureza do solo e propor as medidas de mitigação.

## **1.3. Objectivos**

### **1.3.1 Geral**

- Avaliar os factores que contribuem para a dureza do solo e propor as medidas de mitigação.

### **1.3.2 Específicos**

- Avaliar as causas da dureza do solo;
- Determinar a relação entre a densidade do solo e as características físicas e químicas do solo
- Propor medidas de mitigação contra dureza do solo.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Solos Duros**

O termo duro tem sido empregado, para distinguir horizontes minerais superficiais e subsuperficiais de solo que apresentam consistência dura, muito dura ou até extremamente dura quando secos, e friável, quando húmidos (Jacomine, 1996).

Ribeiro (1991) definiu os horizontes que apresentavam o carácter duro da seguinte forma: “são horizontes muito duros e firmes, que não apresentam uma organização estrutural visível (são maciços), motivo pelo qual os grandes torrões se quebram em fragmentos de tamanhos menores e angulosos; apresentam uma macroporosidade geralmente ligada à actividade biológica (biovazios), sendo difícil a observação dos poros finos; no seu interior são raras as raízes observadas, mesmo assim, a grande maioria das que conseguiram penetrar nesses horizontes encontram-se mortas; em alguns pontos pode-se observar uma organização estrutural em fragmentação, com a presença de estrutura do tipo blocos subangulares, geralmente associados á pequenas concentrações de material orgânico originado da decomposição de raízes ou actividade biológica; em muitos casos é possível observar, ainda que com alto grau de dificuldade, e com uso de lupa, a existência de uma microestrutura soldada, como uma colmeia de abelhas”.

#### **2.1.1 Características dos solos duros**

As características dos solos duros reflectem sua origem a partir de depósitos sedimentares do período terciário (grupo barreiras) de materiais argilosos, argiloarenosos ou arenosos, sempre bastante meteorizados (Rezende, 2000).

A mineralogia da fracção argila tem mostrado que a caulinita é o mineral dominante, e a fracção areia é constituída essencialmente por quartzo (Jacomine, 1996; Rezende, 2000). Em função do material de origem, os teores de  $Fe_2O_3$  (ataque com  $H_2SO_4$ ) são inferiores a 80g/kg.

Os horizontes coesos dos solos não apresentam organização estrutural nítida da massa do solo, o que geralmente leva à formação de uma estrutura maciça, com graus variáveis de coesão (moderadamente coesos a coesos) e densidade do solo média na faixa de 1.5 a 1.8 kg\*dm<sup>-3</sup> (Embrapa, 1997). Os limites de textura descritos variam de franco-argiloarenosa a muito argilosa, sendo o grau de coesão proporcional ao aumento do teor de argila. Os horizontes coesos não devem ser confundidos com fragipãs, que também tem altos níveis de coesão, mas apresentam quebradicidade moderada, rompendo-se subitamente quando submetidos à pressão entre o polegar e o indicador. Os solos duros passam por lenta deformação, quando examinados húmidos (Jacomine, 2001).

Horizontes coesos de solos apresentam-se insaturados de bases, ácidos (pH em água normalmente entre 4.0 e 5.0) e, normalmente, atingem valores elevados de alumínio trocável. Em menor proporção são encontrados solos distróficos, sendo raros os registos de solos eutróficos, características das zonas semi-árida, (Rezende, 2000). O teor em carbono, mesmo nos solos argilosos em florestas, raramente se eleva acima de 15 g/kg (Ribeiro, 2001 & Jacomine, 2001).

## **2.2 Compactação do Solo e Suas Causas**

A compactação do solo é a redução da macroporosidade ou porosidade de aeração e o aumento da microporosidade da densidade do solo e da resistência à penetração das raízes de plantas no solo, e geralmente resulta de actividades do homem. É um processo de dispersão ou rearrançamento dos agregados e aproximação das partículas primárias (areia, silte e argila) do solo, causada por pisoteio animal, trânsito de máquinas ou impacto das gotas de chuva, afectando todas as suas propriedades e funções físicas, químicas e biológicas. A compactação do solo ocorre ainda durante as operações de mobilização da superfície, em condições de humidade inadequada, com implementos de discos. Pode ser também originada, no sistema convencional de manejo do solo, onde pulverizam em excesso a camada arável, causando o encrostamento superficial e

formando camadas coesas ou compactadas, abaixo da profundidade de trabalho dos órgãos activos das máquinas (Bolonhezi, 2012).

Segundo Gameda, Raghavan, McKyes & Theriault (1987) citados por Nhantumbo (1998), o aumento do tráfego e peso de máquinas agrícolas aumentou o risco de compactação do solo e seu efeito negativo sobre a produção de culturas. De acordo com Radford *et al.*, (2000), o uso de máquinas de 10 e 20 toneladas de peso aproximado provocam um aumento significativo na densidade do solo, a uma profundidade de 11 cm, e no índice de cone, nas camadas de 0-11 e 13-18cm em um vertissolos. De acordo com Suzuki, (2005) e Streck *et al.*, (2004), a resistência do solo à penetração logo após a aplicação da compactação por uma máquina carregadeira de 10 toneladas apresentou aumento significativo até à profundidade de 12 cm em um Latossolo Vermelho distroférico típico, enquanto em um solo franco-arenoso houve aumento da resistência até 28 cm em tratamentos com e sem tráfego.

O uso de tractores e implementos agrícolas proporcionou aumentos da produção, resultado de trabalho operacional e eficiente. No entanto, a mecanização é a responsável pela deterioração mais rápida das condições físicas do solo. O tráfego excessivo, sem o controle das diversas condições do solo, é o principal responsável pela compactação ocasionada por forças mecânicas, tanto pelo exagerado número de operações como pelo simples tráfego do tractor sobre o solo, quando a carga aplicada for superior à capacidade de suporte do solo (Silva *et al.*, 2002; Lima *et al.*, 2006). O peso das máquinas e equipamentos e a intensidade de uso do solo têm aumentado, não sendo acompanhado por um aumento proporcional do tamanho e largura dos pneus, resultando em significativas alterações nas propriedades físicas do solo.

### **2.2.1 Métodos para diagnosticar problemas de compactação do solo**

A compactação do solo pode ser diagnosticada pela observação visual no campo, procurando identificar ocorrências de erosão, encrostamento superficial, plantas com germinação irregular e com falhas, desenvolvimento vegetativo abaixo do esperado, baixa produtividade, grande incidência de plantas daninhas; observação em pequenas trincheiras introduzindo, numa das faces do perfil, um instrumento pontiagudo (canivete ou faca) para identificar camadas mais endurecidas, sintomático de presença de raízes pivotantes curvadas; pelo uso de equipamentos como penetrômetro de impacto, penetrógrafo, pás, enxadas ou estiletes de ferro que, ao serem introduzidos no solo, podem identificar camadas compactadas e a profundidade de ocorrência em virtude da variação de resistência à penetração (Barros & Calado, 2011).

### **2.2.2 Métodos para evitar a compactação**

Para evitar a compactação do solo é necessário planificar a utilização das máquinas agrícolas para conjugar operações; evitar o uso de máquinas pesadas; dotar as máquinas e implementos de pneus apropriados; não trabalhar com o solo muito húmido; controlar o tráfego por meio da sistematização das vias de deslocamento pela área; manter palha sobre a superfície do solo (Barros & Calado, 2011).

## **2.3 Propriedades Físicas do Solo**

### **2.3.1 Consistência**

O estado de consistência do solo é resultante das manifestações das forças físicas de coesão (solo-solo) e adesão (solo-água) entre as partículas do solo, conforme variações da humidade (teor de água) do solo. De acordo com Reichert (2007), a consistência do solo é determinada em três estados de humidade:

- (a) em solo seco, avaliando-se a dureza, estimada pela resistência do torrão seco a ruptura ou fragmentação, quando comprimido.

- (b) em solo húmido, avaliando-se a friabilidade, a qual é feita quando o solo está húmido e consiste em comprimir um torrão, fragmentando-o e posteriormente tentar reconstruí-lo por nova compressão;
- (c) em solo molhado, avaliando-se a plasticidade e a pegajosidade, onde a plasticidade refere-se à moldabilidade do solo e é feita pela formação de um fino cilindro de solo e posterior tentativa de formar um círculo com o cilindro, enquanto a pegajosidade tentar reconstruí-lo por nova compressão.

### **2.3.2 Porosidade e raízes**

A porosidade do solo é o volume do solo ocupado por água e ar. É muito importante para as plantas e outros organismos do solo e pode ser observada indirectamente pelo crescimento das raízes no perfil ou directamente através da observação da existência de poros e canais no solo (Silva, 2010).

A descrição das raízes é importante, pois pode indicar algum impedimento ao crescimento das mesmas, podendo ser de natureza química, por exemplo, solo ácido com presença de elementos tóxicos tal como, Al, ou de natureza física quando ocorre, camada compacta que resulta em, excesso de água ou falta de oxigénio, etc, (Reichert, 2007).

### **2.3.3 Textura**

A textura do solo refere-se ao conteúdo percentual das fracções areia (partículas maiores que 2mm), limo (entre 2 e 0.05mm) e argila (menor que 0.002mm) presentes no solo. Sua determinação no campo se baseia na sensibilidade ao tacto, onde a areia dá a sensação de aspereza, tipo lixa, o limo de suavidade, tipo talco ou roupa de seda, e a argila de pegajosidade, tipo barro, (Sanchez, 2012 & Reichert, 2007).

### **2.3.4 Cimentação e nódulos e concreções minerais**

Cimentação deve-se à presença de um agente cimentante, que pode ser carbonato de cálcio, sílica ou óxidos de ferro e de alumínio. Confere ao solo uma constituição dura e quebradiça. Nódulos e concreções minerais referem à concentração de material endurecido, com composição química variável, podendo ser de carbonato, óxidos de manganês ou ferro e sílica (Reichert, 2007).

### **2.3.5 Densidade do solo**

A densidade de solo é uma das características importantes na avaliação dos solos. Essa característica está associada à estrutura, à densidade de partícula e à porosidade do solo, podendo ser usada como uma indicadora de processos de degradação da estrutura do solo, que pode mudar em função do uso e do manejo do solo. A medição da densidade de solo é usada, por exemplo, para a conversão da humidade determinada em base gravimétrica para a humidade volumétrica, utilizada nos cálculos de disponibilidade de água para as plantas e determinação da necessidade de rega (Embrapa, 2009).

De acordo com Borges *et al.*, (1999) altos valores de densidades do solo reduzem os espaços vazios, aumentando a resistência mecânica dos solos e, em consequência, prejudicam o desenvolvimento do sistema radicular das culturas.

## **2.4 Propriedades Químicas do Solo**

### **a) Carbono**

A matéria orgânica do solo (MO) são todos os compostos de carbono orgânico, incluindo microrganismos vivos ou mortos, em diversos estágios de decomposição. O acúmulo de matéria orgânica no solo pode aumentar a resistência do solo à compactação ou reduzir seus efeitos, em virtude de aumentar o intervalo de humidade em que o solo pode sofrer tráfego, aumentar a resistência do solo à deformação e por diminuir a



resistência à penetração das raízes quando o solo está seco. O acúmulo de matéria orgânica pode estar associado a dois efeitos contraditórios sobre a resistência do solo, que são o aumento da força de ligação entre as partículas minerais e a mudança no arranjo das partículas (porosidade e densidade do solo) (Trannin *et al.*, 2008).

### **b) Capacidade de troca catiônica**

A CTC é uma característica físico-química fundamental dos solos. Indica a quantidade de íons positivos que um solo é capaz de reter em determinadas condições e permutar por quantidades estequiometricamente equivalentes de outros íons do mesmo sinal. Trata-se de um atributo de grande interesse prático, muito útil em estudos de fertilidade, além de ser indispensável para a caracterização de unidades de solos (Raij, 1969).

A CTC é expresso em meq/100g de solo. Um valor baixo da CTC do solo indica que o mesmo não suportaria adubações ou calagens pesadas, havendo grandes perdas de nutrientes por lixiviação Embrapa (2009). A CTC do solo depende do complexo argila-húmus. A CTC é maior nos solos argilosos e mais baixa nos solos arenosos (Braga, 2015). A CTC pode ser classificada como baixa (< 10 cmol/kg), moderadamente baixa (10 cmol/kg à 20 cmol/kg), moderadamente alta (20 cmol/kg à 30 cmol/kg), alta (30 cmol/kg à 50 cmol/kg) e muito alta (> 50 cmol/kg) (Fageria *et al.*, 1999 & Stone, 2006).

A magnitude da CTC de um solo resulta da natureza dos colóides minerais e orgânicos e do pH do solo. A fracção argila dos oxissolos e ultissolos é usualmente dominada por gibbsite, caulinita e óxidos de ferro e alumínio. Estes componentes têm baixa quantidade de cargas negativas e portanto, a maioria (85-95%) da CTC destes solos dependem da matéria orgânica, e também é dependente do pH na solução do solo. Em solos tropicais ácidos, a matéria orgânica desempenha um importante papel na disponibilidade de nutrientes, pois a maior parte da CTC destes solos é devido aos colóides orgânicos. Além disso, a sua CTC é fortemente dependente de pH. Adicionalmente, a absorção de nutrientes pelas plantas, é associada a actividade de

organismos no solo como (rhizobium e micorrizas) mostrando baixa actividade sob alta acidez do solo (Castro Filho *et al.*, 1998).

### **c) Bases de troca**

#### Cálcio e Magnésio

O cálcio é habitualmente o catião dominante no complexo de permuta da maioria dos solos. O cálcio e o magnésio representam 60 a 80% dos catiões permutáveis na maioria dos solos e juntamente com o ião do hidrogénio determinam o pH do solo. Na maioria dos solos o teor em cálcio é da ordem dos 0.06 a 1.8% e do magnésio de 0.05 a 1.09%. O cálcio no solo é maioritariamente adicionado através da correcção do solo usando a calagem, provocando a transformação estrutural do solo e culminando com a degradação do mesmo e a dispersão das partículas coloidais do solo. A estabilidade dos agregados do solo depende da textura, mineralogia (óxidos e silicatos), teores e tipos de catiões, pH da matéria orgânica. Esses factores são determinantes da espessura da dupla camada difusa, que é importante e fundamental factor que influencia a dispersão e flocculação de partículas. Entretanto, a porosidade natural passa a ser obstruída pelas partículas de argila eluviadas, elevando assim a densidade do solo (Correia, 1980).

#### Potássio

O potássio encontra-se nas plantas sob forma de catião monovalente e forma compostos em geral voláteis. O potássio no solo oscila entre 0.05% e mais de 2.5% aumentando o conteúdo com profundidade do perfil do solo (Correia, 1980).

Segundo Barber (1974) fundamenta que a difusão é o principal mecanismo de transporte do potássio da solução do solo para as raízes das plantas, responsável por 86% do seu suprimento, com o fluxo de massa e a intercepção radicular representando 11 e 3%, respectivamente.

A qualidade da porosidade do solo afecta negativamente a disponibilidade de nutrientes para as plantas, visto que os mecanismos de fluxo de massa e difusão, responsáveis pelo transporte de nutrientes até as raízes, são processos dependentes da estrutura do solo; além de alterar os mecanismos pelos quais os nutrientes são transportados no solo, a compactação também pode afectar a quantidade de nutrientes disponíveis (Medeiros *et al.*, 2005).

Alterações na densidade do solo afectam a tortuosidade da trajectória seguida do elemento transportado. De acordo com Warncke & Barber (1972), argumentam que provavelmente a difusão aumenta com o aumento da densidade do solo até determinado valor, diminuindo rapidamente com novos acréscimos. Os mesmos autores observaram, ainda, que a tortuosidade foi reduzida com o aumento da densidade e a redução do comprimento do caminho da difusão do elemento, porém com densidade superior a 1.3 g/cm<sup>3</sup>, as partículas sólidas começaram a tornar este caminho mais tortuoso.

### Sódio

O sódio encontra-se nos solos apenas em estado combinado, predominantemente em forma de sais. O sódio é adsorvido pelos minerais argilosos, mas a fixação é mais fraca do que a dos iões de potássio e, por este motivo, o sódio é mais propenso à lixiviação. Por isso, em áreas com muita precipitação, como os climas tropicais e semitropicais, os solos geralmente apresentam um baixo teor de sódio, que é levado para camadas mais profundas no solo (Medeiros *et al.*, 2005).

O efeito do excesso de sais ocorre principalmente pela interacção electroquímica entre os sais e a argila. A alta condutividade eléctrica verificada em solos salinos se deve as altas concentrações de sais, podendo restringir a absorção de nutrientes, interferir no desenvolvimento das plantas em função da elevação do potencial osmótico. A

implicação prática da salinidade sobre o solo é a perda da fertilidade e a susceptibilidade à erosão, além da contaminação do lençol freático e das reservas hídricas subterrâneas. Ademais, a salinidade afecta também as propriedades físicas do solo, provocando desestruturação, aumento da densidade e redução das taxas de infiltração de água no solo pelo excesso de iões sódicos.

O sódio aumenta a espessura da dupla camada iónica através da expansão da argila quando humedecida e concentração quando seca. Assim, o seu excesso na solução do solo provoca a dispersão da argila e, desta forma, dificultando o crescimento, respiração, expansão radicular, além da absorção de água e fixação de CO<sub>2</sub> pela planta (Távora *et al.*, 2001).

O sódio é considerado com um dos iões que mais favorece para a degradação do solo. A água de irrigação com alto teor de sais de cálcio, magnésio e sódio dissolvidos podem tornar-se salina com o tempo. À medida que a proporção de sódio aumenta no solo, os solos perdem sua estrutura e tornam-se inviáveis e resistentes à permeabilidade da água, frequentemente fazendo com que as plantas apresentem sinais de secagem. De acordo com Cuenca (1986), o excesso de sódio resulta na destruição da estrutura do solo, que, devido à falta de oxigénio, se torna incapaz de assegurar o crescimento das plantas e a vida animal (Soil Atlas of Europe, 2005).

#### **d) Condutividade eléctrica**

A condutividade eléctrica do solo é a habilidade que o solo tem em transmitir (conduzir) corrente eléctrica. É uma propriedade intrínseca do solo, assim como outras propriedades, como densidade ou porosidade. O solo pode conduzir corrente eléctrica através da água intersticial, que contém electrólitos dissolvidos e através de catiões trocáveis que residem perto da superfície de partículas carregadas e são electricamente móveis em vários níveis (Brandão & Lima, 2002).

A CE da água é um indicador importante para a salinidade do solo, já que são sais dissolvidos na solução do solo que conduzem a corrente eléctrica. Para valores não muito elevados existe uma relação praticamente linear entre a CE e a concentração de sais. Em Moçambique, a CE é medida num extracto numa solução de solo: água (1:2.5), p/v, designado CE<sub>(1:2.5)</sub> (UEM, 2010). Quanto maior a quantidade de sais presente na solução, maior será o valor de CE obtido (Tomé Jr, 1997, citado por Brandão & Lima, 2002).

A alta condutividade eléctrica verificada em solos salinos deve-se às altas concentrações de sais, podendo restringir a absorção de nutrientes, interferir no desenvolvimento das plantas e reduzir a níveis antieconómicos, em função da elevação do potencial osmótico (Mendes *et al.*, 2008).

No solo, os efeitos da salinidade no desenvolvimento vegetal provêm de alterações nas suas propriedades químicas e físicas. Em relação às propriedades químicas, o aumento das concentrações de sais e sódio trocável, ocasiona a redução de sua fertilidade e, em longo prazo, pode levar a desertificação (D'Almeida *et al.*, 2005). O efeito do excesso de sais ocorre principalmente pela interacção electroquímica entre os sais e a argila. (Mendes *et al.*, 2008).

A principal caracterização desse efeito é a expansão da argila quando humedecida e a contração quando seca. Assim, o seu excesso na solução do solo provoca a dispersão da argila e, desta forma, acarreta em uma camada adensada que dificulta o crescimento, respiração, expansão radicular, além da absorção de água e fixação de CO<sub>2</sub> pela planta. Portanto, a salinidade, uma vez que influencia na estrutura do solo, reduz também a sua capacidade de armazenar água e, conseqüentemente, sua absorção. Neste caso, afecta também a absorção dos nutrientes em que o mecanismo de contacto iões-raiz ocorre em solução aquosa (fluxo em massa) e, assim, interferindo na absorção principalmente de

N, S, Ca e Mg, efeito semelhante ao observado em solos compactados. Deste modo, a salinidade pode afectar a fisiologia das plantas cultivadas devido às alterações químicas e físicas do solo (Sertão, 2005).

Segundo Prado (2008), a diminuição de rendimento das culturas em relação à condutividade eléctrica do extracto da pasta saturada do solo para valores de 1.0; 1.5; 2.3; 3.6 e 6.5 dS/m é respectivamente de 0, 10, 25, 50 e 100%.

## **2.5 Qualidade da Água da Rega**

A qualidade da água de rega é essencial para a produtividade e qualidade das culturas agrícolas, manutenção da produtividade dos solos e protecção do meio ambiente, por exemplo, as propriedades mecânicas e físicas do solo, estrutura do solo bem como a estabilidade dos agregados e a permeabilidade ou capacidade de infiltração da água, sendo estes factores muito sensíveis aos tipos de iões trocáveis presentes nas águas de irrigação (Prado, 2008).

A classificação da qualidade da água é um recurso que fornece uma base para prever com razoável confiança o efeito geral da sua utilização sobre o solo e a planta e sob o sistema de rega (Embrapa, 2001). Ela é classificada segundo sua condutividade eléctrica (CE), para se estimar a concentração total de sais existentes na água. Considerando este critério de CE, a água de rega pode ser dividida em quatro classes: salinidade baixa, salinidade média, salinidade alta e salinidade muito alta (Embrapa, 2001). De acordo com De Almeida (2010), a classificação da salinidade pode ser dividida em:

C1 - Água de baixa salinidade (com menos de 250 dS/m de CE): pode ser usada para irrigação na maior parte dos cultivos em quase todos os tipos de solo, com pouca probabilidade de desenvolver problemas de salinidade;

C2 - Água de salinidade média, com conteúdo de sais entre 250 e 750 dS/m: pode ser usada sempre que houver um grau moderado de lixiviação. Plantas com moderada tolerância aos sais podem ser cultivadas, em muitos casos, sem necessidade de práticas especiais de controlo da salinidade;

C3 - Água com alta salinidade, com conteúdo de sais de 700 a 2.250 dS/m: não pode ser usada em solos com drenagem deficiente e mesmo com drenagem adequada, podem ser necessárias práticas especiais para o controlo de salinidade e só deve ser aplicada para irrigação de plantas tolerantes aos sais;

C4 - Água com salinidade muito alta, com mais de 2.250 dS/m: não pode ser usada em condições normais, apenas ocasionalmente, em circunstâncias muito especiais, tais como em solos muito permeáveis e plantas altamente tolerantes aos sais.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 Descrição da Área de Estudo**

##### **3.1.1 Localização e clima**

O presente trabalho foi realizado numa instituição de caridade (Casa do Gaiato) situada no bairro de Massaca, em representação do distrito de Boane localizado a sul da província de Maputo. Segundo MAE (2005), na base da classificação climática modificada de thornthwite, o distrito de Boane tem clima semi-árido. A precipitação média anual no distrito de Boane é de 679 mm, com temperaturas médias variando de 23-26<sup>0</sup>C no período chuvoso e 17-23<sup>0</sup>C na época seca. A evapotranspiração diária é de 2.8-7.2mm/dia com um total anual de 1857 mm.

##### **3.1.2 Solos**

O distrito de Boane é dominado por solos franco-argilosos, francos e arenosos. A casa de Gaiato é caracterizada pela presença dos solos franco-argilosos que são aptos para a actividade agrícola. No posto administrativo de Boane-Sede ocorrem também solos

francos principalmente na localidade de Chinonanquila. Nas localidades de Eduardo Mondlane (Posto Administrativo de Boane) e Saldanha, Matola-Rio, Jonasse, Djuba e Beluluane (Posto Administrativo da Matola Rio), verifica-se a predominância dos solos arenosos que são de baixa fertilidade e baixa retenção da água (MAE, 2005).

### **3.2 Trabalho de Campo**

A colecta da informação concernente à condutividade eléctrica da água de rega da casa do Gaiato e o rendimento das principais culturas produzidas no local foi realizada através de entrevistas que consistiram na realização de inquéritos através de perguntas e respostas dadas pelos técnicos da farma. A informação dada pelos técnicos consistiu numa consulta feita pelos mesmos em alguns manuais que comumente têm usado e através da experiência dos mesmos em trabalhos de campo.

O trabalho do campo foi realizado no mês de Janeiro de 2012, e consistiu na abertura de três perfis de solo (1m a 1½ m) com 1m de profundidade representando campos agricultados duros, não duros e não agricultados, com auxílio de uma pá escavadora (Figura 1). As quatro paredes do perfil foram verticalizadas com uma pá manual das quais três delas foram seleccionadas para colheita de amostras do solo, que serviram de repetições em cada tipo de campo. As amostras foram colhidas com uma pá em quatro camadas de solo (0-10, 10-20, 20-30 e 30-40cm) delimitadas através de uma fita métrica.



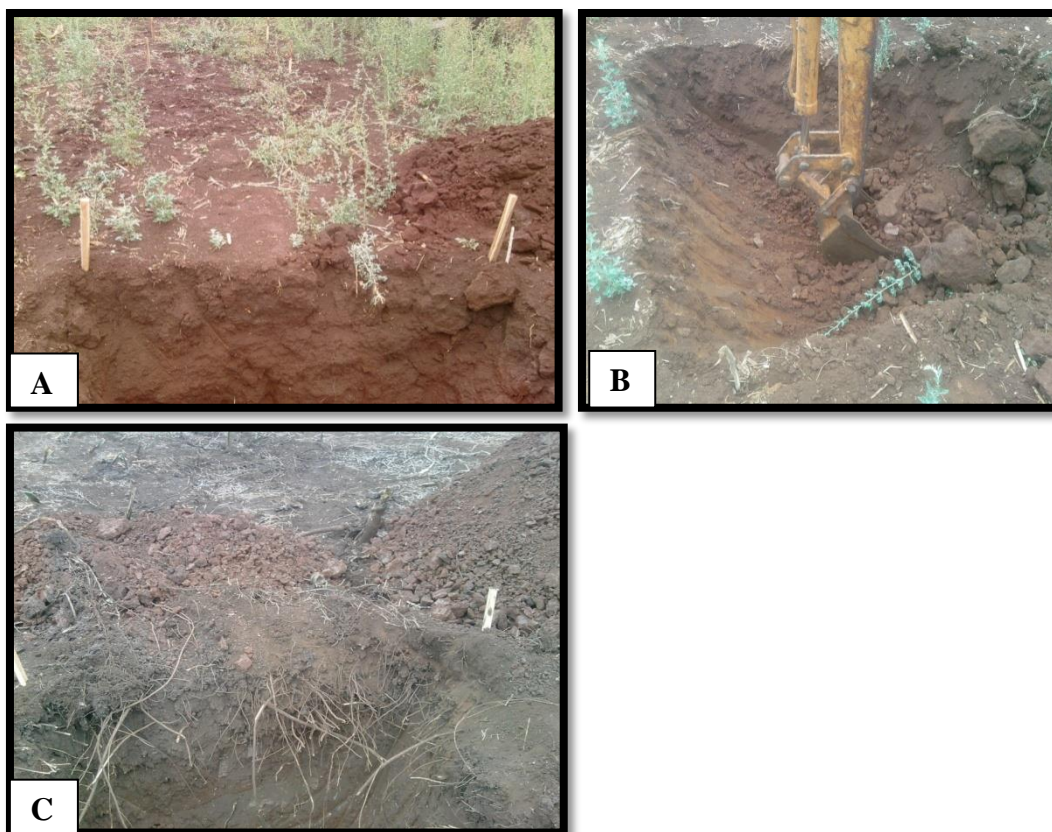


Figura 1. Ilustração da abertura dos três perfis em diferentes tipos de campos (campo não duro (A), campo duro (B) e campo não agricultado (C)).

A escolha da profundidade que varia de 0 aos 40 cm para a colecta das amostras e demarcação dos horizontes, foi devido à avaliação preliminar das máquinas comumente usadas na Casa do Gaiato, que possuem elevados pesos na ordem de 20 toneladas. De acordo com a literatura, equipamentos com peso nesta magnitude podem aumentar a densidade e consequente compactação do solo até 40 cm de profundidade (ARF & Bolonhezi, 2012).

Um total de trinta e seis amostras foram colhidas e submetidas à análises laboratoriais (físicas e químicas), nomeadamente, textura (Argila, limo e areia), densidade do solo,

carbono orgânico, capacidade de troca catiónica, condutividade eléctrica (CE) e bases de troca de maior importância no solo (cálcio, magnésio, potássio, sódio).

### **3.2.1 Outras informações recolhidas**

#### **a) Qualidade da água de rega**

A informação sobre a qualidade da água de rega foi fornecida pelos técnicos da barragem dos Pequenos Libombos, através das análises realizadas pela empresa periodicamente tendo em conta os intervalos de tempo pré-estabelecidos para apurar os reais resultados sobre a água que é comumente usada.

#### **b) Máquinas tractoras**

Concernente as máquinas tractoras que são usadas na Casa do Gaiato baseou-se em manuais disponibilizados no local pelos técnicos responsáveis pela área. Posteriormente, recorreu-se à literatura para a obtenção da informação referente aos pesos aproximados de cada máquina tractora.

#### **c) Culturas praticadas e o seu rendimento**

A informação sobre as culturas praticadas e o seu rendimento foi obtida através de certos registos manuais comumente realizados pelos técnicos locais. De salientar que, os mesmos disponibilizaram informação sobre duas culturas, do Milho amarelo e Feijão Catarina no intervalo de 2009 a 2011. De seguida recorreu-se à literatura visada para obter os rendimentos potenciais de cada cultura e comparando com os rendimentos esperados.

### **3.3 Análise Laboratorial**

A análise laboratorial foi realizada no laboratório de solos da Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal-UEM, permitindo a identificação e extracção dos principais elementos que compõe o solo por forma a identificar as características principais do mesmo.

#### **3.3.1 Textura do solo**

- a) Retirou-se do solo no qual foi eliminada a matéria orgânica uma amostra de aproximadamente 20 gramas, que deverá ser um pouco maior no caso de o solo ser de composição muito arenosa.
  
- b) Colocou-se a amostra de solo sobre um conjunto de crivos empilhados de redes com uma malha de diâmetro sucessivamente menor, de modo a separar as várias classes de partículas. Os crivos são agitados de modo a acelerar o processo de separação. Em cada um dos crivos ficam retidas as partículas da classe correspondente.

Cálculo:

$$\% \text{ areia} = \text{peso areia} / \text{peso amostra} * f * 100$$

$$\% \text{ limo} = [(\text{peso argila} + \text{limo} - \text{peso argila}) / \text{peso amostra}] * 100$$

$$\% \text{ argila} = [(\text{peso argila} - \text{peso branco}) / \text{peso amostra}] * F$$

$$F = 100 * f * (100 / V)$$

$$\text{Factor de correcção} = [100 / (\% \text{ areia} + \% \text{ limo} + \% \text{ argila})]$$

f = factor da correcção da humidade

v = volume da pipeta

100 = factor para ter percentagem

1000 = volume da proveta

### **3.3.2 Densidade do solo**

Este método consiste em impermeabilizar um torrão mergulhando-o em parafina fundida. O volume do torrão é determinado emergindo-o em água e determinando o peso do mesmo dentro e fora de água. Pelo princípio de Arquimedes, calcula-se o volume do torrão + parafina, que é igual ao peso da água deslocada. Deduzindo-se o volume da parafina obtém-se o volume do torrão.

Densidade do Solo ( $\text{g/cm}^3$ ) =  $[\text{Ms}/\text{Vt}]$

Ms – Massa do torrão seco

Vt – Volume do torrão.

### **3.3.3 Reagentes e soluções**

- a) Solução de acetato de amônio 1 N pH 7,0;
- b) Solução-estoque de La a 10 %;
- c) Solução de La a 0.2 %;
- d) Soluções-padrão de Ca e de Mg;
- e) Soluções-padrão de K e de Na.

### **3.3.4 Análises químicas**

#### **3.3.4.1 Bases de troca**

Para a extracção de Mg, Ca, Na usou-se o extrator acetato de amônio 1 N pH 7,0.

Pesou-se 5 g de solo em Erlenmeyer de 125 ml, adicionou-se 50 ml da solução de acetato de amônio a 1 N e pH 7,0 e agitou-se mecanicamente por dez minutos. Deixou-se decantar dezasseis horas e com uma pipeta retirou-se aproximadamente 10 ml do sobrenadante e transferiu-se para o frasco de 25 ml. Transferiu-se com micropipeta 0,5 ml desse extracto para o frasco de 15 ml e adicionou-se com repipetador 4,5 ml da solução de óxido de La a 0,177 % de La (400 ml da solução de  $\text{La}_2\text{O}_3$  a 0,2 % + 50 ml

de água ionizada). Com auxílio do espectrofotômetro de absorção atômica, efectuou-se as leituras para determinação de Ca e Mg. No extracto que sobrou no frasco de 25 ml, fez-se as leituras para determinação de K e Na.

#### Cálcio e magnésio

Pesou-se 10 g de amostras do solo seca ao ar, passando-as para tubo percolador. Adicionou-se 100 ml de HNO<sub>3</sub> 0,05 N e recebeu o percolado em balão volumétrico de 100 ml. Completou-se o volume, agitou-se e retirou-se uma alíquota de 10 ml, vertendo-a em copo Berzelius de 100 ml.

Dosagem do cálcio: acrescentou-se ao filtrado 3 ml de KOH a 20% e 0,3 g de purpurato de NH<sub>4</sub> a 0,5%. Titulou-se imediatamente com a solução 0,0100 de EDTA, até viragem do indicador de vermelho para violeta.

$$\text{Ca (cmolc (+))/kg de solo} = (a-b) \cdot (250/1000) \cdot 20 \cdot (1000/10 \cdot w) \cdot (2/40,08) = 24,96 \cdot (a-b/w)$$

a = concentração de K medida na amostra (mg/L).

b = concentração de K medida em branco (mg/L).

w = peso do solo seco (g).

Dosagem do magnésio: Retomou-se a solução em que foi determinado o Ca, adicionou-se 2,5 ml de HCl (1 + 4) e aqueceu-se até próximo da fervura. Cessou-se o aquecimento nesse momento ou quando o indicador estiver quase desaparecendo. Esperou-se resfriar, e adicionou-se 3 gotas de dietilditiocarbamato de sódio a 0,5%, 5 ml da solução tampão pH 10 e 8 gotas de preto de eriocromo T a 0,5%. Titulou-se com solução de EDTA (ácido etilenodiamino tetra-acético) até a viragem de vermelho-vinho para azul, isento de qualquer tonalidade arroxeada.

$$\text{Mg (cmolc (+))/kg de solo} = (a-b) \cdot (250/1000) \cdot 20 \cdot (1000/10 \cdot w) \cdot (2/24,31) = 41,14 \cdot (a-b/w).$$

a = concentração de K medida na amostra (mg/L).

b = concentração de K medida em branco (mg/L).

w = peso do solo seco (g).

#### Potássio

Introduziu-se no balão Erlenmeyer 10 cm<sup>3</sup> de amostra do solo seca ao ar e adicionou-se 100 ml do extracto de Mehlich e agitou-se por 10 minutos. Filtrou-se a suspensão, misturou-se e decantou-se por 16 horas (uma noite) e utilizou-se o sobrenadante para a dosagem. Ajustou-se o fotômetro de chama em 0% de emissão com a solução padrão sem K e em 100 % com a solução de maior concentração (10 mg/L de K). Submeteu-se ao fotômetro de chama as demais soluções padrões. E por último submeteu-se os extractos filtrados ou alíquotas do sobrenadante ao fotômetro de chama.

#### Cálculo:

$$K \text{ (cmolc (+)/kg de solo)} = (a-b) \cdot (250/1000) \cdot 2 \cdot (1000/10 \cdot w) \cdot (1/39,10) = 1,279 \cdot a - b/w$$

a = concentração de K medida na amostra (mg/L).

b = concentração de K medida em branco (mg/L).

w = peso do solo seco (g).

#### Sódio

Princípio de extração com solução diluída de HCl e posterior determinação com espectrofotometria de chama. Passou-se o extracto de solo obtido com HCl 0,05N no fotômetro de chama, utilizando o filtro próprio do Na<sup>+</sup>. Procedeu-se a leitura do aparelho; diluiu-se a solução quando a leitura ultrapassar a escala do aparelho.

#### Cálculo:

$$\text{Na (cmolc (+))/kg de solo} = (a-b) \cdot (250/1000) \cdot 2 \cdot (1000/10 \cdot w) \cdot (1/22,99) = 1,275 \cdot (a-b/w).$$

a = concentração de K medida na amostra (mg/L).

b = concentração de K medida em branco (mg/L).

w = peso do solo seco (g).

#### **3.3.4.2 Determinação da capacidade de troca catiónica**

a) Pesou-se 20g da amostra do solo húmido e fez-se a secagem ao ar.

b) Juntou-se 20ml de areia pura e misturou-se com NH<sub>4</sub>Ac.

c) Fechou-se a saída dos tubos de percolação com algodão e cobriu-se 1 cm da areia pura.

d) Saturou-se as amostras com 100 ml de NH<sub>4</sub>Ac 1 M e juntou-se o NH<sub>4</sub>Ac solução até o solo no tubo ficar submerso.

Recolha do primeiro percolato

e) Abriu-se a torneira do tubo e começou-se a percolação com a solução de NH<sub>4</sub>Ac. Até que a solução acabe (100 ml).

f) Recolheu-se o primeiro extracto num balão volumétrico de 100ml e fez-se o volume com NH<sub>4</sub>Ac 1 M até a marca.

g) Guardou-se as soluções para a determinação de Mg, Ca, K e Na numa garrafa plástica e determinou-se as bases trocáveis no dia seguinte.

h) Fez a lavagem do excesso de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

i) Tirou-se o excesso de  $\text{NH}_4^+$  por percolação com 100 ml de álcool etílico a 70%, com o objectivo de eliminar o  $\text{NH}_4^+$  que não foi adsorvido ao complexo de troca.

j) Usou-se um balão volumétrico de 100ml com 5 gotas de solução indicador e 0.5ml de solução de HCl 2M à saída do tubo.

k) Continuou-se com a percolação com 100ml da solução de cloreto de cálcio até que se verifique a marca. Guardou-se a mesma solução para a determinação de  $\text{NH}_4^+$  que reflecte directamente a CTC do solo.

### **3.3.4.3 Determinação da condutividade eléctrica do solo**

a) Fez-se o ajuste do aparelho para a constante do eléctrodo e para a temperatura das soluções a medir. O aparelho dá uma leitura da CE em mS/cm convertida a 25°C.

b) Pesou-se 20,0 g do solo num copo plástico. Adicionou-se com uma proveta de 50 ml de água destilada. Agitou-se a suspensão com um agitador durante meia hora no mínimo e deixou-se a suspensão em repouso até que o supernadante fique mais claro. Decantou-se o sobrenadante cuidadosamente num copo de vidro de 50 ml e mediu-se a condutividade eléctrica. Fez se a leitura da condutividade eléctrica em mS/cm. Posteriormente fez se o registo dos resultados.

## **3.5 Delineamento Experimental**

Para a realização do presente trabalho recorreu-se ao Delineamento Completamente Casualizado, que consistiu no uso de três campos do solo: solo duro, não duro e não agricultado com três repetições dentro de cada perfil e com quatro níveis de profundidade que variam de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40cm.

## **3.6 Análise de Dados**

- Foram usadas folhas de cálculo do Excel para a estimativa de médias de uma das variáveis em estudo, para a elaboração das tabelas e dos gráficos. Para a



elaboração dos gráficos que indicam a correlação de Pearson existente entre a densidade do solo e as diferentes variáveis através da análise do teste de regressão recorreu ao pacote anteriormente referido, através de diversas funções que o mesmo dispõe, o caso do tipo de gráficos e sendo o usual de dispersão.

- Para a relação bivariada recorreu-se às folhas de cálculo do Excel, através dum ferramenta disposta no Excel denominada Data-Analysis que funciona mutuamente Stastical Analysis.
- Os dados referentes à variável “diferentes profundidades de campo em relação as propriedades físicas e químicas do solo” foram submetidos a análise de variância ANOVA, usando o pacote estatístico STATA 10, assim no cálculo de testes de correlação de coeficiente de Pearson e de regressão.
- A comparação de médias dos tratamentos foi efectuada usando o teste de comparações múltiplas de Tukey, quando a ANOVA foi significativa a  $P < 0.05$ .

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Qualidade da Água de Rega Usada na Casa do Gaiato**

Os dados da água da albufeira da Barragem dos Pequenos Libombos, donde a Casa do Gaiato se abastece, indicam que a qualidade flutuou (Tabela 1). Na base da classificação apresentada por Almeida (2010) e a de Scofield, citado por Tiessendre (1987), nota-se que em Fevereiro de 2011 houve alguma flutuação que deteriorou a qualidade da água com a subida do teor de sódio para classe duvidosa, tendo mais tarde estabilizado. Alguns agricultores locais suspeitam que a elevação do teor de sódio se deveu a contaminação da água pela intensificação da produção da Banana. Entretanto, investigações ainda estão em curso para apurar a veracidade da suspeita.

Tabela 1 - Condutividade eléctrica e Teores de Sódio de água da albufeira dos Pequenos Libombos.

<b>Ano</b>	<b>Dia</b>	<b>CE (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>)</b>	<b>Sódio (%)</b>
<b>2009</b>	16/06/09	636	52.23
	27/11/09	715	51.51
<b>2010</b>	29/06/10	486	54.98
	31/08/10	371	57.01
<b>2011</b>	11/02/11	456	79
	25/05/11	586	54.49

**Fonte:** ARA – SUL - UGBH – Boane (2011).

Baseado em Cuenca (1986), a condutividade eléctrica da água usada para irrigação no distrito de Boane não constitui nenhum risco para as plantas pois é menor que 1200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Fazendo a relação com a classificação de Scofield) observou-se que CE

(condutibilidade eléctrica) foi boa entre 2009 e 2011 com níveis de sódio; permissível entre 2009 e 2010. Em Fevereiro de 2011, os níveis de sódio aumentaram para 79% tendo deteriorado a qualidade da água para classe duvidosa e mais tarde diminuiu para 55% (Classe permissível). Aparentemente, a qualidade da água não é a razão da dureza do solo. Entretanto, considerando que considerando que os campos da Casa do Gaiato não tem um sistema de drenagem para escoar a água em excesso, pode acontecer que sais contidos na água em excesso, pode acontecer que os sais contidos na água em excesso, pode acontecer que sais contidos na água de rega possam se acumular continuamente até em alguns casos atingir valores indesejáveis (Vide a Tabela 2).

## 4.2 Máquinas da Casa do Gaiato

As máquinas tractoras usadas na Casa do Gaiato têm peso e potência estimados em 2-13 toneladas e 80-300cv, respectivamente (Tabela 2). De uma forma geral, pode se constatar que esta maquinaria poderá levar ao aumento da densidade do solo e a consequente compactação do solo caso haja um tráfego excessivo sobretudo em solo húmido. Vários estudos (Gameda *et al.*, 1987, Radford *et al.*, 2000, Streck *et al.*, 2004, ARF & Bolonhezi, 2012) indicam que dependendo do tipo do solo e combinado com outros factores determinantes (textura, humidade do solo e tipo e tráfego do equipamento) estes efeitos negativos podem ter efeitos até 11-40cm de profundidade.

Tabela 2 – Máquinas tractoras da Casa do Gaiato

<b>Tipo de Máquina</b>	<b>Modelo</b>	<b>Potência (CV)</b>	<b>Peso aproximado</b>	<b>Fonte</b>
<b>Autocombinada</b>	Laverda	120	8500 kg	Mascus UK (2015)
<b>Bulldozer</b>	Caterpillar D6	300	18325 kg	Caterpillar (2012)
<b>Tractor</b>	Ford 6610	120	3311 kg	Tractor data (2000-2014)
	John Deere 2651	90	3492 kg	
	MF 290	80	2694 kg	
	MF4270	120	3609 kg	
	Valmet 80	130	12886 kg	Engerental (sd)
	Valtra BM-120	120	1700 kg	MFRURAL (sd)

**Fonte:** Farma da Casa do Gaiato (2011)

Este pensamento é consubstanciado por Gameda, Raghavan, McKyes & Theriault (1987) citados por Nhantumbo (1998), ao argumentar que a estrutura de um solo pode ser destruída a uma profundidade de 1 m e em casos extremos encontrados sobre um solo argiloso em que o equipamento com 10 e 20 toneladas cargas sobre os eixos de maiores densidades de subsolo a granel. O mesmo autor defende que o tráfego de rodas de máquinas com cargas constituídas por eixo superiores a 10 toneladas pode causar aumentos na densidade do solo e resistência à penetração mais profunda.

O uso de máquinas e implementos com a humidade do solo próxima ao limite de plasticidade é o principal factor que compacta os solos agrícolas, pois a água reduz a coesão e actua como lubrificante entre as partículas quando este é submetido a algum tipo de pressão (Luciano *et al.*, 2012). Segundo Kluthocouski (2000), a compactação superficial dos solos, limita o desenvolvimento do sistema radicular, comprometendo o crescimento e a produtividade das culturas.

O mesmo autor fundamenta que este facto pode ocorrer pela falta de conhecimento sobre a capacidade de suporte de carga ou o teor de água ideal para a realização de uma determinada operação mecanizada. Este problema é mais grave em solos irrigados ocasionado pela adição de água acarretando a redução da capacidade de suporte de carga do solo e aumentando a sua susceptibilidade à compactação.

### **4.3 Rendimentos das Culturas mais Cultivadas na Casa do Gaiato**

A Casa do Gaiato produz cereais e leguminosas (Tabela 3). Os resultados de 2009 à 2011 indicaram que a sementeira é feita em duas épocas nomeadamente Novembro-Dezembro (milho) e Março-Abril (feijão) . As culturas destacadas são as produzidas com maior frequência pela farma da Casa de Gaiato devido à sua procura para produção de rações para além da importância nutritiva.

O Feijão Catarina é consumido localmente e apresenta maior procura no mercado e possui fácil adaptabilidade ao clima.

Tabela 3- Cultura de feijão e milho mais cultivadas na Casa do Gaiato

<b>Ano</b>	<b>Cultura/Varietade</b>	<b>ha</b>	<b>Época de sementeira</b>	<b>Rendimento obtido (t/ha)</b>	<b>Rendimento previsto (t/ha)</b>
<b>2009</b>	Feijão catarina	12.5	Mar/Abril	0.9	2
	Milho amarelo LS 8512	25	Nov/Dez	2	4
<b>2010</b>	Milho amarelo LS 8512	25	Nov/Dez	1.6	4
	Feijão catarina	12.5	Mar/Abril	0.8	2
<b>2011</b>	Milho amarelo LS 8512	12.5	Nov/Dez	2	4
	Feijão catarina	12.5	Mar/Abril	0.7	2

**Fonte:** Farma da Casa do Gaiato

**Obs:** Varietade (LS) =Link Seed

Os rendimentos obtidos representam entre 30 a 40% do potencial das variedades usadas. Em relação ao Feijão catarina, verifica-se uma redução de cerca de 70% em relação ao rendimento potencial bem como no milho, verifica-se uma redução de 50% em relação ao rendimento potencial, o que se pressupõe que esteja relacionado ao uso de máquinas pesadas que têm sido usadas para a realização das actividades agrícolas no campo. Este facto é sustentado por Cardoso (2010), argumentando que a utilização de máquinas gera efeitos directos nas condições físicas e indirectos no rendimento da cultura e condições biota do solo aumentam. Na pesquisa de Bouwman e Arts (2000), a densidade do solo foi monitorada como um indicador de compactação do solo. Os resultados indicaram que um moderado grau de compactação obteve elevado rendimento e que elevados graus de compactação impedem que o sistema radicular penetre nas camadas mais profundas.

Baseado em Lana *et al.*, (2002), o efeito dos teores de potássio sobre o rendimento das culturas, constataram que a maioria das culturas não responde em solos cujos teores de potássio, cálcio e magnésio sejam maiores que 50mg/kg. Este pensamento vem consubstanciar os resultados deste estudo, pois verificou-se a média do teor de cálcio, magnésio, potássio de 21mg/kg, 11mg/kg, 2mg/kg, respectivamente, abaixo de

50mg/kg, indicando que não reduziu o rendimento das culturas observado abaixo do ótimo.

## **4.4 Textura do Solo**

### **4.4.1 Areia**

Os teores da fracção de areia nas camadas do solo no campo agricultado “não duro” não mostraram diferenças significativas. Este comportamento também foi encontrado nas primeiras três camadas superficiais do solo em campo agricultado “duro”, sendo a restante camada diferente das anteriores. Os mesmos resultados apresentam diferenças significativas com base no teste de Tukey a 5% de nível de significância, ao nível das profundidades de 0-10 e 10-20cm em relação ao solo agricultado duro e não duro, e que diferem estatisticamente das profundidades de 20-30 e 30-40cm. Considerando como base camadas similares entre diferentes campos verificaram-se algumas diferenças apenas nas primeiras duas camadas, 0-10 e 10-20 cm, respectivamente (Tabela 4).

Tabela 4 - Areia do solo (%) nos diferentes usos da terra

Campo		Camada (cm)			
		0-10	10-20	20-30	30-40
Agricultado	“ Não duro”	18Aa	18Aa	19Aa	17Aa
	“ Duro”	28Ab	26Ab	24ABa	20Ba
Não agricultado		29Acb	23BCab	23BCa	17Ba

\*Campos designados localmente por “não compactos” e “compactos”, respectivamente. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na mesma linha ou minúscula na mesma coluna, não diferem estaticamente entre elas pelo teste de Tukey à 5% do nível de significância.

Os diferentes teores de areia nas camadas superficiais mais usadas para agricultura (0-20cm) sugerem que este parâmetro contribui para comportamento do solo que resultou na dureza de alguns campos agricultados e a não prática de agricultura em solos designados por “não agricultados”. Estes campos apresentaram maiores teores de areia. A menor percentagem de areia existe em campo agricultado “não duro” presume haja menor susceptibilidade de empacotamento das partículas do solo devido a prováveis teores da fracção de argila e limo fora da região crítica.

Uma vez que a humidade crítica que facilita a compactação do solo baixa em função da textura (Luciano *et al.*, 2012), os resultados sugerem que os solos dos campos duros e não agricultados são susceptíveis à densificação natural ou a humidade em que se verifica o tráfego das máquinas. Contudo, estudos realizados por Nhantumbo e Cambule (2006) na província de Maputo indicam que solos mais susceptíveis à densificação são os que têm teores de areia em redor de 75%, o que contrasta com o intervalo de 23-26% encontrado neste estudo. Uma vez que a dureza do solo pode estar associado à outros factores como a presença de elementos cimentantes os resultados sugerem que é imprescindível a extensão da pesquisa para estes elementos.

#### **4.4.2 Limo**

As camadas do solo de cada um dos três tipos de campo separadamente não revelaram diferenças significativas em teores de limo. Por outro lado, os solos agricultados duros apresentam baixos teores de limo. Entretanto, segundo Sampaio (2006) quanto mais limoso for o solo mais susceptível é a sua dureza. O que contrasta com os resultados deste estudo. Esta contradição sugere que outros factores influenciam este comportamento (Tabela 5).

Tabela 5 - Limo do solo (%) nos diferentes usos da terra

Campo		Camada (cm)			
		0-10	10-20	20-30	30-40
Agricultado	“ Não duro”	43Aa	41Aa	45Aa	47Aa
	“ Duro”	22Ab	24Ab	26Ab	19Ab
Não agricultado		36Aa	40Aa	42Aa	41Aa

\*Campos designados localmente por “não compactos” e “compactos”, respectivamente. \*\*- Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na mesma linha ou minúscula na mesma coluna, não diferem estaticamente entre elas pelo teste de Tukey à 5% do nível de significância.

#### 4.4.3 Argila

Em todos campos não foram verificadas diferenças significativas em teores de argila entre as várias camadas no mesmo tipo de campo, excepto a camada superficial do solo “não agricultado” (Tabela 6).

Tabela 6 - Argila do solo (%) nos diferentes usos da terra.

Campo		Camada (cm)			
		0-10	10-20	20-30	30-40
Agricultado	“ Não duro”	43Aa	49Aa	47Aa	54Aa
	“ Duro”	43 Aa	45 Aa	49 Aa	55 Aa
Não agricultado		29Aa	46Ba	43Ba	57Ba



\*Campos designados localmente por “não compactos” e “compactos”, respectivamente. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na mesma linha ou minúscula na mesma coluna, não diferem estaticamente entre elas pelo teste de Tukey à 5% do nível de significância.

De acordo com Braida *et al.*, (2006), a elevação dos teores de argila no solo é geralmente acompanhado de matéria orgânica o que reduz a densidade máxima do solo e aumentando a humidade crítica de compactação pois aquelas variáveis retém mais água do que as fracções limo e areia e baixa densidade do solo. Esta explicação poderá concorrer para a marginalização do campo não agricultado por ter baixo teor de argila na camada superficial.

#### 4.4.4 Argila+limo

Do solo agricultado “não duro”, “solo agricultado “duro” para solo não agricultado, parte da similaridade e vai-se agravando as diferenças entre as camadas de solo do mesmo tipo de campo (Tabela 7). Na camada mais importante para a fertilidade (0-20 cm) verificou-se maior teor de limo+argila no campo agricultado não duro.

Tabela 7 - Argila+limo do solo (%) nos diferentes usos da terra.

Campo		Camada (cm)			
		0-10	10-20	20-30	30-40
Agricultado	“ Não duro”	82Aa	82Aa	81Aa	83Aa
	“ Duro”	72 Aa	74 Aa	76 Aa	80 Aa
Não agricultado		71Aa	77Ba	77Ba	83Ba

\*Campos designados localmente por “não compactos” e “compactos”, respectivamente. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na mesma linha ou minúscula na mesma coluna, não diferem estaticamente entre elas pelo teste de Tukey à 5% do nível de significância.

De acordo com Ohu (1987) os solos da classe textural areia franca são mais susceptíveis à densificação do que os solos francos arenosos, devido ao teor de areia do primeiro ser maior do que do solo franco arenoso. Isso pode ser devido ao facto de que as partículas dos solos com predominância da fracção areia se rearranjarem mais facilmente do que nos solos com predominância da fracção argila (Pacheco e Dias Júnior, 1990 e Figueiredo, 1998 citados por Júnior e De Miranda, 2000). Esta constatação vai de acordo com a descrição feita na secção que discute sobre os teores de areia.

#### **4.5 Densidade do Solo**

Em solo agricultado não duro verifica-se a ausência de diferenças significativas entre a camada superficial e a camada de 20-30cm de profundidade. No mesmo solo agricultado duro, verifica-se a ausência de diferenças significativas nas camadas de 10-20cm e 30-40cm. No solo agricultado duro verifica-se a ausência de diferenças de significativas em todas as profundidades excepto na camada superficial (Tabela 8).

Tabela 8 - Densidade do solo ( $Mg/m^3$ ) nos diferentes usos da terra.

Campo		Camada (cm)			
		0-10	10-20	20-30	30-40
Agricultado	“ Não duro”	1.52Aa	1.82Bb	1.61Aa	1.70Bb
	“ Duro”	1.73Bb	1.62Aa	1.68Aa	1.59Aa
Não agricultado		1.25Aa	1.65Aa	1.72Bb	1.78Bb

\* Campos designados localmente por “não compactos” e “compactos”, respectivamente. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na mesma linha ou minúscula na mesma coluna, não diferem estaticamente entre elas pelo teste de Tukey à 5% do nível de significância.

Uma forma geral, em todos os tratamentos, verifica-se elevados teores de densidade do solo, o que se pressupõe que contribua para o aumento da compactação do solo causando consequentemente á dureza do solo.

A compactação do solo pode ser um sintoma decorrente do manejo que influenciar a resistência à penetração de maneira diferenciada no perfil. Em sistemas convencionais de preparo de solo, o revolvimento excessivo pode causar compactação subsuperficial, impedindo o crescimento das raízes em profundidade, tornando as plantas mais susceptíveis à verânicos ou mesmo causando deficiência de oxigénio em condições de excesso de chuvas. Em sistema de plantio directo, o solo pode apresentar compactação próxima à superfície, devido ao trânsito de máquinas agrícolas nas operações de plantio, pulverização e colheita (Embrapa, 2003).

## **4.8 Carbono Orgânico, Conductividade Eléctrica, Capacidade de Troca Catiónica e Bases de Troca do Solo.**

### **4.8.1 Carbono orgânico**

O carbono orgânico não constitui factor de diferenciação entre os campos nem entre as camadas do mesmo solo (Tabela 9).

Considerando que a matéria orgânica no solo

Tabela 9 - Carbono orgânico do solo ( $\text{g/m}^3$ ) nos diferentes usos da terra

Campo		Camada (cm)			
		0-10	10-20	20-30	30-40
Agricultado	“ Não duro”	34Aa	47Aa	35Aa	40Aa
	“ Duro”	45Aa	50Aa	37Aa	36Aa
Não agricultado		33Aa	34Aa	52Aa	48Aa

\* Campos designados localmente por “não compactos” e “compactos”, respectivamente. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na mesma linha ou minúscula na mesma coluna, não diferem estaticamente entre elas pelo teste de Tukey à 5% do nível de significância.

Estimada na base do carbono orgânico é indispensável para reduzir a densificação do solo pois aumenta o intervalo de humidade em que o solo pode sofrer tráfego, aumentar a resistência à penetração das raízes quando o solo está seco. Não havendo diferenças entre os campos assim como entre as várias camadas sugere que este parâmetro não desempenha nenhum papel para o comportamento do solo verificado na Casa do Gaiato.

#### **4.8.2 Condutividade eléctrica do solo**

Todos campos, de uma forma geral, apresentaram conductividade eléctrica dentro dos limites aceitáveis para a prática agrícola (Tabela 10).

Tabela 10 - Condutividade eléctrica do solo (1:2.5, dS/m) nos diferentes usos da terra

Campo		Camada (cm)			
		0-10	10-20	20-30	30-40
Agricultado	“ Não duro”	2.0Aa	1.7Aa	2.1Aa	1.4Aa
	“ Duro”	2.4Aa	2.9Aa	4.1ABb	5.5Bb
Não agricultado		2.6Aa	2.1ABa	1.2Ba	0.7Ba

\* Campos designados localmente por “não compactos” e “compactos”, respectivamente. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na mesma linha ou minúscula na mesma coluna, não diferem estaticamente entre elas pelo teste de Tukey à 5% do nível de significância.

As camadas do solo agricultado não duro não têm diferença em relação à condutividade eléctrica. O mesmo não acontece com outros campos onde verificou-se um gradual aumento no solo agricultado duro e uma tendência não clara no solo não agricultado. Contudo os vários campos para a camada superficial (0-20cm) não apresentam diferenças significativas.

De acordo com Pereira, (1998), condutividade eléctrica da pasta saturada em redor de 2,0 dS/m, não apresenta nenhum perigo para as plantas, a não ser em condições muito desfavoráveis pois, dependendo das circunstâncias, as plantas podem tolerar até 4,0 dS/m. Contudo as camadas profundas do campo agricultado duro apresentaram valores tendente à altos. Em todos os tratamentos, os valores de condutividade eléctrica em todas as camadas quando convertidos para a pasta saturada através dos factores de correcção (Solo arenoso=5.6, limoso = 4.5 e argiloso = 2.5) são valores elevados que

variam de 4.25 à 10.25 entre 0 e 30 cm de profundidade, tendo sido registado os valores mais altos nos terrenos agricultados duros (vide Anexo 2). Segundo Dias (2004), situações similares podem se dever à drenagem deficiente a baixas profundidades.

Estes resultados sugerem que a salinidade deve ser um dos contribuintes para os problemas de dureza do solo de que a Casa do Gaiato se resente.

### **4.8.3 Capacidade de troca catiónica**

Cada um dos campos apresentou valores de CTC similares ao longo das camadas do solo (Tabela 11). Entretanto, o solo agricultado duro apresentou valores mais baixos de

Tabela 11. Capacidade de troca catiónica do solo (meq/100g do solo) nos diferentes usos da terra

Campo		Camada (cm)			
		0-10	10-20	20-30	30-40
Agricultado	“ Não duro”	43Aa	41Aa	45Aa	47Aa
	“ Duro”	22Ab	24Ab	26Ab	19Ab
Não agricultado		36Aa	40Aa	42Aa	41Aa

\* Campos designados localmente por “não compactos” e “compactos”, respectivamente. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na mesma linha ou minúscula na mesma coluna, não diferem estaticamente entre elas pelo teste de Tukey à 5% do nível de significância.

CTC. De acordo com Raij (1969) & Ernani (2008) este tipo de solo tem menor capacidade de reter catiões em determinadas condições e permuta por quantidades estequiométricamente equivalentes de outros iões do mesmo sinal. Trata-se de um atributo de grande interesse prático, muito útil em estudos de fertilidade e

comportamento do solo, além de ser indispensável para a caracterização dos mesmos. Pesquisa adicional na composição mineralógica seria de grande importância pois ajudaria a dureza e provável impermeabilidade das camadas mais profundas do solo.

#### **4.8.4 Sódio do solo**

Ao longo do solo agricultado não duro e duro, não existem diferenças significativas em teores de sódio, a nível das profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40cm. Os mesmos resultados mostram a inexistência de diferenças significativas com base no teste de Tukey a 5% de nível de significância, ao nível de todas as profundidades em relação ao solo agricultado duro e não duro em termos de teores de sódio (Tabela 12).

Tabela 12. Sódio do solo ( $\text{g/m}^3$ ) nos diferentes usos da terra

Campo		Camada (cm)			
		0-10	10-20	20-30	30-40
Agricultado	“ Não duro”	9Aa	8Aa	8Aa	12Aa
	“ Duro”	2Aa	6Aa	1Aa	1Aa
Não agricultado		1Aa	7ABa	6ABa	13Ba

\*Campos designados localmente por “não compactos” e “compactos”, respectivamente. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na mesma linha ou minúscula na mesma coluna, não diferem estaticamente entre elas pelo teste de Tukey à 5% do nível de significância.

Os resultados, revelam ainda a presença de elevados teores de sódio em solo agricultado duro e não duro, proporcionando desta maneira a salinização do solo e levando a

destruição da estrutura do solo. No solo, os efeitos da salinidade no desenvolvimento vegetal provém de alterações nas suas propriedades químicas e físicas. Em relação às propriedades químicas, o aumento das concentrações de sais e sódio trocável, ocasiona a redução de sua fertilidade e, em longo prazo, pode levar a desertificação (Schlosser *et al.*, 2012). Esse estudo é fundamentado por Soil Atlas of Europe (2006), justificando que a salinização produz efeitos de desertificação tais como a redução da fertilidade do solo, a destruição da sua estrutura, a compactação e a aglomeração.

#### **4.8.5 Potássio do solo**

Os campos apresentaram teores de potássio estatisticamente não diferentes, excepto a camada superficial de campo agricultado duro. Esta camada apresentou maiores valores a nível das camadas do perfil do campo e outras camadas similares noutros campos. O teor de potássio na camada superficial do solo não agricultado teve tendência de seguir a camada com o maior valor. Este comportamento sugere que o teor de potássio possa estar relacionado com a dureza e a marginalidade dos campos na Casa do Gaiato (vide a Tabela 13).

Tabela 13. Potássio do solo ( $\text{g/m}^3$ ) nos diferentes usos da terra

Campo		Camada (cm)			
		0-10	10-20	20-30	30-40
Agricultado	“ Não duro”	2Aa	3Aa	2Aa	3Aa
	“ Duro”	4Ab	2Ba	2Ba	1Ba
Não agricultado		3Aa	2Aa	2Aa	2Aa



\*Campos designados localmente por “não compactos” e “compactos”, respectivamente. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na mesma linha ou minúscula na mesma coluna, não diferem estaticamente entre elas pelo teste de Tukey à 5% do nível de significância

Uma vez que a disponibilidade é condicionada pela densificação do solo, presume-se que o maior valor em solos duros possa estar relacionado com as dificuldades dos processos de fluxo de massa e de difusão, responsáveis pelo transporte de nutrientes até às raízes. A semelhança da análise feita em parâmetros anteriores a pesquisa adicional em composição mineralógica pode estar na origem do comportamento daqueles campos.

#### **4.8.6 Cálcio do solo**

De uma forma geral, os teores de Cálcio em todos os campos são baixos. Esta situação propícia a baixa porosidade o que limita o desenvolvimento das raízes que posteriormente podem servir de fonte de matéria orgânica para o solo. Embora não elevados, os maiores valores foram observados nos campos agricultados duros (Tabela 14).

Tabela 14. Cálcio do solo ( $\text{g/m}^3$ ) nos diferentes usos da terra

Campo		Camada (cm)			
		0-10	10-20	20-30	30-40
Agricultado	“ Não duro”	0.03Aa	0.02Aa	0.03Aa	0.03Aa
	“ Duro”	0.05Ab	0.07ABb	0.07BCb	0.08Cb
Não agricultado		0.04Aa	0.03Aa	0.03Aa	0.03Aa

\*Campos designados localmente por “não compactos” e “compactos”, respectivamente. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na mesma linha ou minúscula na mesma coluna, não diferem estaticamente entre elas pelo teste de Tukey à 5% do nível de significância.

#### **4.8.7 Magnésio do solo**

O solo agricultado não duro teve tendência de apresentar maiores valores de magnésio. Este comportamento sugere que a dureza e a marginalidade que partes dos campos da Casa do Gaiato sofrem esteja relacionado com este nutriente. Aparentemente, solos duros e os solos não agricultados são os que tendem a ter menos teores de magnésio o que pode levar a entender que a ausência deste elemento conduz à dureza e à marginalização do solo (Tabela 15).

Tabela 15. Magnésio do solo ( $\text{g/m}^3$ ) nos diferentes usos da terra

Campo		Camada (cm)			
		0-10	10-20	20-30	30-40
Agricultado	“ Não duro”	26Aa	20Aa	27Aa	27Aa
	“ Duro”	11Ab	9Aa	20Aa	9Ab
Não agricultado		12Ab	19Aa	20Aa	23Aa

\*Campos designados localmente por “não compactos” e “compactos”, respectivamente. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na mesma linha ou minúscula na mesma coluna, não diferem estaticamente entre elas pelo teste de Tukey à 5% do nível de significância.

#### 4.9 Relação Bivariada

Os resultados do teste de correlação ilustram a existência de correlação positiva entre a densidade do solo e argila, argila+limo, C, CTC, CEe e Na. Os mesmos resultados ilustram a presença de uma correlação negativa entre a densidade do solo e as variáveis limo e areia (Tabela 16).

Tabela 16. Coeficientes de correlação (r) entre a densidade do solo e variáveis físicas e químicas.

Variável	Correlação das variáveis com a densidade do solo
Areia	-0.36
Limo	-0.51
Argila	0.56
Argila+Limo	0.36
C* <sup>1</sup>	0.38
CTC* <sup>2</sup>	0.068
CE* <sup>3</sup>	0.28
Na* <sup>4</sup>	0.30

C\*<sup>1</sup>-Carbono; CTC \*<sup>2</sup>- capacidade de troca catiónica; CE\*<sup>3</sup>-Condutividade elétrica (1:2.5) Na\*<sup>4</sup>-Sódio (Na).

#### 4.10 Relação Entre a Densidade do Solo e a Areia.

Com o aumento dos teores de areia existe menor densidade do solo, culminando com um grau de relacionamento baixo entre a densidade do solo e o teor de areia com base na regressão feita e elevada dispersão, o que vêm sendo sustentado pelo valor da

correlação que é negativo (-0.36983) mostrando o grau de independência e incoerência existente entre as variáveis (Figura 2).

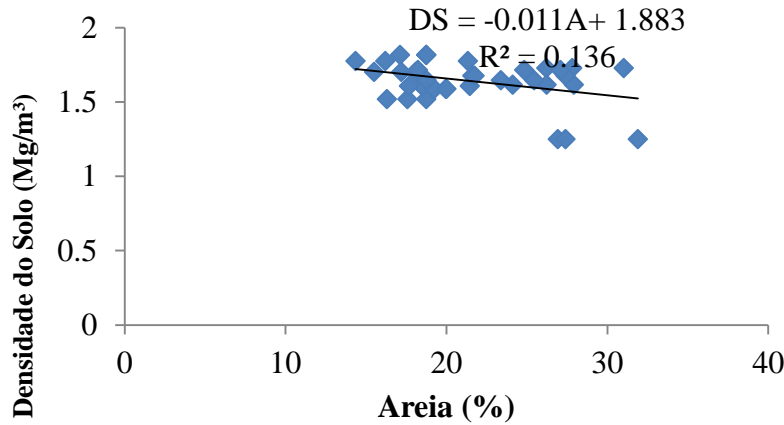


Figura 2. Relação entre a densidade do solo e a areia.

Segundo Sampaio (2006), os solos arenosos são caracterizados pelo fraco poder de retenção para a água e substâncias dissolvidas; muito permeável; quase sem plasticidade; solta e incoerente quando seca, quimicamente é relativamente inerte. Este facto coaduna com os resultados do presente estudo, pois devido às características da fracção, constata-se obviamente que com o aumento dos teores areia reduzirá a densidade do solo, apresentando desta uma inversalidade entre as variáveis.

#### **4.11 A relação Entre a Densidade do Solo e Limo.**

Com o aumento da densidade do solo, verifica-se a redução do teor de limo com base na regressão feita, o que vêm sendo consubstanciado pelo valor da correlação que é negativo (-0.51814) mostrando o grau de independência e incoerência existente entre as variáveis (Figura 3).

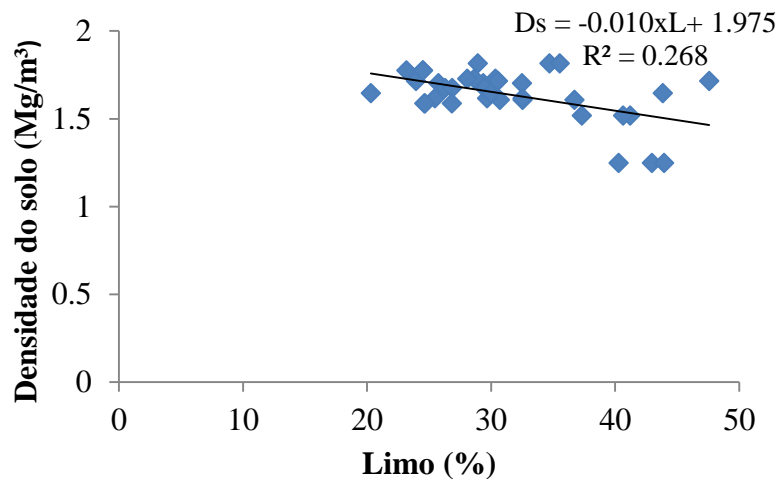


Figura 3. Relação entre a densidade do solo e limo.

Os solos limosos são caracterizados por considerável poder de retenção de água; difícil penetração da água no solo; plasticidade quando húmidos; pouco ou não pegajoso; relativamente tenaz quando seca e inerte quimicamente; rica em materiais de calcário e/ou ferruginoso é quimicamente activa afectando a reacção do solo. Este facto não corrobora com os resultados ilustrados no presente estudo, pois pressupõe-se que devido às características dos solos limosos, devia existir uma correlação positiva entre os teores de limo e a densidade do solo. Ou seja, com o aumento dos teores de limo, pressupõe-se o aumento da densidade do solo.

Solos arenosos apresentam densidade do solo superior aos argilosos enquanto, solos siltosos apresentam densidade intermediária (Sampaio, 2006).

#### **4.12 Relação Entre a Densidade Solo e a Argila.**

A relação existente entre a densidade do solo e argila é positiva, visto que com aumento do teor da argila aumenta a densidade do solo (Figura 4).

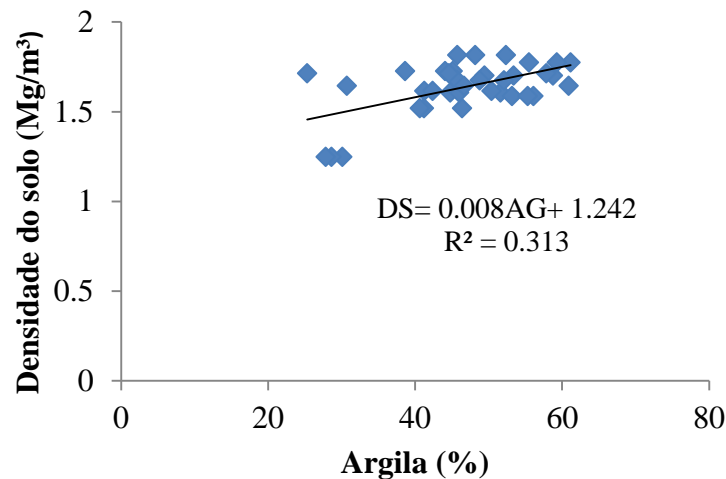


Figura 4. Relação entre a Densidade do solo e Argila.

A argila, em função do reduzido diâmetro, apresenta grande área superficial específica, o que acarreta elevada retenção de água e fluxo lento de ar e água, além de elevada pegajosidade quando húmida e alta coesão, quando seca (Brady & Weil, 2008). Para Reichardt e Timm (2004), a argila é a fracção do solo que mais influencia o seu comportamento físico. Os solos agrícolas apresentam grande amplitude de densidade em função de suas características mineralógicas, de textura e de teor de matéria orgânica. Essa variação da densidade do solo, em função de propriedades intrínsecas do solo, dificulta a sua utilização para quantificar o grau de compactação do solo (Brady & Weil, 2008). Os solos argilosos apresentam agregação das partículas de argila, da qual resulta a porosidade intra-agregados, que aumenta o volume do espaço poroso, principalmente aqueles poros com diâmetro reduzido.

#### 4.13 Relação Entre a Densidade do Solo e Argila+Limo

A relação existente entre a densidade do solo e argila+limo é fortemente positiva, isto é, quanto maior a quantidade de argila+limo maior a densidade do solo (Figura 5).

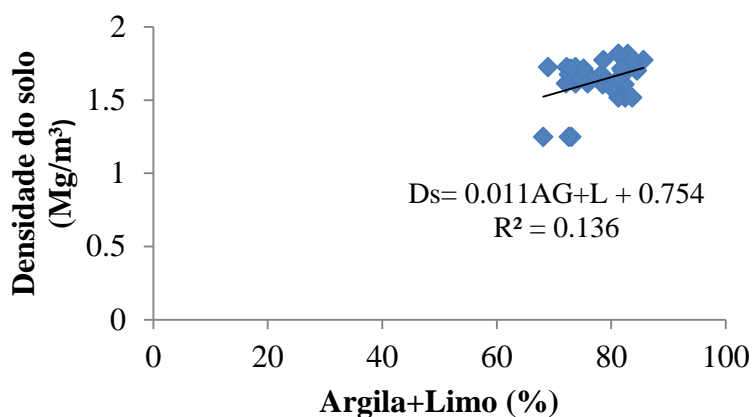


Figura 5. Relação entre a densidade do solo e teores de argila+limo.

Com base na figura acima verifica-se um grau de relacionamento forte entre a densidade do solo e o teor de argila mais limo com base no teste de regressão feito, tal como verificou-se baixa dispersão, o que vêm sendo sustentado pelo valor da correlação que é positivo (0.36) mostrando o grau de dependência e coerência existente entre as variáveis.

#### 4.14 Relação Entre a Densidade do Solo e o Carbono

A relação existente entre a densidade do solo e o C é positiva, embora com um valor de  $R^2$  baixo (Figura 6).

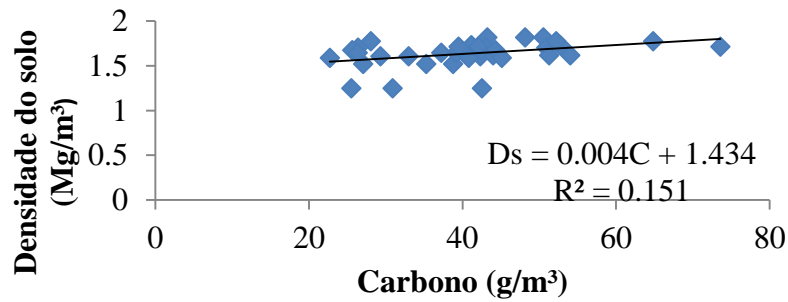


Figura 6. Relação entre a densidade do solo e o Carbono.

Segundo Zhang *et al.*, (2005), o acúmulo de matéria orgânica no solo pode aumentar a resistência do solo à compactação ou reduzir seus efeitos, em virtude de aumentar o intervalo de humidade em que o solo pode sofrer tráfego, aumentar a resistência do solo à deformação e por diminuir a resistência à penetração das raízes quando o solo está seco. De acordo com Braida *et al.*, (2005), o acúmulo de matéria orgânica no solo está associado á alterações da susceptibilidade do solo à compactação. Segundo o mesmo autor, a magnitude e o tipo de efeito são dependentes da textura do solo e de efeitos associados sobre a retenção de água, coesão e densidade do solo.



#### 4.15 Relação Entre a Densidade do Solo e a CE

Em relação a Densidade do solo e a CE, verifica-se uma correlação positiva (Figura 7).

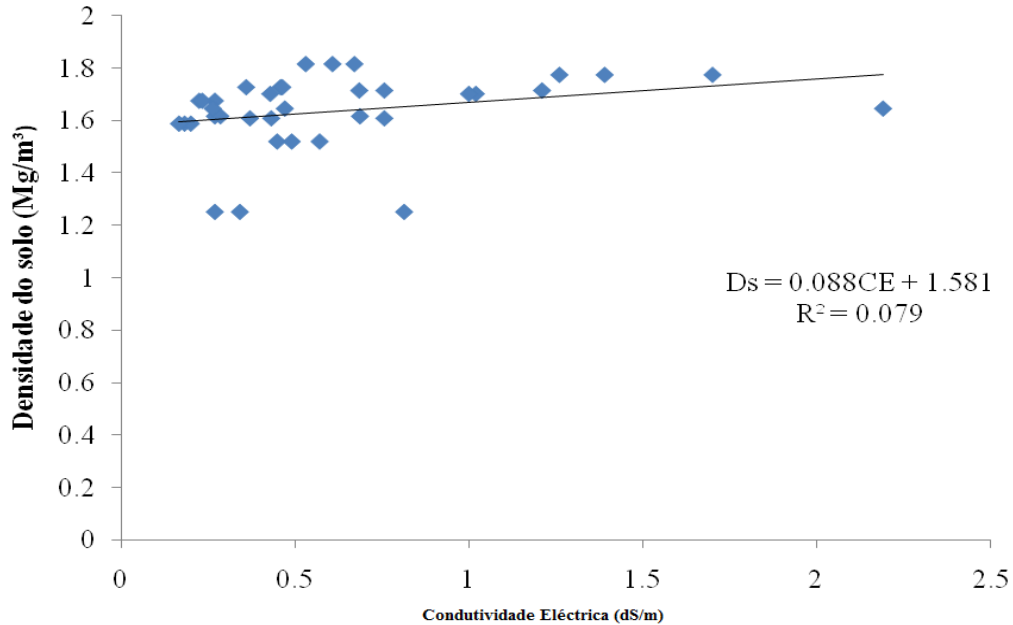


Figura 7. Relação entre a densidade do solo e a Condutividade eléctrica (1:2.5).

Contudo, à semelhança das relações anteriormente descritas o coeficiente de determinação é baixo. Este argumento sustenta que o aumento do teor de sais, aumenta também a densidade do solo. A salinização do solo reduz a capacidade das plantas de absorver água provocando um conjunto de alterações metabólicas idênticas às provocadas pelo défice hídrico ocasionando a redução na taxa de crescimento das plantas (Munns, 2002). Os problemas de salinização são representados por solos anteriormente usados que tornaram-se salinos devido à irrigação mal planificada (Barros *et al.*, 2005).

#### 4.16 Relação Entre a Densidade do Solo e a CTC

Para a variável CTC e densidade do solo, verifica-se uma correlação positiva entre as duas variáveis (Figura 8).

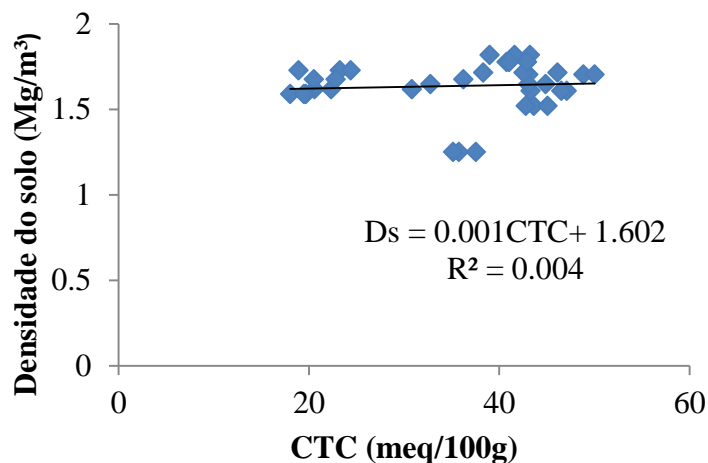


Figura 8. Relação entre a densidade do solo e a capacidade de troca catiónica .

Segundo Bauer e Black (1992), a densidade do solo geralmente diminui com o incremento do teor de matéria orgânica, e a magnitude da mudança é maior em solos arenosos e mínima em solos de textura média. De acordo com Caramo (2011), a capacidade de troca catiónica, a qual é função da mineralogia do solo e dos níveis de matéria orgânica presentes, tendo em vista que essas partículas apresentam cargas elétricas superficiais que variam em função do pH, mas de qualquer forma contribuem para a CTC do solo, especialmente de solos tropicais, tipicamente intemperizados. O mesmo autor afirma que a capacidade de troca catiónica do solo apresenta maiores valores na camada superficial, decrescendo com o aumento da profundidade. A compactação do solo reduz o volume do espaço poroso para uma dada quantidade de solo, aumentando, assim, a sua densidade.

#### 4.18 Relação Entre a Densidade do Solo e Teores de Sódio.

Em relação existente a densidade do solo e a concentração de sódio, verificou-se uma correlação positiva, significando que quanto maior for o teor de sódio maior é a densidade do solo (Figura 9).

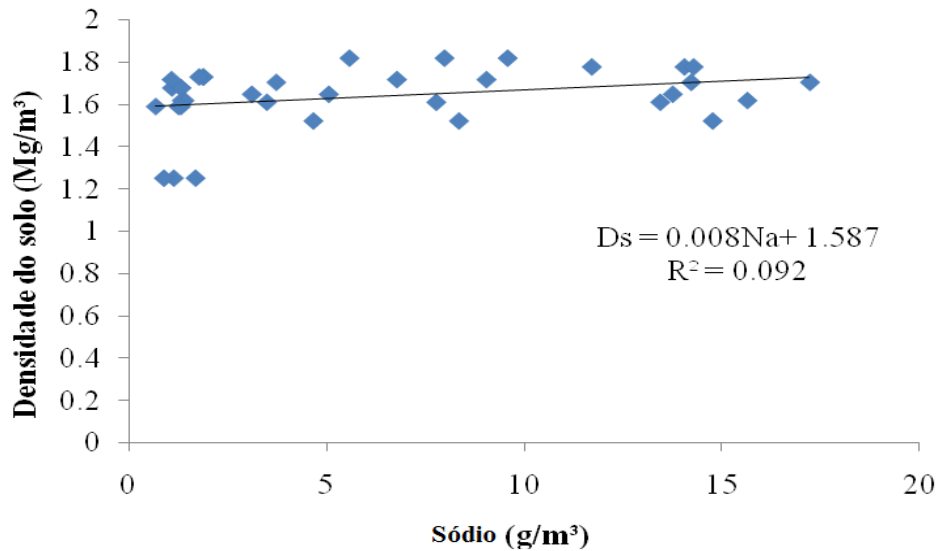


Figura 9. Relação entre a densidade do solo e teores de sódio.

A resistência do solo à acção dos agentes desagregantes depende de suas características químicas, físicas e mineralógicas. Como consequência de sua dispersão a argila torna-se passível de transporte sob condições de chuva, irrigação e fertirrigação para horizontes subsuperficiais do solo, proporcionando diminuição da macroporosidade do meio e com isto, sua permeabilidade (Matos, 2010). Com a perda da permeabilidade ocorre diminuição na capacidade de drenagem e no aumento na deficiência de aeração. Assis Júnior & Silva (2012) verificaram que água de poço contendo alta concentração de sais alterou os atributos físicos, densidade do solo, argila dispersa em água e grau de floculação. Este facto sustenta os resultados observados no presente estudo, revelando de certa maneira a ocorrência da degradação da estrutura do solo e levando indirectamente á compactação do solo.

## **5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

### **5.1 Conclusões**

A salinidade do solo revelou-se ser um dos prováveis factores de dureza do solo da Casa do Gaiato.

De uma forma generalizada verificou-se uma correlação positiva entre a densidade do solo e as características físicas e químicas do solo. A correlação positiva foi observada entre a densidade do solo e teores de argila, argila+limo e sódio, a condutividade eléctrica, capacidade de troca catiónica, carbono sendo de 0.56, 0.36, 0.28, 0.068 e 0.38 respectivamente. Os resultados não apresentaram muita robustez devidos aos valores das correlações que são relativamente baixos.

Os Equipamentos agrícolas usados para a realização das principais actividades do campo, através da média dos pesos aproximados que cada máquina possui, são pesados o que eventualmente leva ao aumento da densidade do solo e degradação da estrutura do solo. Considerando todos estes factores tudo indica que concorrem para a ocorrência da compactação do solo.

### **5.2 Recomendações**

A maior parte dos parâmetros considerados neste estudo não permitem propor medidas de mitigação pelo facto de eles não terem se mostrado robustos para explicar a dureza do solo verificada na Casa do Gaiato. Contudo, os valores de salinidade sugerem que a Casa de Gaiato deve considerar seriamente a gestão da água sobretudo a construção de sistema de drenagem.

Visto que a Maquinaria comumente usada é altamente pesada, recomenda-se o uso adequado da mesma para a realização das principais actividades do campo, por forma a amenizar os problemas com a compactação do solo e que posteriormente levam a degradação da estrutura do solo e a dureza do próprio do solo.

Nos próximos estudos do género recomenda-se que se faça investigações para avaliar outros agentes cimentantes tais como Carbonatos, óxidos de Manganês, Ferro e Sílica.

## **6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ARA-SUL (2012)- *Administração Regional de Água do Sul – UGBH Unidade de Gestão da Bacia do Umbelúzi Barragem dos Pequenos limbombos* -Serviços de Recursos Hídricos, Maputo.

Assis Júnior, R. N.; Silva, E. F (2012). *Efeito da qualidade da água de irrigação sobre os atributos físicos de um Neossolo Flúvico do município de Quixeré*. CE - Brasil Revista Brasileira de Ciência do Solo,1778-1786pp, Vol. 36.

Barros, J. F. C. & Calado, J. G. (2011). *Descompactação do Solo, Preparação da Cama da Semente e Enterramento de Resíduos*. Universidade de Évora, Escola de Ciências e Tecnologia, Departamento de fitotecnia, Portugal, vol. 1, 1-18pp.

Bauer, A.; Black, A. L (1992). *Organic carbon effects on available water capacity of three soil textural groups*. Soil Science Society of America Journal, Madison, 248-254pp.

Biosci. J. (2012). *Supplement 1*. Uberlândia, 256-265pp, vol. 28.

Bognola, I. A.; Dedecek, R. A.; Lavoranti, O. J.; Higa, A. R (2010). *Influência de propriedades físico-hídricas do solo no crescimento de Pinus taeda*. Revista Cientista Brasileira, Colombo, 37- 49pp.

Bolonhezi & ARF (2012). *Agricultura Geral*. Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho” Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio-Economia, Brasília.

Borges, A. L. *et al.*, (1999). *Alteração de propriedades físicas e actividade microbiana de um Latossolo Amarelo álico após cultivo com fruteiras perenes e mandioca*. Rev. Bras. Cienc. Solo, Viçosa, v.23, p.1019-25.

Bouwman, L. A. & Arts, W. B. M. (2000). *Effects of soil compaction on the relationships between nematodes, grass production and soil physical properties*. Applied Soil Ecology, Holanda, vol. 14, 213-222pp.

Brady, N. C. & Weil, R. R (2008). *The nature and properties of soils*. 14th ed. New Jersey: Prentice Hall.

Braida J. A., Reichert J. M., Reinert D. J. & Da Veiga M. (2009). *Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um Nitossolo e um Argissolo*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol. 14, 131 – 139 pp.

Cardoso, M. De O. (2010). *Relações entre a Nematofauna e o Grau de Compactação do Solo em Área Cultivada com Cana-de-Açúcar e em Remanescente de Floresta Atlântica*. Recife- PE, 1-70pp.

Castro Filho, C.; Muzilli, O. & Podanoschi, A. L. (1998). *Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, vol. 22, 527-538pp.

Coelho M. R.; Lumberras, J. F.; Dos Santos, H. G.; Dart, R. de O.; Lima, J. A. de S. (2009). *Atributos químicos e granulometria dos solos da ix reunião brasileira de classificação e correlação de solos do estado do acre: um enfoque pedológico*. Embrapa Solos. Brasil.

Correia, M. M. (1980). *Caracterização física, química, mineralógica e micromorfológicas de horizontes coesos e solos fragipãs de horizontes coesos e solos avermelhados e amarelos do ambiente Tabuleiros Costeiros*. Revista Brasileira de Ciência do solo, vol. 32, 297-313pp.

De Almeida, O. A (2010). *Qualidade da água de Irrigação*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Cruz das Almas, vol. 17, 1-234pp.

Dias, A. S (2004). *Manejo da Fertirrigação e controle da salinidade em solo cultivado com melão rendilhado sob ambiente protegido*. Piracicaba, Estado de São Paulo, Brasil, vol. 9, 1-9pp.

Dias, B. O. et al., (2010). *Use of biochar as bulking agent for the composting of poultry manure: effect on organic matter degradation and humification*. Bioresour. Technology, Essex, vol. 101, 1239-1246pp.

Embrapa (1997). *Manual de Métodos de Análise de Solo*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Centro Nacional de Pesquisa de Solos Ministério da Agricultura e do Abastecimento, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, 1ª ed., vol.1, 1-212pp.

Embrapa (2003). *Práticas de Conservação do Solo e Recuperação de áreas degradadas*. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Rio Branco, 1ª ed., 1-32pp.

Embrapa (2009). *Seminário Sistemas de Produção*, 4 ISSN 1807-0027. Versão Electronica/jul/2009-Sistemas de Produção de Bananeiras.

Embrapa (2001). *Qualidade de Água para fins de Rega*. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Petrolina-Brasil, 1ª ed., 1-31pp.

Ernani, P. R (2008). *Química do Solo e Disponibilidade de Nutrientes*. Brasil, 46-55pp.

Kluthcouski, J. (2000). *Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, arroz e feijão em plantio directo*. Scientia Agrícola, Piracicaba, vol. 57, 97-104pp.

Fageria, N. K. & Stone, L. F. (2006). *Qualidade do Solo e Meio Ambiente*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Arroz e Feijão Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, São Paulo, 1-35pp.

Filgueira, F. (2000). *Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças*. Viçosa: UFV. Pág. 402.

Jacomine, P.K.T (1996). *Distribuição geográfica, características e classificação dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros*. In: *Reunião Técnica Sobre Solos Coesos Dos Tabuleiros, Cruz das Almas*. Pesquisa e desenvolvimento para os Tabuleiros Costeiros; anais. Aracaju: Embrapa, CPATC; EMBRAPA, CNPMF; EAUFBA; IGUFBA, Piracicaba, vol.55.

Jacomine, P.K.T (2001). *Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil*. In: Workshop coesão em solos dos tabuleiros costeiros, Aracaju, 2001. Anais. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, Viçosa, vol. 28, 19-46pp.

Caramo, J. C (2011). *Matéria orgânica, capacidade de troca catiônica e acidez potencial no solo com dezoito cultivares de Cana-De-Açúcar*. Universidade Estadual Paulista "Júlio de mesquita filho" Faculdade de ciências Agrárias e veterinárias campos de Jaboticabal, São Paulo – Brasil, 1-134pp.

Júnior, M. S. D & De Miranda, E. E. V (2000). *Comportamento da curva de compactação de cinco solos da região de lavras*. Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Ciênc. agrotec., Lavras, v.24, n.2, p.337-346.

Raij, B. V. (1969). *A Capacidade De Troca De Catiões Das Frações Orgânica E Mineral Em Solos*. Boletim Cientifico do Instituto Agronômico do Estado São Paulo, vol. 31, 1-28pp.

Lana R.; Hamawakf O.; Lima L.; Zanão J. L. A. (2002). *Resposta da soja a doses e modos de aplicação de potássio em solo de cerrado*. Bioscience Journal, Piracicaba, vol. 57, 17–23pp.

Luciano, R. V.; Albuquerque, J. A.; Da Costa, A.; Batistella B. & Warmling M. T. (2012). *Atributos físicos relacionados à compactação de solos sob vegetação nativa em região de altitude no sul do Brasil*. Doutorado em Manejo do Solo, Departamento de Solos - DPS, Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Brasil, vol. 36, 1-22pp.

MAE (2005). Perfil do distrito de Boane, província de Maputo. Maputo.

Marchão, R. L.; Balbino, L. C.; Silva, E. M.; Santos Júnior, J. D. G.; Carolino De Sá, M. A.; Vilela, L.; Becquer, T (2007). *Qualidade de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavourapeçuária no Cerrado*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, vol. 42, 873-882pp.

Matos, A. T. (2010). *Poluição ambiental: Impactos no meio físico*. Viçosa: UFV. 260p.



- Medeiros, R. D.; Soares, A. A. & Guimarães, R. M. (2005). *Compactação do solo e manejo da água. I: Efeitos sobre a absorção de N, P, K, massa seca de raízes e parte aérea de plantas de arroz*. Ciência e Agrotecnologia, vol. 29, 940-947pp.
- Mendes, J. S. *et al*, (2008). *Variabilidade temporal da fertilidade, salinidade e sodicidade de solos irrigados no município de Congo*. PB. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.3, n.1, 13-19pp.
- MINAG (2005). *Estratégia da Revolução Verde em Moçambique*. Maputo, Mocambique.
- Munns, R (2002). *Comparative physiology of salt and water stress*. Plant, Cell and Environment, 239-250pp.
- Brandão, S. L. & Lima, S. C (2002). *pH e Condutividade Eléctrica em solução do Solo, em áreas de Pinus e Cerrado na Chapada, em Uberlândia (MG)*. Instituto de Geografia, Brasil, vol.1, 1-11pp.
- Nhantumbo, A. B. J. Da C. (1988). *The Compaction Susceptibility of Soils in the Free State*. University of the Free State, Department of Soil Science, 1-132pp.
- Nhantumbo, A. B. J. C & Cambule A. H. (2006). *Soil & Tillage Research*. 87: 231-239.
- Ohu, J. O; Ayotamuno, M. B. & Folorunso, O. A (1987). *Compaction characteristics of prominent agricultural soil in Borno State of Nigeria*. American Society of Agricultural Engineering, St. Joseph, vol. 6, 1575-1577pp.
- Prado (2008). *Recuperação de solos afetados por sódio através do uso de gesso*. In: *seminário sobre o uso de fosfogesso na agricultura*. Brasília, 85-105pp.
- Pereira, J.R. (1998). *Solos afetados por sais*. In: *recomendação de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª Aproximação*. Emp. de pernambucana de pesquisa agropecuária, vol. 9, 75 – 82pp.

Pignataro Netto, I. T.; Kato, E. & Goedert, W. J (2009). *Atributos físicos e químicos de um latossolo Vermelho-amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, vol. 33, 1441-1448pp.

Radford, B. J.; Bridge, B. J.; Davis, R.J.; McGarry, D.; Pillai, U. P.; Rickman, J.F.; Walsh, P.A. & Yule, D. F (2000). *Changes in the properties of a Vertisol and responses of wheat after compacti on with har vester traffic*. Soil Till. Res., vol. 54, 155-170pp.

Reichert, J. M. (2007). *Fundamentos da Ciência do Solo*. Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Departamento de Solos, Brasil, 1-169pp.

Rezende, J. O. (2000). *Solos coesos dos Tabuleiros Costeiros: limitações agrícolas e manejo*. Salvador: SEAGRI, SPA, Campina Grande, vol. 11, 117p. (Série Estudos Agrícolas).

Ribeiro, M.R (2001). *Características morfológicas dos horizontes coesos dos solos dos Tabuleiros Costeiros*. In: workshop coesão em solos dos tabuleiros costeiros, Aracaju. Anais. Aracaju: Embrapa, Viçosa, vol. 33, 161-168pp.

Richard *et al.*, (2005). Compactação do solo em sistemas Agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. São Paulo, Tópicos Ci. Solo, 5:49-134.

Sampaio, E. (2006). *Mineralogia do Solo*. Universidade de Évora, Departamento de Geociências, Portugal, vol. 1, 1-22pp.

Sanchez, E. (2012). *Propriedades físicas do solo e produtividade de soja em sucessão a plantas de cobertura de inverno*. Universidade Estadual do Centro-Oeste, Unicentro-PR, Brasil, vol. 1, 1-59pp.

Silva, J. R. (2010). *Propriedades físicas do solo unidade VII*. Universidade Federal do Acre, Disciplina de Solos 1, vol. 1, 1-18pp.

Schossler T. R.; Machado D. M.; Zuffo, A. M., De Andrade F. R. & Piauilino A. C. (2012). *Salinidade: Efeitos na Fisiologia e na Nutrição Mineral de Plantas*. Pós-

Graduando em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal do Piauí, Bom Jesus – Brasil, vol. 8, 1-16pp.

Sertão, M. A. J. (2005). *Uso de corretivos e cultivo do capim Urocloua (Urocloua mosambicensis (Hack.) Dandy) em solos degradados do Semi-árido*. (Dissertação – Mestrado) Universidade Federal de Campina Grande. Brasil, 1-74pp.

Silva, R. S.; Barros N. F.; Novais, R. F. & Pereira, P. R. G. (2002). *Eficiência Nutricional de Potássio e Crescimento de Eucalipto influenciados pela compactação do solo*. Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada à Universidade Federal de Viçosa – UFV. Trabalho apresentado na XIV, Brasil, vol. 1, 1-10pp.

Soil Atlas of Europe (2006). *Agricultura sustentável e conservação dos solos Processos de degradação do solo*. Ficha informativa n.º 4: Salinização e sodificação.

Streck, C. A.; Reinert, D. J.; Reic Her T, J. M. & Kaiser, D. R. (2004). *Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um tractor em plantio direto*. Ci. Rural, Brasil, vol. 34, 755-760pp.

Suzuki, L. E. A. S. (2005). *Compactação do Solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação*. São Paulo. Tópicos Ci. Solo, 5:49-134.

Távora, F. J. A. *et al.*, (2001). *Crescimento e relações hídricas em plantas de goiabeira submetidas a estresse salino com NaCl*. Revista Brasileira de Fruticultura, vol. 23, 441-446pp.

Trannin, I. C.; Siqueira, J. O. & Moreira, F. M. S. (2008). *Atributos químicos e físicos de um solo tratado com bio-sólido industrial e cultivado com milho*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol. 12, 223-230pp.

Teissendré, J. M. (1987). *Água Subterrânea na Irrigação*. X encontro nacional de Perfuradores de poços. Disponível em: <http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/viewFile/22348/14682>, Acessado no dia 21 de Julho de 2015.

Warncke, D. D. & Barber, S. A (1972a). *Diffusion of zinc in soil: I. The influence of soil moisture*. Soil Science Society of America Proceedings, vol. 36, 39-42pp.

Zhang, B.; Horn, R. & Hallett, P. D (2005). *Mechanical resilience of degraded soil amended with organic matter*. Soil Science Society of America Journal, vol. 69, 864-871pp.

# ANEXOS

**Anexo 1.** Resultados de Análise de Variância, dos pressupostos de distribuição normal dos resíduos, testes de homoscedasticidade e teste de comparação de médias de Tukey a 5% de nível de significância, das diferentes variáveis analisadas.

**Areia**

. anova areia trat prof trat\* prof

Number of obs = 36 R-squared = 0.7863  
 Root MSE = 2.61748 Adj R-squared = 0.6884

Source	Partial SS	df	MS	F	Prob > F
Model	605.0838	11	55.0076182	8.03	0.0000
trat	276.761623	2	138.380811	20.20	0.0000
prof	218.502879	3	72.834293	10.63	0.0001
trat*prof	109.819299	6	18.3032165	2.67	0.0395
Residual	164.42854	24	6.85118916		
Total	769.51234	35	21.9860669		

swilk erro7

Shapiro-Wilk W test for normal data					
Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
erro7	36	0.97908	0.763	-0.566	0.71437

hettest erro7

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity	
Ho: Constant variance	
chi2(1)	= 0.00
Prob> chi2	= 0.9526

tkcomptrat

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable trat  
 studentized range critical value(.05, 3, 24) = 3.5318231

mean

grp vs grp	group means	dif	TK-test
1 vs 2	17.9711 24.4425	6.4714	8.5646*
1 vs 3	17.9711 22.9917	5.0206	6.6445*
2 vs 3	24.4425 22.9917	1.4508	1.9201

. tkcomp prof

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable prof  
 studentized range critical value(.05, 4, 24) = 3.9013476

mean			
grp vs grp	group means	dif	TK-test
-----			

1 vs 2	24.8800	22.2737	2.6063	2.9872
1 vs 3	24.8800	22.0611	2.8189	3.2308
1 vs 4	24.8800	17.9922	6.8878	7.8944*
2 vs 3	22.2737	22.0611	0.2126	0.2436
2 vs 4	22.2737	17.9922	4.2814	4.9071*
3 vs 4	22.0611	17.9922	4.0689	4.6635*

. tkcomprat if prof==1

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable trat  
studentized range critical value(.05, 3, 24) = 3.5318231

mean				
grp vs grp	group means		dif	TK-test
-----				
1 vs 2	17.5467	28.3500	10.8033	7.1488*
1 vs 3	17.5467	28.7433	11.1967	7.4091*
2 vs 3	28.3500	28.7433	0.3933	0.2603

. tkcomprat if prof==2

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable trat  
studentized range critical value(.05, 3, 24) = 3.5318231

mean				
grp vs grp	group means		dif	TK-test
-----				
1 vs 2	18.1977	26.0867	7.8890	5.2203*
1 vs 3	18.1977	22.5367	4.3390	2.8712
2 vs 3	26.0867	22.5367	3.5500	2.3491

. tkcomprat if prof==3

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable trat  
studentized range critical value(.05, 3, 24) = 3.5318231

mean				
grp vs grp	group means		dif	TK-test
-----				
1 vs 2	19.2067	23.5933	4.3867	2.9028
1 vs 3	19.2067	23.3833	4.1767	2.7638
2 vs 3	23.5933	23.3833	0.2100	0.1390

. tkcomprat if prof==4

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable trat  
studentized range critical value(.05, 3, 24) = 3.5318231

mean				
------	--	--	--	--

grp vs grp	group means		dif	TK-test
-----				
1 vs 2	16.9333	19.7400	2.8067	1.8572
1 vs 3	16.9333	17.3033	0.3700	0.2448
2 vs 3	19.7400	17.3033	2.4367	1.6124

. tkcomp prof if trat ==1

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable prof  
studentized range critical value(.05, 4, 24) = 3.9013476

mean				
grp vs grp	group means		dif	TK-test
-----				
1 vs 2	17.5467	18.1977	0.6510	0.4308
1 vs 3	17.5467	19.2067	1.6600	1.0985
1 vs 4	17.5467	16.9333	0.6133	0.4059
2 vs 3	18.1977	19.2067	1.0090	0.6677
2 vs 4	18.1977	16.9333	1.2643	0.8366
3 vs 4	19.2067	16.9333	2.2733	1.5043

. tkcomp prof if trat==2

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable prof  
studentized range critical value(.05, 4, 24) = 3.9013476

mean				
grp vs grp	group means		dif	TK-test
-----				
1 vs 2	28.3500	26.0867	2.2633	1.4977
1 vs 3	28.3500	23.5933	4.7567	3.1476
1 vs 4	28.3500	19.7400	8.6100	5.6975*
2 vs 3	26.0867	23.5933	2.4933	1.6499
2 vs 4	26.0867	19.7400	6.3467	4.1997*
3 vs 4	23.5933	19.7400	3.8533	2.5498

. tkcomp prof if trat==1

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable prof  
studentized range critical value(.05, 4, 24) = 3.9013476

mean				
grp vs grp	group means		dif	TK-test
-----				
1 vs 2	17.5467	18.1977	0.6510	0.4308
1 vs 3	17.5467	19.2067	1.6600	1.0985
1 vs 4	17.5467	16.9333	0.6133	0.4059
2 vs 3	18.1977	19.2067	1.0090	0.6677
2 vs 4	18.1977	16.9333	1.2643	0.8366
3 vs 4	19.2067	16.9333	2.2733	1.5043



. tkcomp prof if trat==3

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable prof  
studentized range critical value(.05, 4, 24) = 3.9013476

mean					
grp vs grp	group means		dif	TK-test	
1 vs 2	28.7433	22.5367	6.2067	4.1071*	
1 vs 3	28.7433	23.3833	5.3600	3.5468	
1 vs 4	28.7433	17.3033	11.4400	7.5701*	
2 vs 3	22.5367	23.3833	0.8467	0.5603	
2 vs 4	22.5367	17.3033	5.2333	3.4630	
3 vs 4	23.3833	17.3033	6.0800	4.0233*	

## Argilalimo

. anova argilalimo trat prof trat\* prof

Number of obs = **36**      R-squared = **0.7862**  
Root MSE = **2.61798**      Adj R-squared = **0.6883**

Source	Partial SS	df	MS	F	Prob > F
Model	<b>605.033912</b>	<b>11</b>	<b>55.0030829</b>	<b>8.03</b>	<b>0.0000</b>
trat	<b>276.755769</b>	<b>2</b>	<b>138.377884</b>	<b>20.19</b>	<b>0.0000</b>
prof	<b>218.467828</b>	<b>3</b>	<b>72.8226094</b>	<b>10.63</b>	<b>0.0001</b>
trat*prof	<b>109.810315</b>	<b>6</b>	<b>18.3017191</b>	<b>2.67</b>	<b>0.0396</b>
Residual	<b>164.491804</b>	<b>24</b>	<b>6.85382517</b>		
Total	<b>769.525716</b>	<b>35</b>	<b>21.986449</b>		

. predict erro8, residual

. swilk erro8

Variable	Shapiro-wilk w test for normal data				Prob>z
	Obs	w	V	z	
erro8	<b>36</b>	<b>0.97923</b>	<b>0.757</b>	<b>-0.581</b>	<b>0.71941</b>

. hettest erro8

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity  
Ho: Constant variance  
Variables: erro8

chi2(1) = **0.00**  
Prob > chi2 = **0.9546**

. tkcomp prof

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable prof  
studentized range critical value(.05, 4, 24) = 3.9013476

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	75.1211	77.7244	2.6033	2.9832
1 vs 3	75.1211	77.9367	2.8156	3.2264
1 vs 4	75.1211	82.0078	6.8867	7.8916*
2 vs 3	77.7244	77.9367	0.2122	0.2432
2 vs 4	77.7244	82.0078	4.2833	4.9084*
3 vs 4	77.9367	82.0078	4.0711	4.6652*

. tkcomp trat

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable trat  
studentized range critical value(.05, 3, 24) = 3.5318231

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	82.0283	75.5575	6.4708	8.5622*
1 vs 3	82.0283	77.0067	5.0217	6.6446*
2 vs 3	75.5575	77.0067	1.4492	1.9175

. tkcomp prof if trat==1

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable prof  
studentized range critical value(.05, 4, 24) = 3.9013476

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	82.4567	81.7967	0.6600	0.4367
1 vs 3	82.4567	80.7900	1.6667	1.1027
1 vs 4	82.4567	83.0700	0.6133	0.4058
2 vs 3	81.7967	80.7900	1.0067	0.6660
2 vs 4	81.7967	83.0700	1.2733	0.8424
3 vs 4	80.7900	83.0700	2.2800	1.5084

. tkcomp prof if trat==2

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable prof  
studentized range critical value(.05, 4, 24) = 3.9013476

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	71.6500	73.9133	2.2633	1.4974
1 vs 3	71.6500	76.4067	4.7567	3.1470
1 vs 4	71.6500	80.2600	8.6100	5.6964*
2 vs 3	73.9133	76.4067	2.4933	1.6496
2 vs 4	73.9133	80.2600	6.3467	4.1989*
3 vs 4	76.4067	80.2600	3.8533	2.5494

## Densidade do solo

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob> P
Modelo	13	0.0552	0.004	9.1*10 <sup>-7</sup>	0.009
Tratamentos	2	0.0149	0.007	9.1*10 <sup>-7</sup>	0.001
Profundidade	3	0.2313	0.077	9.1*10 <sup>-7</sup>	0.002
Tratamento*Prof	6	0.4561	0.76	9.1*10 <sup>-7</sup>	0.003
Repetição	2	5.6*10 <sup>-10</sup>	2.78*10 <sup>-10</sup>	1.00	0.384
Resíduos	22	6.1*10 <sup>-09</sup>	2.78*10 <sup>-10</sup>		
<b>Total</b>		0.717	0.0205		

```
. fhcomp trat if prof==1
Fisher-Hayter pairwise comparisons for variable trat
studentized range critical value(.05, 2, 24) = 2.9187933
```

grp vs grp	group means		mean dif	FH-test
1 vs 2	1.5201	1.7283	0.2082	2.16e+04*
1 vs 3	1.5201	1.2501	0.2701	2.81e+04*
2 vs 3	1.7283	1.2501	0.4783	4.97e+04*

```
. fhcomp trat if prof==2
Fisher-Hayter pairwise comparisons for variable trat
studentized range critical value(.05, 2, 24) = 2.9187933
```

grp vs grp	group means		mean dif	FH-test
1 vs 2	1.8171	1.6170	0.2002	2.08e+04*
1 vs 3	1.8171	1.6464	0.1707	1.77e+04*
2 vs 3	1.6170	1.6464	0.02953061	0.0726*

```
. fhcomp trat if prof==3
Fisher-Hayter pairwise comparisons for variable trat
studentized range critical value(.05, 2, 24) = 2.9187933
```

grp vs grp	group means		mean dif	FH-test
1 vs 2	1.6089	1.6762	0.06736995	0.9782*
1 vs 3	1.6089	1.7156	0.1067	1.11e+04*
2 vs 3	1.6762	1.7156	0.03944094	0.9273*

```
. fhcomp trat if prof==4
Fisher-Hayter pairwise comparisons for variable trat
studentized range critical value(.05, 2, 24) = 2.9187933
```

grp vs grp	group means		mean dif	FH-test
1 vs 2	1.7028	1.5887	0.1141	1.19e+04*
1 vs 3	1.7028	1.7758	0.07297578	0.9010*
2 vs 3	1.5887	1.7758	0.1870	1.94e+04*

```
. fhcomp prof if trat==1
Fisher-Hayter pairwise comparisons for variable prof
studentized range critical value(.05, 3, 24) = 3.5318231
```

grp vs grp	group means		mean dif	FH-test
1 vs 2	1.5201	1.8171	0.2970	3.09e+04*
1 vs 3	1.5201	1.6089	0.08889223	0.7093*
1 vs 4	1.5201	1.7028	0.1827	1.90e+04*
2 vs 3	1.8171	1.6089	0.2082	2.16e+04*
2 vs 4	1.8171	1.7028	0.1143	1.19e+04*
3 vs 4	1.6089	1.7028	0.09399757	0.7920*

```
. fhcomp prof if trat==2
Fisher-Hayter pairwise comparisons for variable prof
studentized range critical value(.05, 3, 24) = 3.5318231
```

grp vs grp	group means		mean dif	FH-test
1 vs 2	1.7283	1.6170	0.1113	1.16e+04*
1 vs 3	1.7283	1.6762	0.05215411	0.4180*
1 vs 4	1.7283	1.5887	0.1396	1.45e+04*
2 vs 3	1.6170	1.6762	0.05936157	0.4592*
2 vs 4	1.6170	1.5887	0.02832937	0.0627*
3 vs 4	1.6762	1.5887	0.08759094	0.5219*

```
. fhcomp prof if trat==3
Fisher-Hayter pairwise comparisons for variable prof
studentized range critical value(.05, 3, 24) = 3.5318231
```

grp vs grp	group means		mean dif	FH-test
1 vs 2	1.2501	1.6464	0.3964	4.12e+04*
1 vs 3	1.2501	1.7156	0.4656	4.84e+04*
1 vs 4	1.2501	1.7758	0.5257	5.46e+04*
2 vs 3	1.6464	1.7156	0.06927191	0.3139*
2 vs 4	1.6464	1.7758	0.1293	1.34e+04*
3 vs 4	1.7156	1.7758	0.06016245	0.7876*

**CTC**

. tkcomp trat

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable trat  
 studentized range critical value(.05, 3, 24) = 3.5318231

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	44.5008	23.0758	21.4250	18.3725*
1 vs 3	44.5008	40.0617	4.4392	3.8067*
2 vs 3	23.0758	40.0617	16.9858	14.5658*

. swilk erro

Variable	Shapiro-wilk w test for normal data				
	Obs	w	V	Z	Prob>z
erro	36	0.97343	0.969	-0.066	0.52625

. hettest erro

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity  
 Ho: Constant variance  
 Variables: erro

chi2(1) = 1.98  
 Prob > chi2 = 0.1590

. anova ctc trat prof trat\* prof

		Number of obs = 36	R-squared = 0.8936		
		Root MSE = 4.03964	Adj R-squared = 0.8449		
Source	Partial SS	df	MS	F	Prob > F
Model	3290.5271	11	299.138827	18.33	0.0000
trat	3069.02143	2	1534.51071	94.03	0.0000
prof	79.3109719	3	26.4369906	1.62	0.2110
trat*prof	142.194699	6	23.6991165	1.45	0.2365
Residual	391.649221	24	16.3187175		
Total	3682.17632	35	105.205038		

**Carbono**

. anova c trat prof trat\* prof

		Number of obs = 36	R-squared = 0.3653		
		Root MSE = 10.8147	Adj R-squared = 0.0744		
Source	Partial SS	df	MS	F	Prob > F
Model	1615.41393	11	146.855812	1.26	0.3066
trat	70.5812364	2	35.2906182	0.30	0.7423
prof	201.614916	3	67.2049722	0.57	0.6372
trat*prof	1343.21778	6	223.86963	1.91	0.1196
Residual	2806.96419	24	116.956841		
Total	4422.37812	35	126.353661		

Variable	Shapiro-wilk w test for normal data				Prob>z
	Obs	w	V	z	
erro1	36	0.98495	0.549	-1.255	0.89532

. hettest erro1

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity

Ho: Constant variance

Variables: erro1

chi2(1) = 0.00

Prob > chi2 = 0.9838

. tkcomp prof if trat==3

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable prof  
 studentized range critical value(.05, 4, 24) = 3.9013476

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	71.2567	77.4633	6.2067	4.1063*
1 vs 3	71.2567	76.6133	5.3567	3.5440
1 vs 4	71.2567	82.6933	11.4367	7.5665*
2 vs 3	77.4633	76.6133	0.8500	0.5624
2 vs 4	77.4633	82.6933	5.2300	3.4602
3 vs 4	76.6133	82.6933	6.0800	4.0225*

. tkcomp trat if prof==1

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable trat  
 studentized range critical value(.05, 3, 24) = 3.5318231

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	82.4567	71.6500	10.8067	7.1497*
1 vs 3	82.4567	71.2567	11.2000	7.4099*
2 vs 3	71.6500	71.2567	0.3933	0.2602

. tkcomp trat if prof==2

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable trat  
 studentized range critical value(.05, 3, 24) = 3.5318231

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	81.7967	73.9133	7.8833	5.2156*
1 vs 3	81.7967	77.4633	4.3333	2.8669
2 vs 3	73.9133	77.4633	3.5500	2.3487

. tkcomp trat if prof==3

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable trat  
 studentized range critical value(.05, 3, 24) = 3.5318231

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	80.7900	76.4067	4.3833	2.9000
1 vs 3	80.7900	76.6133	4.1767	2.7633
2 vs 3	76.4067	76.6133	0.2067	0.1367

. tkcomp trat if prof==4

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable trat  
 studentized range critical value(.05, 3, 24) = 3.5318231

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	83.0700	80.2600	2.8100	1.8591
1 vs 3	83.0700	82.6933	0.3767	0.2492
2 vs 3	80.2600	82.6933	2.4333	1.6099

.

## Potássio

. anova k trat prof trat\* prof

Number of obs = **36**      R-squared = **0.6000**  
 Root MSE = **.571501**      Adj R-squared = **0.4167**

Source	Partial SS	df	MS	F	Prob > F
Model	<b>11.7593025</b>	<b>11</b>	<b>1.0690275</b>	<b>3.27</b>	<b>0.0073</b>
trat	<b>.217439846</b>	<b>2</b>	<b>.108719923</b>	<b>0.33</b>	<b>0.7201</b>
prof	<b>5.28613626</b>	<b>3</b>	<b>1.76204542</b>	<b>5.39</b>	<b>0.0056</b>
trat*prof	<b>6.25572638</b>	<b>6</b>	<b>1.04262106</b>	<b>3.19</b>	<b>0.0190</b>
Residual	<b>7.8387324</b>	<b>24</b>	<b>.32661385</b>		
Total	<b>19.5980349</b>	<b>35</b>	<b>.559943854</b>		

. predict erro9, residual

. swilk erro9

variable	Shapiro-Wilk W test for normal data				Prob>z
	obs	w	v	z	
erro9	<b>36</b>	<b>0.95519</b>	<b>1.634</b>	<b>1.027</b>	<b>0.15230</b>

. hettest erro9

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity  
 Ho: Constant variance  
 Variables: erro9

chi2(1) = **2.47**  
 Prob > chi2 = **0.1157**

. tkcomp prof

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable prof  
 studentized range critical value(.05, 4, 24) = 3.9013476

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	2.9827	2.3815	0.6011	3.1555
1 vs 3	2.9827	2.2673	0.7154	3.7553
1 vs 4	2.9827	1.9199	1.0628	5.5787*
2 vs 3	2.3815	2.2673	0.1143	0.5998
2 vs 4	2.3815	1.9199	0.4616	2.4233
3 vs 4	2.2673	1.9199	0.3474	1.8235

. tkcomp trat if prof==1

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable trat  
 studentized range critical value(.05, 3, 24) = 3.5318231

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	2.2245	3.8484	1.6239	4.9216*
1 vs 3	2.2245	2.8751	0.6507	1.9720
2 vs 3	3.8484	2.8751	0.9733	2.9496

. tkcomp trat if prof==2

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable trat  
 studentized range critical value(.05, 3, 24) = 3.5318231

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	2.5440	2.3231	0.2209	0.6696
1 vs 3	2.5440	2.2776	0.2664	0.8074
2 vs 3	2.3231	2.2776	0.0455	0.1379

. tkcomp trat if prof==3

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable trat  
 studentized range critical value(.05, 3, 24) = 3.5318231

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	2.1667	2.3076	0.1410	0.4272
1 vs 3	2.1667	2.3276	0.1609	0.4876
2 vs 3	2.3076	2.3276	0.0199	0.0604



. tkcomp trat if prof==4

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable trat  
studentized range critical value(.05, 3, 24) = 3.5318231

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	2.1853	1.2127	0.9726	2.9476
1 vs 3	2.1853	2.3618	0.1765	0.5348
2 vs 3	1.2127	2.3618	1.1491	3.4825

. tkcomp prof if trat==1

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable prof  
studentized range critical value(.05, 4, 24) = 3.9013476

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	2.2245	2.5440	0.3195	0.9684
1 vs 3	2.2245	2.1667	0.0578	0.1752
1 vs 4	2.2245	2.1853	0.0392	0.1188
2 vs 3	2.5440	2.1667	0.3773	1.1436
2 vs 4	2.5440	2.1853	0.3587	1.0871
3 vs 4	2.1667	2.1853	0.0186	0.0564

. tkcomp prof if trat==2

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable prof  
studentized range critical value(.05, 4, 24) = 3.9013476

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	3.8484	2.3231	1.5253	4.6228*
1 vs 3	3.8484	2.3076	1.5408	4.6696*
1 vs 4	3.8484	1.2127	2.6357	7.9880*
2 vs 3	2.3231	2.3076	0.0154	0.0468
2 vs 4	2.3231	1.2127	1.1104	3.3652
3 vs 4	2.3076	1.2127	1.0949	3.3184

. tkcomp prof if trat==3

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable prof  
studentized range critical value(.05, 4, 24) = 3.9013476

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	2.8751	2.2776	0.5976	1.8110
1 vs 3	2.8751	2.3276	0.5476	1.6595
1 vs 4	2.8751	2.3618	0.5134	1.5559
2 vs 3	2.2776	2.3276	0.0500	0.1515
2 vs 4	2.2776	2.3618	0.0842	0.2551
3 vs 4	2.3276	2.3618	0.0342	0.1036

**Sódio**

. anova na trat prof trat\* prof

Number of obs = 36      R-squared = 0.5636  
 Root MSE = 4.32254      Adj R-squared = 0.3636

Source	Partial SS	df	MS	F	Prob > F
Model	579.122115	11	52.647465	2.82	0.0164
trat	273.195224	2	136.597612	7.31	0.0033
prof	114.723246	3	38.2410821	2.05	0.1341
trat*prof	191.203645	6	31.8672741	1.71	0.1629
Residual	448.42358	24	18.6843158		
Total	1027.5457	35	29.3584484		

. swilk erro10

Variable	Shapiro-wilk w test for normal data				
	obs	w	V	z	Prob>z
erro10	36	0.94526	1.996	1.445	0.07420

. hettest erro10

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity  
 H0: Constant variance  
 Variables: erro10  
  
 chi2(1) = 2.11  
 Prob > chi2 = 0.1466

. tkcomp trat

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable trat  
 studentized range critical value(.05, 3, 24) = 3.5318231

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	9.2304	2.5773	6.6531	5.3318*
1 vs 3	9.2304	6.8793	2.3511	1.8842
2 vs 3	2.5773	6.8793	4.3020	3.4476

### Magnésio (Mg)

. anova mg trat prof trat\* prof

	Number of obs =	36	R-squared =	0.6104	
	Root MSE =	6.29194	Adj R-squared =	0.4319	
Source	Partial SS	df	MS	F	Prob > F
Model	1488.89802	11	135.354365	3.42	0.0057
trat	948.126245	2	474.063122	11.97	0.0002
prof	241.928704	3	80.6429013	2.04	0.1355
trat*prof	298.843068	6	49.8071781	1.26	0.3132
Residual	950.125149	24	39.5885479		
Total	2439.02317	35	69.6863762		

. swilk erro11

Variable	Shapiro-wilk w test for normal data				
	Obs	W	V	Z	Prob>z
erro11	36	0.96105	1.420	0.734	0.23155

. hettest erro11

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity  
 Ho: Constant variance  
 Variables: erro11

chi2(1) = 0.91  
 Prob > chi2 = 0.3404

. tkcomp trat

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable trat  
 studentized range critical value(.05, 3, 24) = 3.5318231

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	24.8910	12.3217	12.5693	6.9201*
1 vs 3	24.8910	18.4446	6.4464	3.5491*
2 vs 3	12.3217	18.4446	6.1228	3.3710

## ANEXO 2 (Condutividade eléctrica e Cálcio) CONDUTIVIDADE ELECTRICA

. ladder ce

Transformation	formula	chi2(2)	P(chi2)
cubic	ce^3	41.90	0.000
square	ce^2	31.77	0.000
identity	ce	15.44	0.000
square root	sqrt(ce)	6.52	0.038
log	log(ce)	1.23	0.541
1/(square root)	1/sqrt(ce)	1.66	0.437
inverse	1/ce	4.32	0.116
1/square	1/(ce^2)	14.27	0.001
1/cubic	1/(ce^3)	23.49	0.000

. generate ce2=1/ce

. anova ce2 trat prof trat\* prof

Source	Partial SS	df	MS	F	Prob > F
Model	56.6098274	11	5.14634794	7.95	0.0000
trat	31.6284731	2	15.8142366	24.42	0.0000
prof	.546403686	3	.182134562	0.28	0.8384
trat*prof	24.4349505	6	4.07249176	6.29	0.0004
Residual	15.5444926	24	.647687191		
Total	72.15432	35	2.061552		

. predict erro3, residual

. swilk erro3

Variable	Obs	Shapiro-wilk W	test for normal data V	z	Prob>z
erro3	36	0.95649	1.586	0.965	0.16727

. hetttest erro3

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity

H0: Constant variance

Variables: erro3

chi2(1) = 1.89

Prob > chi2 = 0.1691

### Tratamentos

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable trat  
studentized range critical value(.05, 3, 24) = 3.5318231

grp vs grp	group means	mean dif	TK-test
1 vs 2	1.8063 3.7181	1.9117	8.2287*
1 vs 3	1.8063 1.6610	0.1453	0.6254
2 vs 3	3.7181 1.6610	2.0570	8.8541*

### Tratamentos para profundidade 1

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable trat  
studentized range critical value(.05, 3, 24) = 3.5318231

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	2.0050	2.3705	0.3655	0.7866
1 vs 3	2.0050	2.6187	0.6137	1.3207
2 vs 3	2.3705	2.6187	0.2482	0.5342

### Tratamentos para profundidade2

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable trat  
studentized range critical value(.05, 3, 24) = 3.5318231

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	1.6728	2.8853	1.2125	2.6095
1 vs 3	1.6728	2.1225	0.4498	0.9680
2 vs 3	2.8853	2.1225	0.7627	1.6415

### Tratamentos para profundidade 3

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable trat  
studentized range critical value(.05, 3, 24) = 3.5318231

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	2.1104	4.1406	2.0301	4.3692*
1 vs 3	2.1104	1.2024	0.9080	1.9541
2 vs 3	4.1406	1.2024	2.9381	6.3233*

### Tratamentos para profundidade 4

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable trat  
studentized range critical value(.05, 3, 24) = 3.5318231

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	1.4371	5.4759	4.0387	8.6921*
1 vs 3	1.4371	0.7004	0.7367	1.5855
2 vs 3	5.4759	0.7004	4.7754	10.2776*

Profundidade para tratamento 1

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable prof  
 studentized range critical value(.05, 4, 24) = 3.9013476

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	2.0050	1.6728	0.3323	0.7151
1 vs 3	2.0050	2.1104	0.1054	0.2268
1 vs 4	2.0050	1.4371	0.5679	1.2223
2 vs 3	1.6728	2.1104	0.4376	0.9419
2 vs 4	1.6728	1.4371	0.2356	0.5071
3 vs 4	2.1104	1.4371	0.6733	1.4490

### Profundidade paratratamento2

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable prof  
 studentized range critical value(.05, 4, 24) = 3.9013476

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	2.3705	2.8853	0.5147	1.1078
1 vs 3	2.3705	4.1406	1.7700	3.8094
1 vs 4	2.3705	5.4759	3.1053	6.6832*
2 vs 3	2.8853	4.1406	1.2553	2.7016
2 vs 4	2.8853	5.4759	2.5906	5.5754*
3 vs 4	4.1406	5.4759	1.3353	2.8739

### Profundidade para tratamento 3

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable prof  
 studentized range critical value(.05, 4, 24) = 3.9013476

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	2.6187	2.1225	0.4962	1.0679
1 vs 3	2.6187	1.2024	1.4163	3.0481
1 vs 4	2.6187	0.7004	1.9183	4.1285*
2 vs 3	2.1225	1.2024	0.9201	1.9802
2 vs 4	2.1225	0.7004	1.4221	3.0606
3 vs 4	1.2024	0.7004	0.5020	1.0804

### Profundidade

. tkcomp prof

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable prof  
 studentized range critical value(.05, 4, 24) = 3.9013476

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	2.3314	2.2269	0.1046	0.3898
1 vs 3	2.3314	2.4845	0.1530	0.5704
1 vs 4	2.3314	2.5378	0.2064	0.7693
2 vs 3	2.2269	2.4845	0.2576	0.9603
2 vs 4	2.2269	2.5378	0.3110	1.1591
3 vs 4	2.4845	2.5378	0.0533	0.1989

**Condutividade eléctrica da pasta saturada do solo (convertido apartir dos valores de 1:2.5, dS/m) nos diferentes usos da terra**

Campo		Camada (cm)			
		0-10	20-Oct	20-30	30-40
Agricultado	“ Não duro”	5	4.25	5.25	3.5
	“ Duro”	6	7.25	10.25	13.75
Não agricultado		6.5	5.25	5.4	1.75

**Calcio**

. ladder ca

Transformation	formula	chi2(2)	P(chi2)
cubic	ca^3	10.78	0.005
<del>square</del>	<del>ca^2</del>	<del>3.46</del>	<del>0.178</del>
identity	ca	3.69	0.158
square root	sqrt(ca)	5.88	0.053
log	log(ca)	6.57	0.037
1/(square root)	1/sqrt(ca)	6.02	0.049
inverse	1/ca	5.56	0.062
1/square	1/(ca^2)	7.01	0.030
1/cubic	1/(ca^3)	10.84	0.004

. anova ca2 trat prof prof\* trat

Number of obs = 36 R-squared = 0.9439  
 Root MSE = .005817 Adj R-squared = 0.9182

Source	Partial SS	df	MS	F	Prob > F
Model	.0136625	11	.001242045	36.71	0.0000
trat	.012288471	2	.006144236	181.60	0.0000
prof	.000231227	3	.000077076	2.28	0.1053
prof*trat	.001142803	6	.000190467	5.63	0.0009
Residual	.00081201	24	.000033834		
Total	.01447451	35	.000413557		

Variable	Shapiro-wilk w test for normal data				
	Obs	W	V	Z	Prob>z
erro5	36	0.98522	0.539	-1.293	0.90196

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity  
 Ho: Constant variance  
 Variables: erro5

chi2(1) = 0.01  
 Prob > chi2 = 0.9316

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable prof  
 studentized range critical value(.05, 4, 24) = 3.9013476

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	0.0409	0.0400	0.0009	0.4446
1 vs 3	0.0409	0.0433	0.0024	1.2355
1 vs 4	0.0409	0.0465	0.0057	2.9266
2 vs 3	0.0400	0.0433	0.0033	1.6802
2 vs 4	0.0400	0.0465	0.0065	3.3712
3 vs 4	0.0433	0.0465	0.0033	1.6911

Tratamentos

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable trat  
 studentized range critical value(.05, 3, 24) = 3.5318231

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	0.0277	0.0687	0.0410	24.4242*
1 vs 3	0.0277	0.0316	0.0039	2.3433
2 vs 3	0.0687	0.0316	0.0371	22.0810*

Profundidade para tratamento 1

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable prof  
 studentized range critical value(.05, 4, 24) = 3.9013476

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	0.0291	0.0237	0.0053	1.5903
1 vs 3	0.0291	0.0308	0.0017	0.5205
1 vs 4	0.0291	0.0271	0.0020	0.5892
2 vs 3	0.0237	0.0308	0.0071	2.1108
2 vs 4	0.0237	0.0271	0.0034	1.0010
3 vs 4	0.0308	0.0271	0.0037	1.1097

Profundidade para tratamento 2



Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable prof  
 studentized range critical value(.05, 4, 24) = 3.9013476

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	0.0549	0.0666	0.0117	3.4796
1 vs 3	0.0549	0.0728	0.0178	5.3129*
1 vs 4	0.0549	0.0804	0.0255	7.5929*
2 vs 3	0.0666	0.0728	0.0062	1.8333
2 vs 4	0.0666	0.0804	0.0138	4.1132*
3 vs 4	0.0728	0.0804	0.0077	2.2800

### Profundidade para tratamento 3

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable prof  
 studentized range critical value(.05, 4, 24) = 3.9013476

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	0.0386	0.0296	0.0089	2.6595
1 vs 3	0.0386	0.0262	0.0124	3.6934
1 vs 4	0.0386	0.0321	0.0065	1.9347
2 vs 3	0.0296	0.0262	0.0035	1.0339
2 vs 4	0.0296	0.0321	0.0024	0.7248
3 vs 4	0.0262	0.0321	0.0059	1.7588

### Tratamentos para profundidade 1

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable trat  
 studentized range critical value(.05, 3, 24) = 3.5318231

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	0.0291	0.0549	0.0259	7.7010*
1 vs 3	0.0291	0.0386	0.0095	2.8288
2 vs 3	0.0549	0.0386	0.0164	4.8723*

### Tratamentos para profundidade 2

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable trat  
 studentized range critical value(.05, 3, 24) = 3.5318231

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	0.0237	0.0666	0.0429	12.7709*
1 vs 3	0.0237	0.0296	0.0059	1.7596
2 vs 3	0.0666	0.0296	0.0370	11.0114*

### Tratamentos para profundidade 3

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable trat  
studentized range critical value(.05, 3, 24) = 3.5318231

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	0.0308	0.0728	0.0420	12.4934*
1 vs 3	0.0308	0.0262	0.0047	1.3852
2 vs 3	0.0728	0.0262	0.0466	13.8786*

### Tratamentos para profundidade4

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable trat  
studentized range critical value(.05, 3, 24) = 3.5318231

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	0.0271	0.0804	0.0533	15.8831*
1 vs 3	0.0271	0.0321	0.0050	1.4833
2 vs 3	0.0804	0.0321	0.0484	14.3998*

## Sódio

. anova na prof trat\* prof trat

Number of obs = 36 R-squared = 0.5636  
Root MSE = 4.32254 Adj R-squared = 0.3636

Source	Partial SS	df	MS	F	Prob > F
Model	579.122115	11	52.647465	2.82	0.0164
prof	114.723246	3	38.2410821	2.05	0.1341
trat*prof	191.203645	6	31.8672741	1.71	0.1629
trat	273.195224	2	136.597612	7.31	0.0033
Residual	448.42358	24	18.6843158		
Total	1027.5457	35	29.3584484		

. predict erro1, residual

. swilk erro1

Variable	Shapiro-wilk w test for normal data				
	Obs	W	V	Z	Prob>z
erro1	36	0.94526	1.996	1.445	0.07420

. hettest erro1

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity

H0: Constant variance

Variables: erro1

chi2(1) = 2.11  
Prob > chi2 = 0.1466

## Comparação de médias

. tkcomp prof

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable prof  
studentized range critical value(.05, 4, 24) = 3.9013476

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	4.1148	7.0479	2.9331	2.0357
1 vs 3	4.1148	5.0371	0.9223	0.6401
1 vs 4	4.1148	8.7162	4.6013	3.1935
2 vs 3	7.0479	5.0371	2.0108	1.3956
2 vs 4	7.0479	8.7162	1.6683	1.1578
3 vs 4	5.0371	8.7162	3.6791	2.5534

. tkcomp trat

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable trat  
studentized range critical value(.05, 3, 24) = 3.5318231

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	9.2304	2.5773	6.6531	5.3318*
1 vs 3	9.2304	6.8793	2.3511	1.8842
2 vs 3	2.5773	6.8793	4.3020	3.4476

. tkcomp prof if trat==1

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable prof  
studentized range critical value(.05, 4, 24) = 3.9013476

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	9.2577	7.7107	1.5469	0.6199
1 vs 3	9.2577	8.2323	1.0254	0.4109
1 vs 4	9.2577	11.7211	2.4634	0.9871
2 vs 3	7.7107	8.2323	0.5215	0.2090
2 vs 4	7.7107	11.7211	4.0103	1.6070
3 vs 4	8.2323	11.7211	3.4888	1.3980

. tkcomp prof if trat==2

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable prof  
studentized range critical value(.05, 4, 24) = 3.9013476

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	1.8493	6.1284	4.2791	1.7146
1 vs 3	1.8493	1.2460	0.6033	0.2417
1 vs 4	1.8493	1.0856	0.7637	0.3060
2 vs 3	6.1284	1.2460	4.8823	1.9564
2 vs 4	6.1284	1.0856	5.0428	2.0206
3 vs 4	1.2460	1.0856	0.1604	0.0643

. tkcomp prof if trat==3

Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable prof  
studentized range critical value(.05, 4, 24) = 3.9013476

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	1.2376	7.3047	6.0671	2.4311
1 vs 3	1.2376	5.6331	4.3955	1.7613
1 vs 4	1.2376	13.3419	12.1043	4.8502*
2 vs 3	7.3047	5.6331	1.6717	0.6698
2 vs 4	7.3047	13.3419	6.0372	2.4191
3 vs 4	5.6331	13.3419	7.7088	3.0889

```
. tkcomp trat if prof==1
```

```
Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable trat  
studentized range critical value(.05, 3, 24) = 3.5318231
```

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	9.2577	1.8493	7.4084	2.9685
1 vs 3	9.2577	1.2376	8.0201	3.2137
2 vs 3	1.8493	1.2376	0.6117	0.2451

```
. tkcomp trat if prof==2
```

```
Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable trat  
studentized range critical value(.05, 3, 24) = 3.5318231
```

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	7.7107	6.1284	1.5824	0.6341
1 vs 3	7.7107	7.3047	0.4060	0.1627
2 vs 3	6.1284	7.3047	1.1764	0.4714

```
. tkcomp trat if prof==3
```

```
Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable trat  
studentized range critical value(.05, 3, 24) = 3.5318231
```

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	8.2323	1.2460	6.9863	2.7994
1 vs 3	8.2323	5.6331	2.5992	1.0415
2 vs 3	1.2460	5.6331	4.3870	1.7579

```
. tkcomp trat if prof==4
```

```
Tukey-Kramer pairwise comparisons for variable trat  
studentized range critical value(.05, 3, 24) = 3.5318231
```

grp vs grp	group means		mean dif	TK-test
1 vs 2	11.7211	1.0856	10.6355	4.2617*
1 vs 3	11.7211	13.3419	1.6208	0.6495
2 vs 3	1.0856	13.3419	12.2563	4.9111*

Anexo 2. Tabela de base de dados

Trat	Prof	Rep	DenGrav	Poros	CE	Ca	Mg	Na	K	CTC	C	Argila	Limo	Areia	Argila+Lir
1	1	1	1520,14	44,74	0,571	31,31488	20,06585	8,345569	2,219404	43,63	27,05849	41,21	41,21	17,58	82,42
1	1	2	1520,14	44,74	0,449	30,09877	27,66655	14,76056	2,401821	42,79	35,26725	40,63	40,63	18,75	81,26
1	1	3	1520,14	44,74	0,491	45,30017	29,18669	4,66683	2,052189	45,05	38,76357	46,39	37,3	16,31	83,69
1	2	1	1817,14	35,06	0,608	39,25022	25,43996	7,977245	2,653024	41,6	48,15421	48,18	34,69	17,113	82,87
1	2	2	1817,14	35,06	0,671	40,70394	14,53712	9,576328	2,59851	38,98	50,51649	45,74	35,52	18,74	81,26
1	2	3	1817,14	35,06	0,531	47,24564	20,35197	5,57862	2,380453	43,21	43,24793	52,35	28,91	18,74	81,26
1	3	1	1608,91	41,02	0,371	30,24751	31,21285	7,771035	2,477721	47,07	32,98266	44,8	36,7	18,49	81,5
1	3	2	1608,91	41,02	0,757	29,28216	28,31682	13,4344	1,978959	46,51	29,28216	51,64	30,69	17,67	82,33
1	3	3	1608,91	41,02	0,432	39,57919	21,88118	3,491335	2,043316	43,29	42,31433	46,02	32,52	21,46	78,54
1	4	1	1702,82	35,76	1,02	32,01302	29,96963	17,21551	2,026356	48,83	26,39371	58,76	25,74	15,51	84,5
1	4	2	1702,82	35,76	1	37,12148	28,94794	14,21855	2,298807	50	43,08135	53,43	29,37	17,2	82,8
1	4	3	1702,82	35,76	0,429	43,25163	21,11497	3,729176	2,230694	43,05	50,91432	49,44	32,47	18,09	81,91
2	1	1	1728,32	30,61	0,36	15,90054	16,93754	1,883869	2,471498	18,9	52,71376	45,15	28,64	26,21	73,79
2	1	2	1728,32	30,61	0,459	22,1225	5,876288	1,883869	4,026986	23,25	41,13402	44,11	28,07	27,82	72,18
2	1	3	1728,32	30,61	0,464	17,62886	11,40691	1,78017	5,046694	24,38	41,13402	38,65	30,33	31,02	68,98
2	2	1	1616,98	40,71	0,27	15,8464	7,114712	1,406773	1,406773	20,57	51,25827	41,26	32,52	26,22	73,78
2	2	2	1616,98	40,71	0,687	12,93584	12,61244	15,6362	2,748866	30,8	54,00713	50,42	25,46	24,12	75,88
2	2	3	1616,98	40,71	0,286	16,81659	7,583636	1,342093	2,813545	22,32	43,98186	42,4	29,68	27,92	72,08
2	3	1	1676,24	38,95	0,27	14,08042	35,20104	1,089556	2,397023	36,23	42,40887	52,09	26,29	21,62	78,38
2	3	2	1676,24	38,95	0,225	13,74517	10,05744	1,32423	2,128825	20,51	44,25274	48,78	29,46	21,76	78,24
2	3	3	1676,24	38,95	0,234	13,40992	13,74517	1,32423	2,397023	22,8	25,64647	45,75	26,85	27,4	72,6
2	4	1	1588,68	42,31	0,183	11,4385	8,896608	0,683132	1,048529	18,02	40,82908	56,13	24,62	19,25	80,75
2	4	2	1588,68	42,31	0,201	12,3917	10,16755	1,318604	1,016755	19,67	45,11851	53,2	26,84	19,96	80,04
2	4	3	1588,68	42,31	0,167	13,66265	8,261136	1,255057	1,572793	19,46	22,71812	55,34	24,65	20,01	79,99
3	1	1	1250,06	51,88	0,814	26,50127	12,75061	1,687581	3,187653	35,76	42,50204	30,12	42,95	26,93	73,07
3	1	2	1250,06	51,88	0,342	22,25107	13,25064	1,137555	3,212654	35,13	30,87648	28,65	43,94	27,41	72,59
3	1	3	1250,06	51,88	0,27	30,25145	9,000432	0,887543	2,225107	37,52	25,50122	27,84	40,27	31,89	68,11
3	2	1	1646,44	37,88	2,19	30,95307	24,6966	13,74777	1,761691	44,85	26,34304	60,92	20,31	18,77	81,23
3	2	2	1646,44	37,88	0,471	32,59951	24,6966	5,054571	2,354409	43,05	39,18527	46,64	29,98	23,38	76,62
3	2	3	1646,44	37,88	0,264	38,5267	6,915048	3,111772	2,716626	32,77	37,20954	30,72	43,82	25,46	74,54
3	3	1	1715,65	36,4	0,685	36,02865	15,44085	6,776818	2,316128	38,3	42,03343	44,61	30,55	24,83	75,16
3	3	2	1715,65	36,4	0,757	31,91109	25,39162	9,041476	1,904372	42,53	39,45995	57,84	23,93	18,23	81,77
3	3	3	1715,65	36,4	1,21	51,4695	18,87215	1,08086	2,762197	46,12	73,60139	25,34	47,57	27,09	72,91
3	4	1	1775,76	33,78	1,26	32,31883	25,57094	11,70226	2,184185	42,92	64,81524	55,49	23,16	21,34	78,65
3	4	2	1775,76	33,78	1,39	34,8049	19,17821	14,04626	1,686972	40,76	28,05701	61,17	24,47	14,36	85,64
3	4	3	1775,76	33,78	1,7	27,3467	25,57094	14,27711	3,214126	41,03	52,20734	59,29	24,5	16,21	83,79

## **índice**

1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Problema de Estudo e Justificação.....	2
1.3. Objectivos.....	3
1.3.1 Geral .....	3
1.3.2 Específicos .....	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 Solos Duros.....	5
2.1.1 Características dos solos duros .....	5
2.2 Compactação do Solo e Suas Causas.....	6
2.2.1 Métodos para diagnosticar problemas de compactação do solo .....	8
2.2.2 Métodos para evitar a compactação .....	8
2.3 Propriedades Físicas do Solo .....	8
2.3.1 Consistência .....	8
2.3.2 Porosidade e raízes .....	9
2.3.3 Textura .....	9
2.3.4 Cimentação e nódulos e concreções minerais.....	10
2.3.5 Densidade do solo .....	10
2.4 Propriedades Químicas do Solo .....	10
2.5 Qualidade da Água da Rega .....	16
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	17
3.1 Descrição da Área de Estudo.....	17
3.1.1 Localização e clima .....	17
3.1.2 Solos .....	17
3.2 Trabalho de Campo .....	18

3.2.1 Outras informações recolhidas .....	20
3.3 Análise Laboratorial.....	21
3.3.1 Textura do solo.....	21
3.3.2 Densidade do solo .....	22
3.3.3 Reagentes e soluções .....	22
3.3.4 Análises químicas .....	22
3.3.4.1 Bases de troca .....	22
a = concentração de K medida na amostra (mg/L).....	23
b = concentração de K medida em branco (mg/L). .....	23
a = concentração de K medida na amostra (mg/L).....	24
b = concentração de K medida em branco (mg/L). .....	24
Potássio .....	24
a = concentração de K medida na amostra (mg/L).....	24
b = concentração de K medida em branco (mg/L). .....	24
Sódio .....	24
a = concentração de K medida na amostra (mg/L).....	25
b = concentração de K medida em branco (mg/L). .....	25
3.3.4.2 Determinação da capacidade de troca catiónica .....	25
3.3.4.3 Determinação da condutividade eléctrica do solo .....	26
3.5 Delineamento Experimental .....	26
3.6 Análise de Dados .....	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	28
4.1 Qualidade da Água de Rega Usada na Casa do Gaiato .....	28
4.2 Máquinas da Casa do Gaiato .....	29
4.3 Rendimentos das Culturas mais Cultivadas na Casa do Gaiato .....	30
4.4 Textura do Solo .....	32

4.4.1 Areia .....	32
4.4.2 Limo .....	33
4.4.3 Argila .....	34
4.4.4 Argila+limo .....	35
4.5 Densidade do Solo.....	36
Tabela 8 - Densidade do solo (Mg/m <sup>3</sup> ) nos diferentes usos da terra.....	36
4.8 Carbono Orgânico, Condutividade Eléctrica, Capacidade de Troca Catiónica e Bases de Troca do Solo.....	37
4.8.1 Carbono orgânico .....	37
4.8.2 Condutividade eléctrica do solo.....	38
4.8.4 Sódio do solo .....	41
4.8.5 Potássio do solo.....	42
4.8.6 Cálcio do solo .....	43
4.8.7 Magnésio do solo .....	44
4.9 Relação Bivariada .....	45
4.10 Relação Entre a Densidade do Solo e a Areia.....	45
4.11 A relação Entre a Densidade do Solo e Limo.....	46
4.12 Relação Entre a Densidade Solo e a Argila .....	47
4.13 Relação Entre a Densidade do Solo e Argila+Limo.....	48
4.14 Relação Entre a Densidade do Solo e o Carbono .....	50
4.15 Relação Entre a Densidade do Solo e a CE.....	51
Figura 7. Relação entre a densidade do solo e a Condutividade eléctrica (1:2.5).....	51
4.16 Relação Entre a Densidade do Solo e a CTC.....	52
Figura 8. Relação entre a densidade do solo e a capacidade de troca catiónica .....	52
4.18 Relação Entre a Densidade do Solo e Teores de Sódio.....	53
Figura 9. Relação entre a densidade do solo e teores de sódio.....	53



5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	54
5.1 Conclusões.....	54
A salinidade do solo revelou-se ser um dos prováveis factores de dureza do solo da Casa do Gaiato. ....	54
5.2 Recomendações .....	54
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	55
Anexo .....	64

### **Lista de Tabelas**

Tabela 1. Intervalos dos valores recomendados de CE (dS/m) e Teores de Sódio.....	24
Tabela 2. Areia do solo (%) nos diferentes usos da terra.....	37
Tabela 3. Limo do solo (%) nos diferentes usos da terra.....	38
Tabela 4. Argila do solo (%) nos diferentes usos da terra .....	39
Tabela 5. Argila+Limo do solo (%) nos diferentes usos da terra .....	40
Tabela 6. Densidade do solo (Mg/m <sup>3</sup> ) nos diferentes usos da terra.....	41
Tabela 7. Carbono Orgânico do solo (g/cm <sup>3</sup> ) nos diferentes usos da terra .....	42
Tabela 8. Condutividade eléctrica do solo (dS/m) nos diferentes usos da terra.....	42
Tabela 9. Capacidade de troca Catiónica do solo (g/cm <sup>3</sup> ) nos diferentes usos da terra.....	43
Tabela 10. Sódio do solo (g/cm <sup>3</sup> ) nos diferentes usos da terra.....	44
Tabela 11. Potássio do solo (g/cm <sup>3</sup> ) nos diferentes usos da terra .....	45
Tabela 12. Cálcio do solo (g/cm <sup>3</sup> ) nos diferentes usos da terra .....	46
Tabela 13. Magnésio do solo (g/cm <sup>3</sup> ) nos diferentes usos da terra .....	46
Tabela 14. Intervalos dos valores recomendados de CE (dS/m) e Teores de Sódio de água da albufeira dos Pequenos Libombos.....	47
Tabela 15. Cultura de feijão e milho mais cultivadas na casa do Gaiato.....	48
Tabela 16. Máquinas tractoras da Casa do Gaiato .....	50
Tabela 17. Coeficiente de correlação entre a densidade e diferentes variáveis.....	51

### **Lista de Figuras**

Figura 1. Ilustração da abertura dos três perfis em diferentes tipos de campos (não duro (A), duro (B) e campo não agricultado (C)).....	28
Figura 2. Coeficiente de regressão entre a densidade do solo e a areia.....	52
Figura 3. Coeficiente de regressão entre a densidade do solo e o limo.....	53
Figura 4. Coeficiente de regressão entre a densidade do solo e a argila.....	54
Figura 5. Coeficiente de regressão entre a densidade do solo e a Argila+limo.....	55
Figura 6. Coeficiente de regressão entre a densidade do solo e o carbono.....	55
Figura 7. Relação entre a Densidade do solo e Condutividade Eléctrica.....	56
Figura 8. Relação entre a Densidade do solo e a Capacidade Troca Catiónica.....	57
Figura 9. Relação entre a Densidade do solo e teores de Sódio.....	58

### **Lista de Anexos**

Anexo 1. Resultados de Análise de Variância, dos pressupostos de distribuição normal dos resíduos, testes de homoscedasticidade e teste de comparação de médias de Tukey a 5% de nível de significância, das diferentes variáveis analisadas.....	69
Anexo 2. Tabela de base de dados.....	92

### **Lista de Acrónimos**

ARA-SUL= Administração Regional de Água do Sul

UGBH= Unidade de Gestão da Bacia do Umbelúzi

MF= Massey Ferguson

Variedade LS = Link Seed