

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**POTENCIAL DE ÁGUA NO SOLO E NÍVEIS DE COMPACTAÇÃO  
PARA O CULTIVO DE GRAMA ESMERALDA.**

**LIVIA SANCINETTI CARRIBEIRO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU-SP

Junho – 2010

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**POTENCIAL DE ÁGUA NO SOLO E NÍVEIS DE COMPACTAÇÃO  
PARA O CULTIVO DE GRAMA ESMERALDA.**

**LIVIA SANCINETTI CARRIBEIRO**

**Orientador: Prof. Dr. Antônio de Pádua Sousa**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU-SP

Junho – 2010

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO UNESP -FCA - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

C316p Carribeiro, Livia Sancinetti, 1981-  
Potencial de água no solo e níveis de compactação para o cultivo de grama Esmeralda / Livia Sancinetti Carribeiro. - Botucatu : [s.n.], 2010.  
xiii, 79 f. : il., color., grafs., tabs.

Dissertação (Mestrado) -Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2010.  
Orientador: Antônio de Pádua Sousa  
Inclui bibliografia.

1. *Zoysia japonica*. 2. Tensiômetros. 3. Densidade do solo. I. Sousa, Antônio de Pádua. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

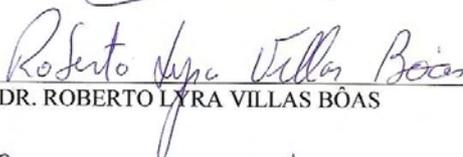
TÍTULO: "POTENCIAL DE ÁGUA NO SOLO E NÍVEIS DE COMPACTAÇÃO PARA  
O CULTIVO DE GRAMA ESMERALDA"

ALUNA: LIVIA SANCINETTI CARRIBEIRO

ORIENTADOR: PROF. DR. ANTÔNIO DE PÁDUA SOUSA

Aprovado pela Comissão Examinadora

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. ANTÔNIO DE PÁDUA SOUSA

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. ROBERTO LYRA VILLAS BÔAS

  
\_\_\_\_\_  
PROF.ª DR.ª MARLENE CRISTINA ALVES

Data da Realização: 18 de junho de 2010.

## Dedico

“Aos meus queridos pais Ricardo e Neusa, por todo amor, carinho, dedicação e compreensão, em todos os momentos desta e de outras caminhadas.”

## Ofereço

“A memória do meu avô Danilo Sancinetti, que ao longo de sua caminhada carregou  
junto a sua bagagem o ensinamento.”

## AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte inesgotável de amor, paz e sabedoria, pela saúde, disposição e persistência durante esta jornada.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos.

À empresa “Gramas Xavier” por terem me cedido os tapetes de grama utilizados no decorrer do experimento.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, pela oportunidade da realização do curso, especialmente ao Departamento de Engenharia Rural e Departamento de Recursos Naturais.

Ao Professor e orientador Antônio de Pádua Sousa, pela confiança, incentivo, amizade e ensinamentos.

Ao Professor Roberto Lyra Villas Bôas, por todo apoio, confiança, incentivo, amizade e ensinamentos.

Ao professor do Departamento de Engenharia Rural João Carlos Cury Saad por toda colaboração e amizade.

Aos funcionários dos Departamentos de Engenharia Rural e do Departamento de Recursos Naturais (Ciência do Solo), em especial ao Gilberto, Dejair, Rita, Maury, Jair, Sylvia, Selma, e Noel.

Aos amigos Leandro Caixeta, Patrícia Nascimento, Ana Carolina Lara, Camila Tomaz, Sidnei Cavalieri, Mario Henrique Dal Pogetto (Fid Rola), Camila Abrahão, Letícia Foratto, Aline Fonseca, Ana Cristina (Daninha), Clarice, Alessandro, Luiz Vitor, Edinho, Indiamara, Fernanda, Rodolfo Pereira, Thomas (Derrotado) e Maurício.

Enfim, a todos que de alguma maneira, direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE TABELAS.....	XII
RESUMO .....	1
SUMMARY.....	3
1 INTRODUÇÃO.....	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1 Cultivo de gramas no Brasil.....	7
2.2 Características adaptativas das gramas.....	9
2.3 Grama Esmeralda ( <i>Zoysia japonica</i> Steud).....	10
2.4 Manejo da irrigação e desenvolvimento das gramas.....	12
2.5 Manejo da irrigação pelo método do tensiômetro.....	14
2.6 Efeitos da compactação do solo no desenvolvimento das gramas.....	15
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3.1 Localização e caracterização das unidades experimentais.....	17
3.2 Caracterizações física e química do solo.....	18
3.3 Delineamento experimental.....	19
3.4 Condução do experimento e análises realizadas.....	20
3.4.1 Ensaio de compactação.....	21
3.4.2 Recomendação de adubação.....	22
3.4.3 Obtenção da curva característica de retenção de água no solo.....	23
3.4.4 Transplântio dos tapetes de grama.....	24
3.4.5 Manejo da irrigação.....	24
3.5 Características avaliadas das plantas .....	26
3.5.1 Taxa de cobertura verde do solo (TCV).....	26
3.5.2 Acúmulo de matéria seca na parte aérea.....	27
3.5.3 Intensidade da cor verde das lâminas foliares.....	27
3.5.4 Concentração de macronutrientes nas lâminas foliares.....	29

3.5.5 Acúmulo de matéria seca nas raízes .....	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1 Taxa de cobertura verde do solo.....	31
4.2 Acúmulo de matéria seca na parte aérea e raízes de grama Esmeralda.....	36
4.2.1 Acúmulo de matéria seca na parte aérea.....	36
4.2.2 Acúmulo de matéria seca nas raízes.....	40
4.3 Concentração de macronutrientes nas lâminas foliares.....	41
4.3.1 Concentração de N nas lâminas foliares.....	42
4.3.2 Concentração de P nas lâminas foliares.....	43
4.3.3 Concentração de K nas lâminas foliares.....	46
4.3.4 Concentração de Ca nas lâminas foliares.....	49
4.3.5 Concentração de Mg nas lâminas foliares.....	51
4.3.6 Concentração de S nas lâminas foliares.....	54
4.4 Intensidade de cor verde das lâminas foliares: Clorofilômetros CM 1000 e TCM 500..	56
4.4.1 Clorofilômetro CM1000.....	56
4.4.2 Clorofilômetro TCM500.....	60
5 CONCLUSÕES.....	68
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70

## LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Temperaturas mínima, máxima e média do ar no município de Botucatu, referente ao período de julho a novembro de 2009.....	18
2 Umidade relativa do ar (%) no município de Botucatu, referente ao período de julho a novembro de 2009.....	18
3 Vista geral das unidades experimentais em vaso com grama Esmeralda .....	20
4 Curva característica de retenção de água do Nitossolo Vermelho eutrófico da área experimental “Fazendinha” pertencente à Fazenda Experimental Lageado - FCA/ Botucatu-SP.....	23
5 Análise da imagem digital para determinação da taxa de cobertura verde do solo (TCV)....	26
6 Corte da grama e recolhimento das aparas.....	27
7 Clorofilômetros CM 1000 e TCM 500 da Fieldscout utilizados para determinação dos índices de clorofila.....	29
8 Lavagem e separação das raízes provenientes das amostras coletadas de grama.....	30
9 Imagem digital da taxa de cobertura verde do solo pela grama Esmeralda ( <i>Zoysia japonica</i> ) em função dos potenciais de água no solo e densidades do solo.....	32
10 Efeito dos potenciais de água e das densidades do solo sobre a taxa de cobertura verde do solo (TCV) proporcionada pela grama Esmeralda aos 45 e 60 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.....	34
11 Efeito isolado das causas de variação, densidades do solo e dos potenciais de água sobre a taxa de cobertura verde do solo (TCV) proporcionado pela grama Esmeralda aos 75 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.....	35
12 Efeito isolado das causas de variação, densidades do solo e dos potenciais de água sobre a taxa de cobertura verde do solo (TCV) proporcionado pela grama Esmeralda aos 90 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.....	36

13	Efeito dos potenciais de água e das densidades do solo sobre o acúmulo de matéria seca na parte aérea da grama Esmeralda aos 45 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.....	37
14	Efeito das densidades do solo sobre o acúmulo de matéria seca na parte aérea da grama Esmeralda 90 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.....	39
15	Efeito dos potenciais de água sobre o acúmulo de matéria seca na parte aérea da grama Esmeralda aos 90 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.....	39
16	Efeito dos potenciais de água e das densidades do solo sobre o acúmulo de matéria seca nas raízes da grama Esmeralda aos 45 dias após iniciados os tratamentos de irrigação.....	40
17	Efeito das densidades do solo sobre a concentração de N nas lâminas foliares da grama Esmeralda aos 90 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.....	42
18	Efeito das densidades do solo sobre a concentração de P nas lâminas foliares da grama Esmeralda aos 45 dias após o iniciado os tratamentos de irrigação.....	43
19	Efeito dos potenciais de água e das densidades do solo sobre a concentração de P nas lâminas foliares da grama Esmeralda aos 90 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.....	45
20	Efeito das densidades do solo sobre a concentração de K nas lâminas foliares da grama Esmeralda aos 45 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.....	46
21	Efeito dos potenciais de água sobre a concentração de K nas lâminas foliares da grama Esmeralda aos 45 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.....	47
22	Efeito das densidades do solo sobre a concentração de K nas lâminas foliares da grama Esmeralda aos 90 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.....	48
23	Efeito dos potenciais de água sobre a concentração de K nas lâminas foliares da grama Esmeralda aos 90 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.....	48
24	Efeito das densidades do solo sobre a concentração de Ca nas lâminas foliares da grama Esmeralda aos 45 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.....	50
25	Efeito das densidades do solo sobre a concentração de Ca nas lâminas foliares da grama Esmeralda aos 90 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.....	51

26	Efeitos dos potenciais de água e das densidades do solo sobre a concentração de Mg nas lâminas foliares da grama Esmeralda aos 45 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.....	52
27	Efeito das densidades do solo sobre a concentração de Mg nas lâminas foliares da grama Esmeralda ao 90 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.....	53
28	Efeito dos potenciais de água sobre a concentração de Mg nas lâminas foliares da grama Esmeralda ao 90 dias iniciado os tratamentos de irrigação.....	53
29	Efeito dos potenciais de água no solo de densidade $1,21 \text{ g cm}^{-3}$ sobre a concentração de S nas lâminas foliares da grama Esmeralda aos 45 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.....	54
30	Efeito dos potenciais de água no solo de densidade de $1,39 \text{ g cm}^{-3}$ sobre a concentração de S na lâmina foliar da grama Esmeralda aos 45 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.....	55
31	Efeito dos potenciais de água sobre a concentração de S nas lâminas foliares da grama Esmeralda aos 90 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.....	55
32	Efeito das densidades do solo sobre a ICV das lâminas foliares da grama Esmeralda aos 45, 60 e 75 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.....	57
33	Efeito dos potenciais de água no solo sobre a ICV das lâminas foliares da grama Esmeralda aos 45, 60 e 75 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.....	58
34	Efeito dos potenciais de água e das densidades do solo sobre o ICV das lâminas foliares da grama Esmeralda aos 90 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.....	59
35	Efeito das densidades do solo sobre o componente verde (G) das lâminas foliares da grama Esmeralda aos 45 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.....	61
36	Efeito das densidades do solo sobre o componente verde (G) das lâminas foliares da grama Esmeralda aos 60 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.....	61
37	Efeito das densidades do solo sobre o componente verde (G) das lâminas foliares da grama Esmeralda aos 90 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.....	62

38	Efeito das densidades do solo sobre o componente Matiz de coloração verde das lâminas foliares da grama Esmeralda aos 60, 75 e 90 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.....	63
39	Efeito dos potenciais de água do solo sobre o componente Matiz de coloração verde das lâminas foliares da grama Esmeralda aos 60, 75 e 90 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.....	64
40	Efeito das densidades do solo sobre a Intensidade de cor verde escura (ICVE) nas lâminas foliares da grama Esmeralda aos 60, 75 e 90 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.....	66
41	Efeito dos potenciais de água sobre a Intensidade de cor verde escura (ICVE) nas lâminas foliares da grama Esmeralda aos 60, 75 e 90 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.....	67

**LISTA DE TABELAS**

	Página
1 Textura do Nitossolo Vermelho eutrófico da área experimental “Fazendinha” na Fazenda Experimental Lageado - FCA/ Botucatu – SP.....	19
2 Características químicas do Nitossolo Vermelho eutrófico da área experimental “Fazendinha” da Fazenda Experimental Lageado - FCA/ Botucatu-SP .....	19
3 Densidade média e porosidade do solo obtida nos recipientes que compuseram as unidades experimentais no ensaio de compactação.....	22
4 Resumo da análise de variância referente à taxa de cobertura verde do solo pela grama Esmeralda em função dos potenciais de água e densidades do solo.....	31
5 Resumo da análise de variância referente ao acúmulo de matéria seca de parte aérea e raízes da grama Esmeralda em função dos potenciais de água no solo e densidades do solo.....	37
6 Resumo da análise de variância da referente às concentração de N, P e K nas lâminas foliares da grama Esmeralda em função dos potenciais de água e densidades do solo aos 45 e 90 dias após iniciado os tratamentos de irrigação. ....	41
7 Resumo da análise de variância referente às concentrações de Ca, Mg e S das lâminas foliares da grama Esmeralda em função dos potenciais de água e densidades do solo aos 45 e 90 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.....	49
8 Resumo da análise de variância referente ao Índice de cor verde (ICV) das lâminas foliares da grama Esmeralda determinado pelo clorofilômetro CM 1000, em função dos potenciais de água e densidades do solo.....	56
9 Resumo da análise de variância referente ao Componente verde (G) das lâminas foliares da grama Esmeralda determinada pelo clorofilômetro TCM 500 em função dos potenciais de água e densidades do solo.....	60

10	Resumo da análise de variância referente ao Matiz de cor verde (H) das lâminas foliares da grama Esmeralda determinada pelo clorofilômetro TCM 500 em função dos potenciais de água e densidades do solo.....	62
11	Resumo da análise de variância referente ao Índice de cor verde (H) das lâminas foliares da grama Esmeralda determinada pelo clorofilômetro TCM 500 em função dos potenciais de água e densidades do solo.....	65

## RESUMO

Os gramas têm assumido em todo o mundo lugar de destaque tanto pelo seu admirável valor estético como por suas diversas funcionalidades. Dentre muitas características associadas à planta, o bom desenvolvimento da grama depende também de fatores relacionados ao solo, como a suficiente disponibilidade de água no mesmo. Objetivou-se no presente trabalho determinar a lâmina de irrigação mais adequada para o cultivo da grama Esmeralda (*Zoysia Japonica*) sob diferentes níveis de compactação do solo. O experimento foi instalado em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Recursos Naturais da FCA/UNESP - Botucatu, SP. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos inteiramente casualizados, organizados em esquema fatorial 5x4, compreendido por potenciais de água no solo (30, 40, 50, 60 e 70 kPa) e por níveis de densidade do solo (1,21; 1,39; 1,49; 1,54 kg dm<sup>-3</sup>), com quatro repetições, totalizando 80 unidades experimentais. A compactação do solo foi realizada com o auxílio de uma prensa hidráulica. O solo foi compactado em camadas de 10 kg cada, sendo este submetido à compactação com auxílio de uma chapa metálica (980 cm<sup>2</sup>). Para atingir os respectivos níveis de densidade do solo foram aplicadas as pressões de 0, 1, 2 e 3 kg cm<sup>-2</sup>. A grama foi transplantada na forma de tapetes nos recipientes de forma que a espécie ocupasse toda a área do mesmo. A irrigação foi realizada diariamente, com o auxílio de tensiômetros de punção, instalados individualmente na região central dos recipientes a uma profundidade de 0,1m. As irrigações foram feitas com base nas leituras

tensiométricas correlacionadas às características de retenção de água no solo. Foram avaliadas a taxa de cobertura verde do solo, produção de matéria seca na parte aérea, intensidade de cor verde das lâminas foliares, a concentração de macronutrientes nas lâminas foliares e o acúmulo de matéria seca nas raízes. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e quando observada interação significativa entre os fatores potencial de água e densidade do solo os mesmo foram ajustados por meio da equação de regressão não linear utilizando o modelo Parabolóide do programa estatístico Sigma Plot.

Pela análise dos resultados conclui-se que baixos potenciais de água no solo e incrementos na densidade do solo favoreceram a produção de matéria seca na parte aérea, a taxa de cobertura verde do solo, a concentração de macronutrientes nas folhas, a intensidade da cor verde da grama e a produção de matéria seca nas raízes. Potenciais de água no solo superiores a 45kPa, bem como solos de densidade inferior a 1,40 g cm<sup>-3</sup> mostraram-se menos favoráveis ao desenvolvimento e a manutenção da qualidade da grama Esmeralda (*Zoysia japonica*).

---

Palavras-chave: *Zoysia japonica*, tensiômetros, densidade do solo.

SOIL WATER POTENTIAL AND COMPACTION LEVELS FOR GROWING ZOYSIAGRASS Botucatu, 2010 79p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: LIVIA SANCINETTI CARRIBEIRO

Adviser: ANTÔNIO DE PÁDUA SOUSA

## SUMMARY

The turfgrasses have taken place around the world highlighting both their esthetic value as admirable for its many features. Among many features associated with plants, the proper development of the program also depends on factors related to the soil, among them the availability of sufficient water in it. This research aimed to determine the most appropriate irrigation rate for growing zoysiagrass (*Zoysia japonica*) under different bulk density levels. The experiment was conducted in a greenhouse belonging to the Department of Natural Resources of the FCA / UNESP - Botucatu, SP. The experimental design was in a randomized complete blocks with four replications, in a 5x4 factorial scheme; the first factor comprised of soil water potential (30, 40, 50, 60 and 70 kPa) and the second factor by levels of soil bulk density ( 1.21, 1.39, 1.49, 1.54 g cm<sup>-3</sup>), totaling 80 experimental plots. Soil compaction was performed with the aid of a hydraulic press. The soil was compacted in layers of 10 kg each, which was submitted to compaction with the aid of a metal plate (980 cm<sup>2</sup>). To achieve their respective levels of bulk density, were applied pressures of 0, 1, 2 and 3 kg cm<sup>-2</sup>. The grass was transplanted in the form of carpets in containers so that the species occupy the whole area of it. The management of irrigation was performed daily, with the aid of tensiometers puncture, placed individually in the central region of the containers, to a depth of 10 cm. Irrigation management was based on tensiometer readings correlated to the characteristics of water retention in the soil. Were evaluated the rate of green coverage of the soil, the shoot dry matter production, the green color intensity of leaves, the concentration of macronutrients in leaves and the root dry matter production. The data were submitted to analysis of variance and when there was interaction between the factors, were proceeded to regression analysis. When was observed the interaction between water potential and soil bulk

density, the data were adjusted using the statistical program "SigmaPlot", through non-linear regression by the Paraboloid model.

Based on these results, it can be concluded that the low water potential in soil and the increase of soil density favor the dry matter production of shoots, the green coverage rate of the soil, the macronutrients concentration, the intensity of the color green in turfgrasses, and the dry matter in roots. Still, we can conclude that at a water potential in soil upper than 45kPa, and soil density less than  $1.40 \text{ g cm}^{-3}$ , were not too favorable to development and maintenance of quality zoysiagrass (*Zoysia japonica*).

---

Keywords: *Zoysia japonica*, tensiometers, soil density.

## 1 INTRODUÇÃO

Estudos envolvendo gramas vêm ganhando grande impulso no decorrer dos últimos anos, fato este atribuído a considerável expansão de áreas verdes gramadas, aumento na construção de condomínios residenciais, campos de futebol, campos de golfe e parques, além da maior exigência do mercado consumidor, quanto à qualidade final das gramas (GODOY e VILLAS BOAS, 2005). O desenvolvimento de novas variedades, lançamento de produtos e máquinas específicas para utilização em gramas, a adaptação e aperfeiçoamento das técnicas de produção, implantação e manutenção de gramas também contribuíram para o incremento de estudos neste setor.

Para o bom desenvolvimento da grama é de fundamental importância que o manejo da irrigação seja realizado de forma eficiente, visando à otimização dos recursos hídricos. No caso específico da irrigação em gramas, observa-se que a utilização dos recursos hídricos vem sendo realizada sem qualquer embasamento científico. Segundo Costa (2006), muitos irrigantes avaliam o momento de realizar a irrigação de forma visual, sem adoção de qualquer estratégia de uso e manejo racional da água de irrigação.

Na literatura, existem recomendações de frequências fixas de irrigação para cada cultura. Embora possa ser prático no sentido de programação das operações, esse método acarreta déficits e excessos de água, uma vez que as condições climáticas são variáveis ano a ano. Assim, existe a necessidade do uso de métodos de campo que determinem, direta ou indiretamente, a disponibilidade hídrica do solo para as culturas, de acordo com as

condições ambientais predominantes durante o desenvolvimento das plantas (FARIA e COSTA, 1987).

Para o sucesso da agricultura irrigada é de fundamental importância o conhecimento a cerca da quantidade de água requerida pelas culturas, para tanto faz-se necessária a adoção de um método preciso e eficiente para a estimativa da lâmina adequada ao bom desenvolvimento da cultura.

Um das técnicas que pode ser utilizada com sucesso para a tomada de decisão na irrigação de gramas é a tensiometria. Sua utilização com o objetivo de estimar o estado energético da água no solo, sob condições de campo vem sendo amplamente utilizado por resultar em determinações rápidas, precisas e de baixo custo (MORAES et al., 2006).

Uma característica peculiar nas áreas de produção de gramas é que as mesmas são compactadas para permitir a retirada de tapetes íntegros, tal compactação tem influenciado na determinação da lâmina de irrigação a ser aplicada, uma vez que ao proceder-se a compactação para retirada dos tapetes ocorre uma modificação na estrutura do solo, alterando assim a retenção de água no mesmo.

Na compactação ocorre uma reorganização das partículas que compõem a estrutura do solo, reduzindo a quantidade de ar nas proximidades da zona radicular, a infiltração de água no solo e dificultando o crescimento radicular. Como consequência desse adensamento verifica-se um decréscimo no desenvolvimento e crescimento radicular da grama, a expressão dessa condição é verificada com a formação de raízes finas e superficiais.

Como consequência desses fatores ocorrerá o desenvolvimento de uma grama falha e pouco vistosa. Por este motivo, é de extrema importância investir em pesquisas científicas para obtenção de mais informações que possam dar respaldo aos produtores com a finalidade de garantir o melhor desenvolvimento da grama em menor tempo hábil.

O presente trabalho teve como objetivo determinar o potencial de água e o nível de compactação do Nitossolo Vermelho eutrófico para o cultivo da grama Esmeralda.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Cultivo de gramas no Brasil**

Os gramas têm assumido atualmente no Brasil e em todo o mundo lugar de destaque tanto por seu admirável valor estético e diversas funcionalidades, como componente das paisagens nos mais distintos cenários e sistemas ecológicos, como por ter tornado-se um importante segmento na agricultura e na indústria de insumos e máquinas pela necessidade de um intenso manejo para o cultivo e manutenção das mesmas. A produção de gramas obedece a métodos específicos, qualificando-se como uma agricultura exótica, tanto a título de maquinários como em relação ao manejo.

O cultivo de grama no Brasil teve seu início marcado por volta de 1974, com o engenheiro agrônomo Minoru Ito e vem se expandindo anualmente (GODOY e VILLAS BOAS, 2005). Atualmente o cultivo de grama é feito em quase todos os estados brasileiros, chegando a uma estimativa total de 16.790 hectares de área plantada (ZANON e PIRES, 2010). Quanto à distribuição de grama no Brasil, São Paulo é o estado responsável por 43% da produção nacional, seguido pelo Paraná, Minas Gerais, Mato Grosso e Rio Grande do Sul (ZANON e PIRES, 2010).

No Brasil, predomina o cultivo de gramas de clima quente, fato este atribuído a maior adaptabilidade dessas espécies ao clima tropical do Brasil, destacando-se como principais gramas cultivadas a Esmeralda, Santo Agostinho, Bermuda e onde, de acordo

com a Associação dos Gramicultores do Brasil – “Agrabras”, a grama Esmeralda ocupa lugar de destaque em vendas em relação ao total comercializado, representando 80% deste total e uma área aproximada de 3200 ha.

De acordo com o sistema de produção pode-se classificar as gramas em duas categorias no país: cultivadas e não cultivadas ou nativas (GODOY, 2005). As denominadas cultivadas são comercializadas no Brasil predominantemente na forma de tapetes ou rolos, “plugs” e “sprigs” (estolões) sendo o tempo médio para colheita de tapetes ou rolos de doze meses (PIMENTA, 2003).

Os tapetes são cortados com dimensões variando entre 0,30 a 0,40 x 0,60 a 1,25m com auxílio de maquinário específico, posteriormente a compactação da camada superficial do solo com rolo compactador, fato este bastante desejável, pois garante que os mesmos mantenham-se íntegros. Os tapetes cortados devem apresentar boa densidade de lâminas foliares, coloração verde adequada e quantidade de solo correspondente a uma camada de 0,9 a 1,0 cm de solo (CHARBONNEAU, 2004).

O sistema de produção de grama por “plugs” é uma tecnologia ainda nova, onde a grama é produzida em bandejas a partir de estolões. De acordo Salvador e Minami (2002), foi desenvolvida com o objetivo de minimizar os custos de implantação de gramas e apesar do volume de vendas serem bastante irregular, vem se expandindo devido o fato de proporcionar reduções de até 66% no custo de implantação em grandes áreas, se comparado a um grama implantado por tapete.

Apesar da necessidade da implementação de um sistema de produção onde se faz necessário a adoção de maquinários e operações específica e onde a demanda por tratos culturais é ainda bastante elevada, o que gera um alto custo de produção, o cultivo de gramas pode ser ainda considerado uma atividade bastante vantajosa e que tende a se expandir. De acordo com De Paula (2009) um fator ainda bastante limitante para a ampliação do mercado é o preço praticado junto ao consumidor. Entre a produção e o consumidor, é comum haver um aumento de cerca de 100% ou mais no preço do metro quadrado do tapete. Dessa forma, o produtor deve sempre pensar em reduzir o custo da produção oferecendo um preço competitivo e acessível ao consumidor e de preferência, sem intermediações na comercialização para que o setor expanda ainda mais.

## 2.2 Características adaptativas das gramas

A família Poaceae (Gramineae), onde estão inseridas as gramas é composta por mais de 10.000 espécies e considerada a mais importante de todas as famílias de plantas por incluir os grãos, que são o principal alimento cultivado em todo mundo. As gramas utilizadas em gramados representam um pequeno grupo da Família Poaceae (Gramineae) composto por menos de 50 espécies.

As gramas são plantas capazes de crescer em alta densidade, sob contínua desfolhação provocada pelo corte ou roçada (CHRISTIANS, 1998). Isto se deve principalmente ao fato de possuir meristema subapical, localizado na base da planta formado por um grupo de nós e entrenós compactados, conhecido como coroa (UNRUH, 2004). Entretanto, o fato de serem consideradas plantas com elevado vigor de crescimento não está somente atribuído ao elemento cultura em si, mas também a fatores climáticos como temperatura e precipitação, considerados elementos de grande importância no momento da escolha da espécie, por influenciarem diretamente sobre sua escala de adaptação climática (BEARD, 1998).

De acordo com o “Turf Resource Center” as gramas são classificadas em dois grupos: espécies de estações quentes e espécies de estações frias, sendo este critério baseado na adaptação climática das mesmas. As gramas de estações quentes são adaptadas às regiões tropicais e subtropicais, enquanto as de estações frias, a climas temperados e sub-climas árticos (HUANG, 2006).

As gramas de clima quente são as que mais se adequam ao clima do Brasil estando mais bem adaptadas a temperaturas entre 27° e 35°. Dentre as espécies consideradas como as principais de clima quente, destacam-se: *Axonopus compressus* (São Carlos ou Curitiba), *Paspalum notatum* (Bahia ou Batatais), *Stenotaphrum secundatum* (Santo Agostinho), *Zoysia japonica* (Zoysia), além das espécies como *Cynodon* spp. (Bermuda), *Eremochloa ophiuroides* (Centipede), *Pennisetum clandestinum* (Kikúio), *Paspalum vaginatum* (Seashore paspalum) e *Buchloe dactyloids*.

As espécies de grama de clima quente são divididas em dois grupos, rizomatosas e estoloníferas, sendo esta classificação bastante importante, pois é a partir dela que se determinam quais espécies podem ou devem ser utilizadas em diferentes situações,

forma de comercialização e manejo. As variedades rizomatosas possuem alta capacidade de regeneração, principalmente se a injúria for causada por tráfego excessivo. Isto ocorre, devido ao fato dos rizomas, que são à base do crescimento vegetativo, estar enterrados em subsuperfície. Desta forma, ficam protegidos de danos mecânicos diretos. Contudo, são variedades altamente exigentes em manutenção, desde adubação até poda, havendo situações específicas em que a poda deve ser diária (GURGEL, 2003; UNRUH, 2004; GODOY, 2005).

As gramas de clima frio desenvolvem-se bem em temperaturas compreendidas entre 18 e 24°C. São amplamente utilizadas nas regiões mais frias dos EUA, destacando-se as espécies: *Poa pratensis* (Kentucky Bluegrass), *Lolium perenne* (Perennial Ryegrass), *Festuca arundinacea* (Tall fescue), *Festuca longifolia* (Fine Fescues) e *Agrostis palustris* (Creeping Bentgrass) (GURGEL, 2003). Apresentam propagação via semente com ótimo poder de germinação, sendo bastante utilizadas em sistema de ‘overseeding’, semeadura sobre outra grama pré estabelecida. São pouco utilizadas no Brasil, a não ser em situações específicas, como em campos de golfe e gramados esportivos de regiões mais frias do sul do país.

A profundidade de sistema radicular é considerado também um fator de diferenciação entre as espécies de gramas. De acordo com Christians (1998), gramas de clima quente desenvolvem sistemas radiculares mais profundos (90 cm ou mais) do que aquelas de clima frio (30 a 45 cm de profundidade). Isso se deve ao fato das gramas de clima quente serem mais bem adaptadas às condições de seca, demandando por uma menor frequência de irrigação do que aquelas de clima frio, sendo portanto as gramas de clima frio mais suscetíveis a estresse hídrico (DUBLE, 2006).

No Brasil, cultivam-se somente gramas de clima quente, embora sejam comercializadas sementes importadas de espécies de clima frio sendo somente semeadas em gramados esportivos para compensar o menor crescimento das de estação quente durante o inverno (“overseeding”) (LAURETTI, 2003).

### **2.3 Grama Esmeralda (*Zoysia japonica* Steud.)**

O gênero *Zoysia sp.* é uma grama de clima quente, originário da orla do Pacífico, especificamente de regiões como China, Japão e outras partes do sudeste da Ásia

(SCHWARTZ et al., 2009). É constituída principalmente por três espécies: *Z. japonica*, *Z. matrella* e *Z. tenuifolia* onde a mais popular e utilizada no Brasil é a *Z. japonica*, também conhecida como Esmeralda. Foi introduzida no Brasil no início da década de 80, trazida dos Estados Unidos (GODOY e VILLAS BOAS, 2005).

As *Zoysias* spp. São capazes de formar gramas perenes, sendo amplamente adaptada a diversos tipos de solos e ambientes, sendo identificadas pelo seu uso potencial como uma grama de baixa manutenção (SCHWARTZ et al., 2009), onde as espécies *Z. japonica* Steud. e *Z. matrella* (L.) Merr. são consideradas de maior importância para a indústria da grama (BREDE e SUN, 1995).

A grama Esmeralda é uma espécie de clima quente, com lâminas foliares de textura fina a média com excelente densidade e coloração verde-médio e de crescimento rizomatoso-estolonífero. De acordo com Godoy e Villas Boas (2010), tapetes de grama Esmeralda bem formados podem apresentar concentrações médias de 20 a 25 g kg<sup>-1</sup> de N; 1,7 a 2,0 g kg<sup>-1</sup> de P; 11 a 14 g kg<sup>-1</sup> de K em suas lâminas foliares.

Trata-se de uma grama de ampla adaptação às condições brasileiras, podendo ser utilizada de norte a sul do país. Devido a sua boa capacidade de resistência ao pisoteio e ao grande número de rizomas formados foi durante muitos anos a variedade dos principais gramados de futebol do Brasil, como Maracanã, Morumbi, Mineirão e outros. Adapta-se bem em diferentes tipos de solo, exceto os solos com baixa capacidade de drenagem (COSTA, 2007), são tolerantes ao frio e salinidade, entretanto, seu crescimento é lento o que dificulta seu estabelecimento, podendo isso ser uma vantagem na manutenção por exigir menor frequências de cortes em relação a algumas outras gramíneas de estação quente (TRENHOLM e UNRUH, 2006). Desenvolve-se bem em áreas de plena insolação, tolerando sombreamento mínimo. Estudo desenvolvido por Trappe et al.(2008) com objetivo de avaliar a tolerância de gramas de clima quente ao sombreamento e tráfego vem a comprovar essas evidencias, pois demonstraram quem as espécies utilizadas do gênero *Zoysia* sp. apresenta-se bastante tolerante ao tráfego e ao sombreamento mantendo uma taxa de cobertura verde de 98% quando expostas a condição de ensolação e 94% quando submetida ao sombreamento.

Alguns dos seus principais problemas, é que ela pode desenvolver uma grande camada de thatch (acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo), se não manejada corretamente (TRENHOLM et al., 2001), onde de acordo com Boyd e Patton

(2009) a formação dessa camada morta ocorre especialmente quando o grama é raramente cortado ou quando muito fertilizado e irrigado, sendo necessário a remoção do thatch a cada dois ou três anos, mas cuidado deve ser tomado porque a taxa de recuperação de algumas cultivares zoysia é lento.

## **2.4 Manejo da irrigação e desenvolvimento das gramas**

Os gramados tornaram-se um componente cada vez mais importante na paisagem urbana em todo mundo e em sistemas ecológicos por fornecer benefícios funcionais, recreativos e estéticos à sociedade e ao meio ambiente. Além de fazer parte do cenário paisagístico em jardins e parques, tornaram-se também o elemento principal da paisagem dos campos de futebol e de golfe no mundo.

O desenvolvimento e o crescimento de grama é fator dependente da espécie e/ou cultivar, idade da planta, tipo de solo, fatores climáticos, fertilidade do solo, tipo de manejo de cultivo e principalmente da disponibilidade de água no solo.

A disponibilidade de água, além de estar atribuída aos elementos físicos do solo, pois são eles que definem a arquitetura do sistema poroso e estão associados a fatores ligados ao armazenamento de água, está também diretamente ligada à prática de irrigação adotada.

Tradicionalmente e visando à produção em larga escala de tapetes de grama para comercialização, os métodos de irrigação mais utilizados são a aspersão convencional, canhões de autopropelido e os pivôs centrais entretanto em áreas com fins paisagísticos predominam os microaspersores e gotejadores. Entretanto, a principal limitação encontrada tanto por produtores como por gestores de áreas paisagísticas não é quanto à escolha do tipo de sistema de irrigação a adotar, mais sim, quando e quanto de água aplicar, a fim de permitir um adequado desenvolvimento da grama. Na maioria das vezes o que se vê é a adoção de práticas de irrigação sem qualquer tipo de embasamento científico, onde não são levadas em consideração as necessidades hídricas específicas da planta, o armazenamento de água no solo entre outros fatores.

Embora a irrigação possa ser uma técnica cara, gramas assim como todas as plantas vivas, necessitam de água para o crescimento e sobrevivência. É necessário,

portanto, evitar tanto o excesso como a falta de água, pois são fatores considerados prejudiciais ao seu desenvolvimento, independente de sua funcionalidade.

Em relação às gramas, o estresse hídrico acarreta no declínio da qualidade da mesma. Como característica desse declínio há redução na densidade de brotações, a grama torna-se fosca, o limbo se dobra e enrola, a textura das lâminas foliares se altera e adquirem cor verde azulados até que sequem e tornem-se marrons. Além da alteração nos processos morfológicos e fisiológicos na planta sob estresse hídrico, há redução na absorção de nutrientes como o nitrogênio, por exemplo (NORTON, 1982).

Por outro lado, irrigações excessivas, podem levar ao rápido crescimento da grama, resultando no aumento no número de cortes, podendo provocar também o desenvolvimento de um sistema radicular raso (ROMERO e DUKES, 2009).

Em estudo conduzido por Da Costa e Huang (2005) visando avaliar o desenvolvimento e as necessidades mínimas de água em gramas de clima frio, foi observado que o manejo de irrigação baseado em 100% da evapotranspiração de referência não foi ideal para manter a qualidade da grama aceitável, e sim aquele baseado em 60% da evapotranspiração de referência no período de verão. Silva (2004) observou que a lâmina mínima de água que garantiu a qualidade visual das gramas de clima quente e uma adequada produção de matéria seca foi àquela correspondente a 80% da evapotranspiração de referência, para as gramas batatais (*Paspalum notatum*) e esmeralda (*Zoysia japonica*). Carrow (1995) obteve valores entre 60 e 80% da evapotranspiração como parâmetros para garantir uma boa manutenção de gramas de estações quentes. Os resultados encontrados comprovam, portanto, que a necessidade de água é fator dependente da espécie, da localização geográfica, época do ano entre outros fatores.

O manejo adequado da irrigação de gramas requer o entendimento de como a umidade do solo afeta o seu crescimento sendo, portanto, o objetivo de um bom programa de irrigação usar de forma eficaz o abastecimento de água disponível, de modo que o manejo de irrigação seja baseado na capacidade de retenção de água do solo, proporcione o desenvolvimento da cultura (neste caso, grama) e permita economizar água (TRENHOLM e UNRUH, 2008)

## 2.5 Manejo da irrigação pelo método do tensiômetro

A determinação do conteúdo de água no solo é uma ferramenta de fundamental importância para a prática de irrigação, pois permite a correta quantificação da lâmina de água a ser aplicada para atender as necessidades da cultura.

Diferentes métodos podem ser utilizados para determinar o conteúdo de água no solo e o momento de se proceder à irrigação, porém o de mais fácil utilização é o controle do potencial de água no solo (TAYLOR, 1965; CAMPBELL, 1988; WIERENGA, 1988).

Tensiômetros são aparelhos que permitem um monitoramento contínuo da água no solo por medir diretamente o potencial de água no solo, porém não indicam a quantidade de água que deve ser aplicada, esta deve ser determinada com base no sistema de irrigação adotado e a característica do solo. Eles fornecem informações úteis para irrigação a título de planejamento e gestão, permitindo manter os níveis de umidade do solo adequados ao desenvolvimento tanto de gramas como o das plantas da paisagem (HENSLEY e DEPUTY, 1999). São largamente utilizados como ferramenta de manejo de irrigação, tendo em vista sua praticidade, baixo custo e satisfatória precisão na determinação de água no solo (SOCCOL, 2005).

A utilização de tensiômetros em gramas, portanto, possibilita investigar como as relações hídricas atuam como dispositivo de detecção para o correto controle de irrigação (AUGUSIN e SNYDER, 1984; O'NEIL e CARROW, 1982; YOUNGER et al., 1981) A grande utilização de tensiômetros em pesquisas de grama é devido principalmente ao enraizamento superficial das espécies, exigindo a instalação de tensiômetros a cinco centímetros de profundidade ou em profundidades inferiores a 30 centímetros (MASH, 1969; TURGEON, 1985). Tensiômetros instalados próximos a superfície do solo permitem medir com precisão o potencial de água em profundidades tão rasas (5 cm) e podem beneficiar as pesquisas sobre necessidades hídricas de gramas (GAUSSOIN et al., 1990).

Em estudo realizado por Morgan et al. (1966) para determinar o efeito de alterações físicas do solo e da irrigação utilizando um calendário definido de irrigação e um guiado por leituras tensiômetro em grama Bermuda (*Cynodon dactylon*) demonstraram que apesar das irrigações com base em registros de tensiômetros terem sido mais intensas,

demonstraram vantagens em relação a programação com calendário definido, proporcionando economia de água, melhoria na aeração do solo, e redução na compactação do solo para os distintos tratamentos. Gerolineto (2008) adotando tratamentos semelhantes ao de Morgan et al., (1966) pode observar maiores médias de altura e matéria seca de parte aérea para o tratamento onde foi adotado o método do tensiômetro como instrumento de manejo da irrigação. Esses resultados vêm comprovar que os tensiômetros podem ser considerados eficientes instrumentos para o manejo de água no solo a fim de evitar estresse hídrico nas plantas, desperdício de água pela irrigação e permitir desenvolvimento mais adequado de gramas.

## **2.6 Efeitos da compactação do solo no desempenho das gramas**

Chancellor (1971) define a compactação do solo como sendo uma deformação física resultante do manejo. Essa deformação induz ao aumento da densidade do solo (CARVALHO, 1976; CHANASYK e NAETH, 1995; AZENEGASHE et. al., 1997) diminui a porosidade total influenciando na infiltração, no armazenamento e na drenagem da água, no movimento e a distribuição dos gases, e no crescimento das raízes (KAY e VANDENBYGAART, 2002) e causa alteração na distribuição do tamanho dos poros (WILLATT e PULLAR, 1983; DEXTER, 1988) e conseqüentemente das propriedades hidráulicas do solo (HORTON et. al., 1994).

O potencial produtivo da grama é determinado principalmente por fatores relacionados ao clima, ao solo e a espécie envolvida como já citado anteriormente e limitações relacionadas com o desenvolvimento da grama podem estar diretamente ligadas ao fator solo. Carrow (1980) avaliando as respostas morfológicas, fisiológicas e a tolerância de três espécies de gramas de clima frio a solos submetidos a tratamento de compactação com rolo compactador, pode observar essa redução na qualidade geral da grama para todos os parâmetros avaliados independentemente da espécie. Os resultados obtidos comprovam que o aumento da densidade do solo, interfere diretamente sobre o crescimento das plantas e que o crescimento torna-se limitado principalmente pela alteração nos espaços porosos do solo.

A restrição no nível de oxigênio ocasionada pela alteração nos espaços porosos do solo pode tornar limitante ao crescimento de raízes e seu funcionamento

(CARROW, 1981). O aumento da densidade do solo torna também na mineralização da matéria orgânica mais lenta e interfere na disponibilidade de nutrientes no solo e absorção desses nutrientes pelas plantas (ALVARENGA et al., 1996; COSTA, 1998; RIBEIRO, 1999).

Os solos devem possuir espaços porosos suficientes para permitir à movimentação de água e gases e resistência favorável a penetração de raízes (IMHOFF et al., 2000). De acordo com a USGA (1993), valores adequados de porosidade total, que permitam um crescimento e desenvolvimento adequado das gramas estão compreendidos entre 0,55-0,35 cm<sup>3</sup> de poros por metro cúbico por centímetro do solo, resultando em um intervalo de densidade de 1,19-1,72 g m<sup>-3</sup>. Brandy e Weil (1999) consideram intervalos ideais de densidade valores compreendidos entre 1,3 a 1,6 g cm<sup>-3</sup> sendo densidades superiores a 1,7 g cm<sup>-3</sup> restritivas crescimento vegetal. De acordo com Duple (2009) para a maioria dos sistemas grama recomenda-se uma densidade entre 1,4 e 1,6 gramas por centímetro cúbico.

Independente da distribuição espacial e do perfil, a compactação cria, portanto, um ambiente desfavorável para o crescimento das plantas. Tráfegos pesados freqüentemente causam danos significativos para as gramas no que diz respeito ao desgaste ou rompimento do sistema radicular dentro do solo molhado indicando aumento de danos na parte aérea dos gramados (ALI HARIVANDI, 2005). As principais conseqüências dos danos causados em gramas devido o adensamento do solo são: a redução na absorção de água e nutrientes pelas raízes, menor formação de perfilhos, rizomas, estolões e redução no desenvolvimento da parte aérea. Esse declínio no desenvolvimento da parte aérea favorece, portanto, o aumento na absorção de radiação solar pelo solo e elevação de sua temperatura, além de permitir a invasão de plantas daninhas, contribuindo, portanto para a deterioração do gramado (CARROW, 1981).

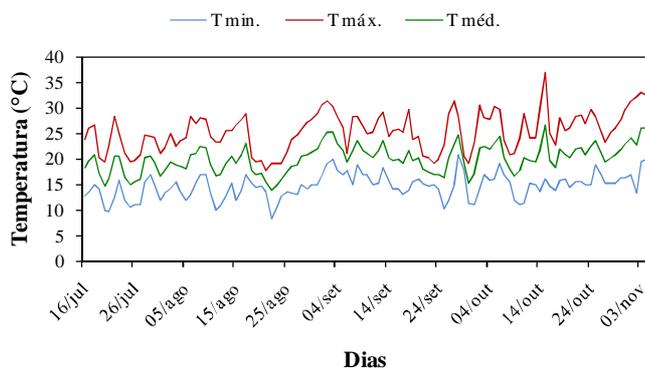
Além dos fatores já citados, Ali Havirandi (2005) ainda afirma que há desenvolvimento de raízes rasas (superficiais) e grossas, e que ocorre perda da cor verde da grama (sofre um amarelamento geral) devido à indisponibilidade de nitrogênio na forma adequada, entre outros elementos.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

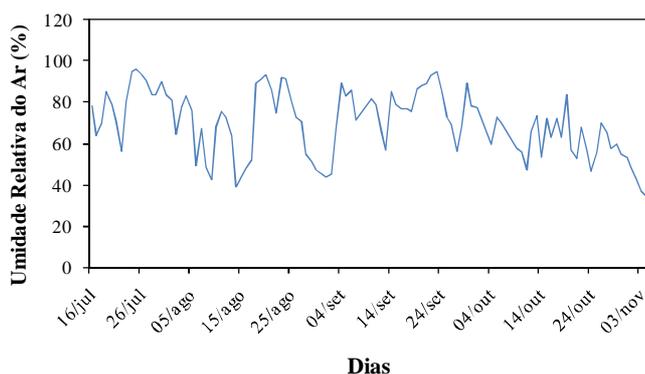
#### **3.1 Localização e caracterização das unidades experimentais**

O experimento foi realizado no período de julho a novembro de 2009 utilizando-se a gramínea *Zoysia japonica* Steud., conhecida comercialmente como grama Esmeralda, sendo instalado em casa de vegetação, pertencente ao Departamento de Recursos Naturais (Ciência Solo) da Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, município de Botucatu, SP, localizado entre os paralelos 22°30' a 23°05' de latitude sul e os meridianos 48°15' a 48°52' de longitude Oeste Greenwich, e altitude média de 830 metros (MOTA, 2007).

Os dados de temperatura media do ar (graus Celsius) e umidade relativa (%) do município de Botucatu, decorrentes do período de julho a novembro de 2009 e obtidos da Estação Agrometeorológica da Faculdade de Ciências Agrônomicas – UNESP, Campus Botucatu –SP encontram-se nas Figuras 1 e 2.



**Figura 1.** Temperaturas mínima, máxima e média do ar no município de Botucatu, referente ao período de julho a novembro de 2009.



**Figura 2.** Umidade relativa do ar (%) no município de Botucatu, referente ao período de julho a novembro de 2009.

### 3.2 Caracterizações física e química do solo

O solo utilizado no experimento foi classificado como Nitossolo Vermelho eutrófico. A determinação das características físicas foi realizada mediante coleta de cinco amostras provenientes da área denominada “Fazendinha” na Fazenda Experimental Lageado, da Faculdade de Ciências Agrônômicas. As amostras foram coletadas da camada de 0-30 cm, homogeneizadas, dando origem a uma amostra composta única e representativa. A análise física do solo foi realizada no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Recursos Naturais da Faculdade de Ciências Agrônômicas, onde foi realizada a determinação

da composição granulométrica do mesmo, de acordo com a metodologia da Embrapa (1997) e estão apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Textura do Nitossolo Vermelho eutrófico da área experimental “Fazendinha” na Fazenda Experimental Lageado - FCA/ Botucatu - SP

Camada cm	Areia	Argila	Silte	Classe Textural
	-----g kg <sup>-1</sup> -----			
0-30	110	541	349	Argiloso

Para obtenção da análise química do solo, foram realizados os mesmos procedimentos de coleta e amostragem descritos anteriormente. A análise química foi realizada no Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Recursos Naturais, determinando-se o pH (em CaCl<sub>2</sub>), matéria orgânica, H e Al<sup>+3</sup>, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup> e K<sup>+</sup>, P(resina), B, Zn, Mn, Cu e Fe segundo a metodologia adaptada de Raij et al. (2001). Os resultados são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Características químicas do Nitossolo Vermelho eutrófico da área experimental “Fazendinha” da Fazenda Experimental Lageado - FCA/ Botucatu – SP

Camada cm	pH	M.O.	P <sub>resina</sub>	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
	CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	-----mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						
0-30	5,9	28	17	25	2,2	53	28	83	108	77

Camada cm	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
	-----mg dm <sup>-3</sup> -----				
0-30	0,38	12,2	18	50,1	2,7

### 3.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos casualizados, organizados em esquema fatorial 5x4, sendo o primeiro fator compreendido por potenciais de água no solo (30, 40, 50, 60 e 70 kPa) e o segundo fator por níveis de densidade do solo (1,21; 1,39; 1,49; 1,54 g cm<sup>-3</sup>), com quatro repetições, totalizando 80 unidades experimentais (Figura 3).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo Teste F a 5% de probabilidade e, quando significativos, procedeu-se a análise de regressão, utilizando-se do programa estatístico “Sisvar”.

Levando-se em consideração a interação entre o potencial de água e da densidade do solo, os dados foram ajustados no programa estatístico “Sigma Plot” por meio de regressão não-linear utilizando-se o modelo Parabolóide com a equação  $f=y_0+ax+by+cx^2+dy^2$  e onde: (a), (b) e (c) são os parâmetros estimados, (f) representa o parâmetro avaliado, (x) as densidades do solo e (y) os potenciais de água no solo.



**Figura 3.** Vista geral das unidades experimentais em vasos com grama Esmeralda

### 3.4 Condução do experimento e análises realizadas

As unidades experimentais foram constituídas por recipientes adaptados a partir de galões de polietileno de alta densidade (PEAD), denominados “bombonas” e com capacidade volumétrica de 50 litros. A opção pelas “bombonas” deve-se ao fato das mesmas serem constituídas por um material resistente a pressão exercida pelo macaco hidráulico no processo de compactação. Para viabilizar a adaptação dos recipientes, os galões foram cortados ao meio e perfurados na extremidade inferior com a finalidade de permitir a drenagem da água aplicada no momento da irrigação.

### 3.4.1 Ensaio de compactação

Para determinação da umidade do solo, foi utilizado o método das pesagens (BERNADO et al., 2006). Obtendo-se respectivamente o teor de 30% de umidade a partir da Equação 1.

$$Up = \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_3} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

$Up$  = umidade em peso, (%)

$M_1$  = massa de solo úmido, (kg)

$M_2$  = massa de solo seco, (kg)

$M_3$  = massa da lata, (kg)

Os recipientes foram preenchidos com uma quantidade de 30kg de solo, sendo este previamente peneirado com auxílio de peneira de 2 mesh e posteriormente utilizado no preenchimento dos recipientes. O ensaio de compactação foi realizado com o auxílio de uma prensa hidráulica, em aço carbono, modelo ABNT 1040 pertencente ao Departamento de Engenharia Rural. Para compactação homogênea do solo dentro dos recipientes, foi adaptada uma chapa de 980 cm<sup>2</sup>, sendo esta posicionada sob o eixo central do macaco hidráulico no momento da compactação.

O solo utilizado para o preenchimento dos recipientes foi compactado em camadas constituídas por uma massa de 10 kg de solo. Para cada camada de solo distribuída no interior dos recipientes foi exercida uma mesma pressão previamente estabelecida, sendo estas: 1, 2 e 3 kg cm<sup>-2</sup>. Para efeito de comparação com os demais níveis de compactação foi utilizada uma condição de solo previamente peneirado, porém sem ser submetido ao processo de compactação.

O processo de compactação do solo procedeu-se com a deposição dos primeiros 10 kg de solo no recipiente, sendo este em seguida, submetido à compactação com auxílio da chapa. Após a compactação da primeira camada uma segunda camada de solo foi

deposta e realizado o mesmo procedimento. A compactação do solo dentro dos recipientes foi finalizada quando os últimos 10 kg de solo, necessários para completar o total de 30 kg em cada recipiente foi sobreposto a segunda camada e compactado. Para obtenção da densidade do solo nas distintas pressões de compactação, foram confeccionados três recipientes a mais de cada tratamento para posterior retirada de amostras com anéis volumétricos. Os valores de densidade de solo encontrados para as diferentes pressões exercidas são observados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Densidade média e porosidade do solo obtida nos recipientes que compuseram as unidades experimentais no ensaio de compactação.

Pressão kg cm <sup>-2</sup>	Densidade do solo kg dm <sup>-3</sup>	Porosidade (%)
0	1,21	57,94
1	1,39	51,68
2	1,49	48,21
3	1,54	46,47

### 3.4.2. Recomendação de adubação

As adubações foram realizadas de acordo com as recomendações de Godoy e Villas Boas (2008) e baseadas nos resultados obtidos a partir da análise química do solo.

No momento do plantio dos tapetes nos recipientes, a adubação foi efetuada mediante aplicação de 200 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e de 150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, sendo após quatro semanas feita a adubação nitrogenada de plantio aplicando-se 250 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de uréia.

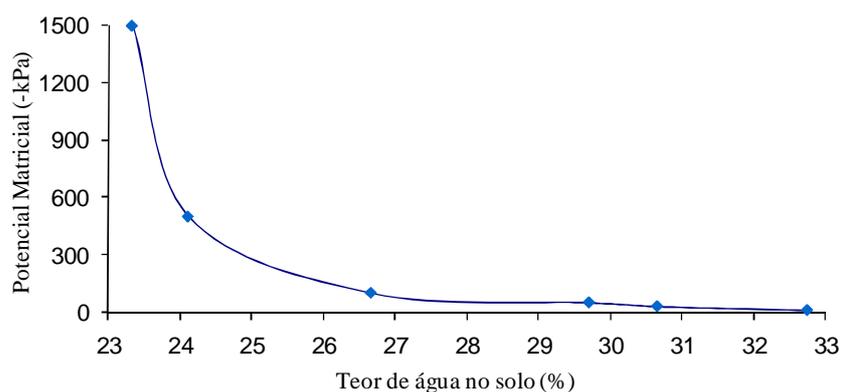
A adubação de plantio dos tratamentos submetidos à compactação foi realizada mediante a incorporação do fertilizante, a quantidade de um quilograma de solo em um recipiente separado sendo após esse procedimento, feita a distribuição desta mistura sobre as superfícies compactadas. Para os tratamentos onde não foi adotado o procedimento de compactação, a distribuição e a incorporação do fertilizante foi realizada sobre a superfície do solo.

Aos 45 e 75 dias após o estabelecimento da grama foi necessária uma adubação fosfatada de cobertura, com a aplicação de  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  devido o aparecimento de sintomas visuais de deficiência no gramado.

A adubação de cobertura foi feita mediante a aplicação de nitrogênio e de potássio, nas formas de uréia e de KCl respectivamente, sendo realizada aos 60 dias após o estabelecimento da grama, período que ocorreu o corte das aparas, por meio da solubilização dos fertilizantes junto à lâmina de água de irrigação diária aplicada aos tratamentos de irrigação.

### 3.4.3 Obtenção da curva característica de retenção de água no solo

A determinação da curva de retenção foi realizada pelo Laboratório de Relação Solo-Água-Planta, pertencente ao Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP – Botucatu/SP. A curva de retenção da água no solo foi obtida a partir de uma amostra deformada de solo, proveniente da camada de 0 - 30 cm e suas características determinadas conforme o método descrito por Camargo et al. (1986) e ajustadas pelo modelo proposto por Van Guenuchten (1980) (Figura 4).



**Figura 4.** Curva característica de retenção de água do Nitossolo Vermelho eutrófico da área experimental “Fazendinha” pertencente à Fazenda Experimental Lageado - FCA/ Botucatu - SP

### **3.4.4 Transplântio dos tapetes de grama**

Os tapetes de grama utilizados no experimento foram cedidos pela Empresa “Gramas Xavier”, localizada no município de Tatuí, SP.

O transplântio dos tapetes foi realizado no dia 16 de junho de 2009, um mês antes da instalação dos tensiômetros, com o objetivo de permitir o estabelecimento dos mesmos antes de iniciados os tratamentos de irrigação. Os tapetes foram cortados nas dimensões das áreas dos recipientes, aparados com tesoura de poda e posteriormente transplântados. Durante o período de implantação dos tapetes de grama, os recipientes foram mantidos na capacidade de campo para facilitar o enraizamento.

### **3.4.5 Manejo da irrigação**

O manejo de irrigação foi realizado com o auxílio de tensiômetros de punção de leitura direta instalados na região central dos recipientes, a uma profundidade de 10 cm (profundidade efetiva do sistema radicular da grama) em relação ao centro da cápsula porosa do tensiômetro.

A instalação dos tensiômetros foi feita com o auxílio de trado de rosca, com diâmetro semelhante ao dos tensiômetros permitindo uma boa fixação dos mesmos ao solo. Instalaram-se tensiômetros em todas as repetições dos tratamentos, compreendendo um total de 80 no experimento.

Um mês e meio após a instalação dos tensiômetros foi necessária a substituição de alguns desses, em especial aqueles utilizados nos tratamentos onde foram adotadas elevados potenciais de água no solo (70 kPa), por tensiômetros de maior capacidade de armazenamento interno de água. As leituras dos tensiômetros foram diárias com o auxílio de tensímetro analógico, e com o objetivo de obter o melhor controle de irrigação. O potencial de água no solo e a lâmina de irrigação aplicada por unidade experimental foram expressas pelas Equações 2, 3 e 4.

$$\Psi_m = \frac{-1016 \cdot \Psi_{lido} + (h_1 + h_2)}{10} \quad (2)$$

Onde:

$\Psi_m$  = Potencial de água no solo, (kPa);

$\Psi_{lido}$  = Potencial lido, (kPa);

$h_1$  = profundidade de instalação do tensiômetro, (cm);

$h_2$  = altura da coluna de água lida a partir do nível do solo, (cm);

-1016 e 10 = constantes necessárias para conversão de unidades.

$$Li = \frac{\theta_{cc} - \theta_a}{10} \cdot d \cdot Z \quad (3)$$

Onde:

$Li$  = lâmina líquida de irrigação, (mm);

$\theta_{cc}$  = umidade do solo na capacidade de campo, (% peso);

$\theta_a$  = umidade do solo no ponto A correspondente ao potencial referente ao momento de se efetuar a irrigação, (% peso);

$d$  = densidade do solo, ( $\text{g cm}^{-3}$ );

$Z$  = profundidade efetiva do sistema radicular, (cm).

10 = constante necessária para conversão de unidades

$$Li = Li_{calculada} \times A_{vaso} \quad (4)$$

Onde:

$Li$  = lâmina aplicada de irrigação por área, (mm);

$Li_{calculada}$  = lâmina líquida de irrigação, (mm);

$A_{(vaso)}$  = área do vaso, ( $\text{m}^2$ ).

### 3.5. Características avaliadas das plantas

#### 3.5.1 Taxa de cobertura verde do solo (TCV)

A avaliação de taxa de cobertura do solo pela grama (TCV) foi realizada quinzenalmente mediante análise de imagem digital, modificada de Richardson et al. (2001). As imagens foram registradas com o auxílio de uma câmera digital Sony DSC-P41, 4.1 mega pixels, posicionada de forma paralela e a 50 cm em relação à superfície da grama e gravadas no formato JPEG (“joint photographic experts group”, .jpg) com 1280 x 960 pixels, com 16 milhões de cores e resolução de 118 pixels cm<sup>-1</sup>. Posteriormente ao registro, as imagens foram descarregadas e armazenadas em computador para posterior análise.

As imagens obtidas foram editadas individualmente no programa “Paint” adquirindo dimensões 705 x 651 pixel de forma que, somente fosse mantida na foto a área ocupada pela grama, sendo descartada a imagem do recipiente onde o mesmo era cultivado. Em seguida, analisadas de acordo com a metodologia adotada por Godoy, (2005) com o uso do programa Corel Photo-Paint 12 (Corel Corporation 2003), que permite contar o número de pontos (pixels) de uma determinada cor ou determinados níveis de matiz, de saturação e de brilho existente na imagem pelo comando “máscara de cor” (Figura 5). Após a seleção da cor desejada (verde) no comando “máscara de cor” foi então obtido o número de pixels verdes pelo comando “histograma” e determinada a porcentagem do solo coberto pela grama por meio da Equação 5.



**Figura 5.** Análise da imagem digital para determinação da taxa de cobertura verde do solo (TCV).

$$TCV = \frac{n^{\circ} \text{ de pontos (pixels) verdes}}{n^{\circ} \text{ total de pontos da imagem}} \quad (5)$$

Onde:

TCV= Taxa de cobertura verde do solo

### 3.5.2 Acúmulo de matéria seca na parte aérea

O corte da grama foi realizado aos 45 e 90 dias após a instalação dos tensiômetros respectivamente. O acúmulo de matéria seca da parte aérea da grama foi determinado, mediante corte das aparas com o auxílio de tesoura manual simulando uma operação de poda a uma altura de aproximada de 1,0 cm. Posteriormente ao corte, as aparas de cada unidade experimental foram recolhidas individualmente com o auxílio de um aspirador de pó e acondicionadas em saco de papel identificado (Figura 6). As aparas coletadas foram então lavadas, acondicionadas em sacos identificados e secas em estufa de circulação forçada e renovação de ar por 72 horas a uma temperatura de 65°C. Após esse período foi feita a determinação da massa da matéria seca das amostras.



**Figura 6.** Corte da grama e recolhimento das aparas

### 3.5.3 Intensidade da cor verde das lâminas foliares

A avaliação visual da qualidade da grama (“turfgrass quality”), onde o fator coloração é avaliado de forma subjetiva com notas dadas, são frequentemente utilizadas em estudos sobre gramados, apesar de pouco precisas. Entretanto, avaliações a partir de

medições objetivas de cor, por meio de medidas de reflectância (relação entre fluxo de radiação incidente numa superfície e o fluxo que é refletido), onde as medições podem ser consideradas uma medida direta da cor do gramado e tem sido correlacionadas com a avaliação visual de cor e com a concentração de clorofila pode fornecer informações bastante precisas para os índices de cor verde do gramado.

Com o objetivo de descartar qualquer falha humana a título de avaliação visual de qualidade de cor foram utilizados no presente trabalho, dois métodos de determinação de cor verde da grama: clorofilômetros CM1000 e TCM 500 (Figura 7), ambos medidores de reflexão de luz que permitem a quantificação da cor do gramado.

O clorofilômetro CM 1000 é um medidor que quantifica a luz por meio de reflectância onde as leituras do equipamento baseiam-se na proporção de luz vermelha refletida em relação à luz vermelha distante. Uma vez que a molécula de clorofila absorve a luz vermelha, menos luz vermelha é detectada pelo medidor. Isso sugere que mais clorofila há na folha e, portanto, mais verde o gramado (maiores leituras estão associadas à maior intensidade de cor verde da grama).

O TCM 500 é um medidor que por meio de medidas baseadas em índices de reflectância proporcionados pela diferença entre raios vermelhos (associada à clorofila) e infra-vermelhos (associada a estrutura celular da folha, particularmente do mesofilo) permitem determinar os índices de clorofila nas folhas da grama.

Os índices de clorofila foram avaliados quinzenalmente, com auxílio dos respectivos clorofilômetros da Field Scout. As leituras foram obtidas por três acionamentos sucessivos do leitor. A partir das leituras individuais, provenientes de cada acionamento do equipamento, foi obtido um valor médio, fornecido diretamente pelo CM1000 e pelo comando “Mode” do aparelho TCM 500. Os valores médios obtidos foram utilizados para avaliação dos índices de clorofila de cada unidade experimental.

As leituras do clorofilômetro CM1000 foram feitas com o equipamento posicionado a um metro de altura e paralelamente a grama. Em relação ao equipamento TCM500 as leituras eram feitas com o contato do leitor com o grama. Os dados Avg, Brt do CM1000 e Avg, Brt, % color (R,B,G) e Avg (R,B,G) do TCM 500, foram coletados e anotados em planilha para posterior avaliação.



**Figura 7.** Clorofilômetros CM 1000 e TCM 500 da Fieldsout utilizados para determinação dos índices de clorofila.

### 3.5.4 Concentração de macronutrientes nas lâminas foliares

A determinação da concentração de macronutrientes das lâminas foliares ocorreu a partir das aparas, provenientes dos cortes realizados aos 45 e 90 após o estabelecimento da grama. Posteriormente ao corte, às lâminas foliares foram lavadas em água deionizada, acondicionadas em sacos de papel e colocadas para secagem em estufa de circulação forçada e renovação de ar por 72 horas a uma temperatura de 65°C. Depois de secas, as lâminas foram moídas e encaminhadas para o Laboratório de Nutrição de Plantas do Departamento de Recursos Naturais da FCA/ UNESP- Botucatu para determinação da concentração de macronutrientes de acordo com a metodologia modificada de Malavolta et al. (1997).

### 3.5.5 Acúmulo de matéria seca nas raízes

A determinação da matéria seca das raízes foi feita mediante coleta de duas amostras do perfil de solo do vaso. Para que estas amostras fossem retiradas dos recipientes, foram confeccionados e utilizados anéis volumétricos de inox de 27 cm de altura e 6 cm de diâmetro.

A coleta e a remoção da amostra de solo foi realizada mediante inserção do anel no perfil do solo por meio de impacto do mesmo com auxílio de uma marreta.

Após a coleta da amostra, a massa de solo, de raiz e de parte aérea removida foi então acondicionada individualmente em saco plástico identificado e guardadas em geladeira para evitar a perda excessiva de umidade, até que fosse realizada a lavagem das mesmas.

As amostras foram lavadas em água deionizada com auxílio de peneira de 0,05 mesh para remoção do solo aderido as raízes e para evitar que as mesmas fossem perdidas junto à água (Figura 8).



**Figura 8.** Lavagem e separação das raízes provenientes das amostras de grama coletadas.

Posteriormente a lavagem as raízes foram acondicionadas em saco de papel identificados e levadas para secagem em estufa de circulação forçada e renovação de ar por 72 horas, na temperatura de 65°C. Após a secagem o material foi pesado para determinação da fitomassa seca, para posterior avaliação dos resultados.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Taxa de cobertura verde do solo (TCV)

A Tabela 4 apresenta o resumo da análise de variância referente à taxa de cobertura verde do solo pela grama (TCV) (Figura 9) em função do potencial de água no solo e da densidade do solo.

**Tabela 4.** Resumo da análise de variância referente à taxa de cobertura verde do solo pela grama Esmeralda em função dos potenciais de água e densidades do solo.

Causa da variação	G.L.	Taxa de Cobertura Verde do Solo pela grama Esmeralda			
		Época de avaliação			
		45 dias	60 dias	75 dias	90 dias
		TCV <sub>1</sub>	TCV <sub>2</sub>	TCV <sub>3</sub>	TCV <sub>4</sub>
		----- Quadrado médio (significância) -----			
Densidade (D <sub>s</sub> )	3	866,61**	6476,76**	2331,53**	3003,83**
Potencial ( $\Psi$ )	4	430,02**	2387,02**	1270,89**	1551,97**
D <sub>s</sub> x $\Psi$	12	180,62**	467,23**	137,51 ns	124,06 ns
Bloco	3	30,78 ns	345,60*	109,19 ns	245,81 ns
Erro	57	20,85	108,60	129,09	123,64
Total	79				
C.V.(%)		5,07	13,10	13,65	13,83
Média		90,14	79,42	83,25	80,22

ns, \*, \*\* - não significativo, significativo a 5 e 1% pelo teste F

TCV - Taxa de cobertura verde do solo

		<b>Taxa de cobertura verde do solo</b>				
<b>Densidade do solo</b>		<b>45 DAT</b>				
<b>(kg dm<sup>-3</sup>)</b>		<b>Potencial de água no solo</b>				
		30	40	50	60	70
1,21						
1,39						
1,49						
1,54						
		<b>60 DAT</b>				
		30	40	50	60	70
1,21						
1,39						
1,49						
1,54						

Continua...

Densidade do solo (kg dm <sup>-3</sup> )	75 DAT				
	Potencial de água no solo				
	30	40	50	60	70
1,21					
1,39					
1,49					
1,54					
	90 DAT				
	30	40	50	60	70
1,21					
1,39					
1,49					
1,54					

**Figura 9.** Imagem digital da taxa de cobertura verde do solo pela grama Esmeralda (*Zoysia japonica*) em função dos potenciais de água no solo e densidades do solo.

Nota-se que aos 45 e 60 dias, a TCV foi influenciada significativamente pela interação dos potenciais de água e das densidades do solo (Figura 10), sendo aos 75 e 90 dias, observado efeito isolado das causas de variação.

Incrementos na densidade do solo e o aumento na disponibilidade de água, proporcionados pelos baixos potenciais de água, favoreceram a manutenção da cobertura

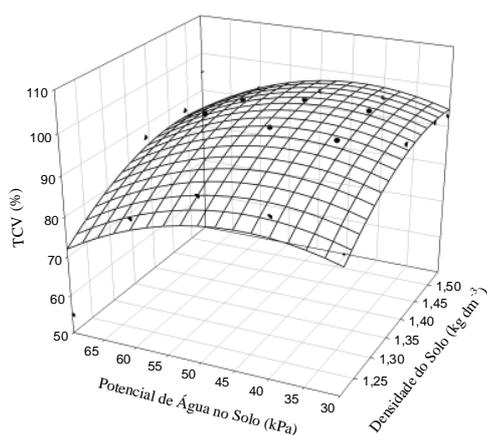
verde pela grama, sendo a maior porcentagem observada para a densidade do solo de  $1,45 \text{ g cm}^{-3}$  e pelo potencial de água 45 kPa, tanto aos 45 como aos 60 dias.

Solos com baixa densidade, independente do potencial de água considerado, mostraram-se pouco favoráveis a manutenção da cobertura verde da grama, sendo, portanto, inadequados para o desenvolvimento da mesma. Os resultados encontrados podem ser justificados ao analisarem-se os estudos de Bandy e Weil (1999) que consideram intervalos ideais de densidade, para o adequado desenvolvimento da grama, valores compreendidos entre  $1,3$  a  $1,6 \text{ g cm}^{-3}$ .

$$f = -358,82 + 570,77x + 1,64y - 193,26x^2 - 0,018y^2$$

$$r^2 = 0,65$$

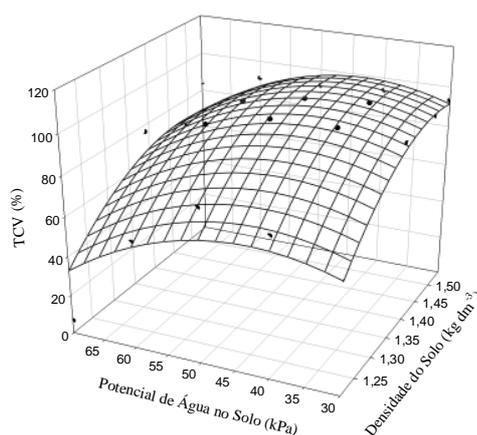
45 dias



$$f = -777,83 + 1106,77x + 2,39y - 372,36x^2 - 0,027y^2$$

$$r^2 = 0,84$$

60 dias

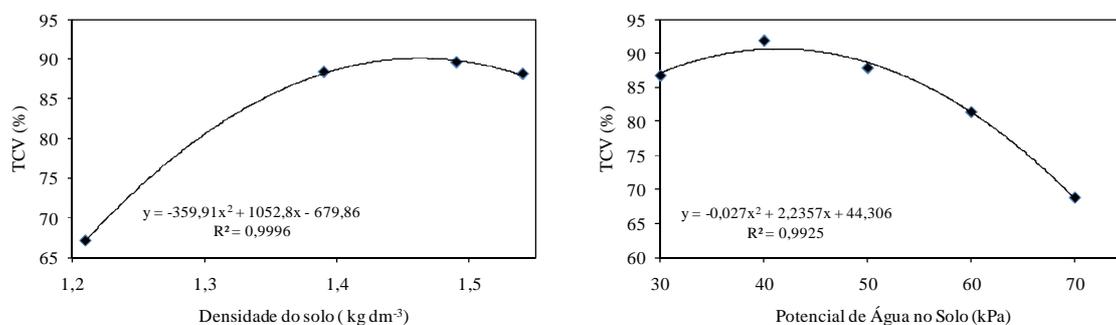


**Figura 10.** Efeito dos potenciais de água e das densidades do solo sobre a taxa de cobertura verde do solo (TCV) proporcionada pela grama Esmeralda aos 45 e 60 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.

Verifica-se que potenciais de água maiores que 45 kPa, independente da densidade do solo estudada, contribuíram para a redução da porcentagem de cobertura verde, sendo esta diminuição principalmente observada em relação aos tratamentos onde não foi adotado o manejo da compactação. Assim, os resultados obtidos demonstram que, a compactação, ao interferir diretamente sobre a retenção de água no solo, contribuiu para a manutenção da porcentagem de cobertura verde.

Como observado neste experimento, Boufford e Carrow (1980) notaram também que solos compactados quando submetidos a condições de baixa ou elevada umidade, tornaram-se desfavoráveis a manutenção da qualidade visual da grama.

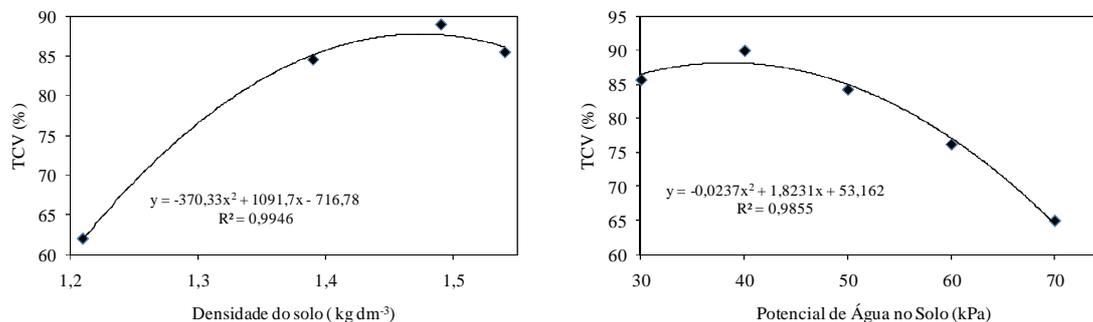
Apesar do efeito isolado das causas de variação, possivelmente causado pela variação de temperatura no interior da estufa de cultivo, nota-se novamente aos 75 dias que solos de maior densidade proporcionaram incrementos na cobertura verde da grama, sendo a maior porcentagem observada (89,42%), para a densidade de  $1,46 \text{ g cm}^{-3}$ . (Figura 11). Nota-se também, que potenciais de água superiores a 41 kPa tornaram-se desfavoráveis na manutenção da cobertura verde do solo pela grama.



**Figura 11.** Efeito isolado das causas de variação, densidades do solo e dos potenciais de água sobre a taxa de cobertura verde do solo (TCV) proporcionado pela grama Esmeralda aos 75 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.

Efeito significativo da densidade do solo foi observado novamente aos 90 dias para a taxa de cobertura verde. Observa-se um comportamento quadrático dos dados em relação à densidade do solo, sendo a maior porcentagem de cobertura verde, 87,77% obtida em relação à densidade  $1,47 \text{ g cm}^{-3}$ .

Efeito quadrático em relação ao potencial de água no solo para a TCV(%) também foi notado, sendo o ponto de inflexão atingido pelo potencial de 45 kPa (Figura 12).



**Figura 12.** Efeito isolado das causas de variação, densidades do solo e dos potenciais de água sobre a taxa de cobertura verde do solo (TCV) proporcionado pela grama Esmeralda aos 90 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.

## 4.2 Acúmulo de matéria seca na parte aérea e nas raízes da grama Esmeralda

### 4.2.1 Acúmulo de matéria seca na parte aérea

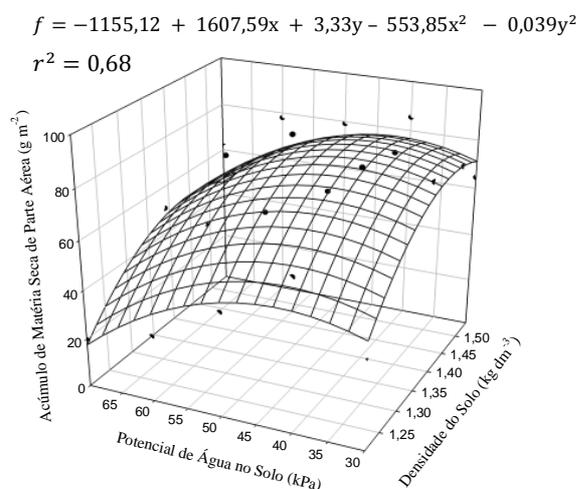
Aos 45 dias após a implantação da grama, o acúmulo de matéria seca da parte aérea da grama Esmeralda foi influenciado pela interação dos fatores potenciais de água no solo e densidades do solo. A análise de variância encontra-se na Tabela 5 e expressa os efeitos dessa interação.

O modelo Parabolóide permitiu melhor explicar o acúmulo de matéria seca em relação ao primeiro corte da grama (Figura 13). Verifica-se que a redução do potencial de água e o aumento da densidade do solo foram favoráveis ao acúmulo de matéria seca da grama Esmeralda, sendo o maior incremento obtido com potenciais de água compreendidos entre 40 e 45 kPa. Em estudo conduzido por Gerolineto (2008) em área de produção de tapetes de grama demonstram que o potencial de água crítico 50kPa expressou melhores resultados para acúmulo de matéria, entretanto, os mesmos diferiram dos encontrados neste experimento. No entanto, Morgan et al. (1966) ao compararem o desempenho de gramas cultivadas em solos compactados e não compactados, submetidos ao manejo de irrigação baseados em tensiometria (30 e 40 kPa) e num programa definido de irrigação verificaram que o regime de irrigação baseado em tensiometria não proporcionou os melhores resultados para o acúmulo de matéria seca na parte aérea da grama.

**Tabela 5.** Resumo da análise de variância referente ao acúmulo de matéria seca da parte aérea e das raízes de grama Esmeralda em função dos potenciais de água no solo e densidades do solo.

Causa de variação	G.L.	Acúmulo de Matéria Seca		
		Época de avaliação		
		45 dias	90 dias	
		Parte aérea	Parte aérea	Raiz
----- Quadrado médio (significância) -----				
Densidade (Ds)	3	6533,08**	4212,63**	50186,84**
Potencial ( $\Psi$ )	4	2711,35**	2410,54**	5735,78**
Ds x $\Psi$	12	367,80*	241,67 ns	5595,42**
Bloco	3	858,73**	457,89*	1077,72 ns
Erro	57	169,75	143,80	921,25
Total	79			
C.V. (%)		21,44	17,01	12,12
Média		60,78	70,50	250,38

ns, \*, \*\* - não significativo, significativo a 5 e 1% pelo teste F



**Figura 13.** Efeito dos potenciais de água e das densidades do solo sobre o acúmulo de matéria seca na parte aérea da grama Esmeralda aos 45 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.

Independentemente da densidade do solo considerada, o potencial de água de 30 kPa não expressou os melhores resultados para o acúmulo de matéria seca da parte aérea da grama. Isso comprova que gramas, diferentemente de outras culturas, não expressam

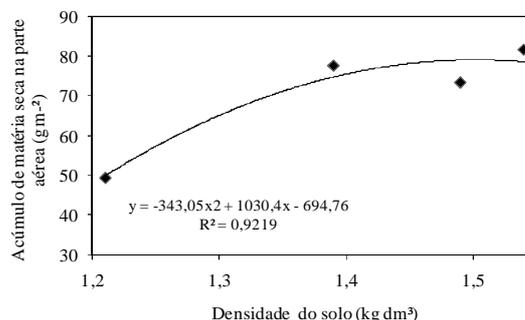
seu melhor desempenho numa condição ótima de disponibilidade de água no solo. O mesmo pode ser notado para solos de baixa densidade, como observado em relação à densidade de  $1,21 \text{ kg dm}^{-3}$ .

Os resultados encontrados estão de acordo com as afirmações de Bandy e Weil (1999) como já citada anteriormente, onde afirmam que solos com densidades compreendidas entre  $1,3$  a  $1,6 \text{ g cm}^{-3}$  são ideais ao desenvolvimento de gramas. Isso demonstra que, para o adequado crescimento dos gramas é necessário, portanto, que exista um maior contato entre o sistema radicular e o sistema solo-água. Entretanto, Morgan et al. (1966) ao estudarem o desenvolvimento da grama Bermuda, notaram que solos não compactados foram mais favoráveis o desenvolvimento e acúmulo de matéria seca no grama do que solos compactados.

Para todas as densidades do solo consideradas, potenciais de água superiores a  $45 \text{ kPa}$  mostraram-se desfavoráveis ao acúmulo de matéria seca na grama. Os resultados encontrados demonstram que os maiores intervalos entre as irrigações, proporcionados pelos altos potenciais de água no solo, levaram a redução do conteúdo de água disponível no solo em detrimento ao conteúdo de ar.

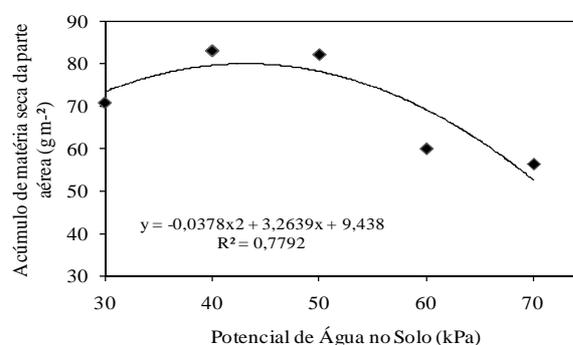
Aos 90 dias, o acúmulo de matéria seca na parte aérea foi influenciado de forma isolada pelas causas de variação potencial de água no solo e densidade do solo. O modelo polinomial quadrático explica os resultados encontrados para as duas causas de variação.

Assim como observado para o primeiro corte, baixos acúmulos de matéria seca da parte aérea também foram observados aos 90 dias quando a grama foi submetida ao desenvolvimento em solos de baixas densidades ( $1,21 \text{ kg dm}^{-3}$ ). Assim, incrementos na densidade do solo mostraram-se favoráveis aos incrementos no conteúdo de matéria seca da grama, sendo a maior média obtida,  $79,07 \text{ g m}^{-2}$ , em relação à densidade  $1,50 \text{ kg dm}^{-3}$  (Figura 14).



**Figura 14.** Efeito das densidades do solo sobre o acúmulo de matéria seca na parte aérea da grama Esmeralda 90 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.

Efeito significativo do potencial de água no solo também foi observado para o acúmulo de matéria seca de parte aérea aos 90 dias. A Figura 15 demonstra que, potenciais de água superiores a 43 kPa forma desfavoráveis a produção de matéria seca da parte aérea da grama Esmeralda, fato este que pode estar atribuído principalmente ao déficit hídrico proporcionado pelos intervalos entre as irrigações.



**Figura 15.** Efeito dos potenciais de água sobre o acúmulo de matéria seca na parte aérea da grama Esmeralda aos 90 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.

Assim como observado aos 45 dias, potenciais de água de 30 kPa (capacidade de campo) não expressaram os melhores resultados para o acúmulo de matéria seca no grama como esperado. Da Costa e Huang (2005) ao avaliarem o desempenho de Bentgrasses em função de lâminas de água baseadas na evapotranspiração de referência notaram que parcelas irrigadas com 100% Eto mostraram declínio de qualidade em relação aquelas onde o manejo foi baseado em 80 e 60% da Eto. Silva (2004) afirma que aplicações de

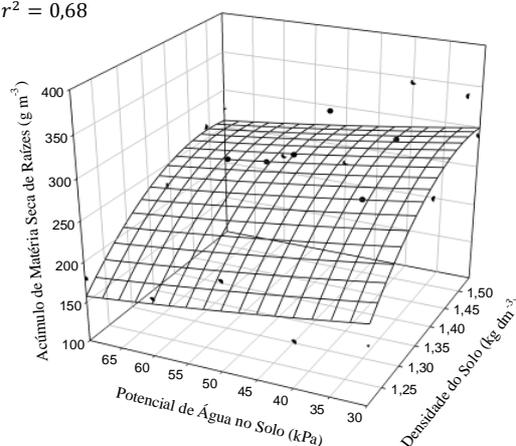
lâminas de 80% foram suficientes para garantir uma boa produção de matéria seca na grama Esmeralda. Conseqüentemente, resultados encontrados neste experimento e por outros autores, explicam a melhor produção de matéria seca da grama quanto estes foram submetidos ao cultivo em solos que apresentavam disponibilidade de água um pouco abaixo da capacidade de campo.

#### 4.2.2 Acúmulo de matéria seca nas raízes

A interação entre os fatores potenciais de água e densidades do solo influenciaram significativamente sobre o acúmulo de matéria seca nas raízes da grama Esmeralda (Figura 16). A análise de variância encontrada na Tabela 5 expressa o efeito das causas de variação em relação ao acúmulo de matéria seca nas raízes.

$$f = -2490,72 + 3789,17x - 1,5676y - 1266,1x^2 + 0,0054y^2$$

$$r^2 = 0,68$$



**Figura 16.** Efeito dos potenciais de água e das densidades do solo sobre o acúmulo de matéria seca nas raízes da grama Esmeralda aos 45 dias após iniciados os tratamentos de irrigação.

Incrementos na densidade do solo associados à redução do potencial de água no solo (30kPa) favoreceram o acúmulo de matéria seca nas raízes. Os resultados encontrados demonstram que o aumento da disponibilidade de água no solo, ao reduzir a resistência à penetração das raízes, favoreceu o desenvolvimento das mesmas. Entretanto, O'Neil e Carrow (1982) afirmam que aplicações freqüentes de água ao reduzir o conteúdo de

ar do solo criam um ambiente pouco favorável ao crescimento de raízes. Boufford e Carrow (1980) ao estudarem o efeito da intensidade e duração do tráfego sob as propriedades físicas do solo e desenvolvimento de Tall fescue, verificaram declínio na densidade de raízes em condições de cultivo onde o solo sofria maior intensidade de tráfego. Da mesma maneira, Thurman e Pokorny (1969) notaram redução no comprimento e no peso seco das raízes da grama Bermuda quando estas eram cultivadas em solo de maior densidade.

### 4.3 Concentração de macronutrientes nas lâminas foliares

A Tabela 6 representa os resultados da análise de variância referente as concentrações de N,P e K nas lâminas foliares da grama Esmeralda.

Efeito isolado dos potenciais de água e densidades do solo foi observado para a causa de variação concentração de nutrientes aos 45 dias, sendo somente notado efeito significativo para a interação em relação à concentração de fósforo aos 90 dias.

**Tabela 6.** Resumo da análise de variância referente às concentrações de N, P e K nas lâminas foliares da grama Esmeralda em função dos potenciais de água e densidades do solo aos 45 e 90 dias.

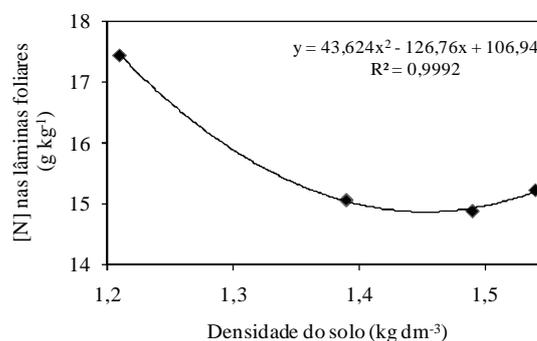
Causa de variação	G.L.	Concentração de nutriente na lâmina foliar					
		Época de avaliação					
		45 dias			90 dias		
		N	P	K	N	P	K
		-----Quadrado médio (significância)-----					
Densidade (Ds)	3	8,06 ns	3,18**	41,26**	28,71**	1,78**	22,37**
Potencial ( $\Psi$ )	4	9,15 ns	0,198 ns	15,02*	3,48 ns	0,846**	11,07**
Ds x $\Psi$	12	6,98 ns	0,107ns	8,69 ns	3,07 ns	0,229**	3,93ns
Bloco	3	22,94 **	0,466**	14,60*	21,99**	0,305*	21,89**
Erro	57	5,29	0,085	4,59	3,85	0,089	2,09
Total	79						
CV%		13,07	11,62	14,6	12,54	15,01	12,94
Média		17,61	2,52	14,66	15,65	1,99	11,16

ns, \*, \*\* - não significativo, significativo a 5 e 1% pelo teste F

### 4.3.1 Concentração de N nas lâminas foliares

Não foi observado efeito significativo das causas de variação em relação ao acúmulo de N nas lâminas foliares aos 45 dias após iniciado os tratamentos de irrigação. As concentrações de N encontradas nas lâminas foliares da grama Esmeralda (15 a 20 g kg<sup>-1</sup>) mostraram-se inferiores as recomendações de Mills e Jones (1996), que consideram como valores ideais aqueles compreendidos entre 20 e 24 g kg<sup>-1</sup>, entretanto, encontram-se dentro da faixa como considerada ideal (14 a 25 g kg<sup>-1</sup>) por Godoy e Villas Boas (2010) e aquelas encontradas por Piedade (2004) (17 a 21 g kg<sup>-1</sup>).

Interação significativa entre a concentração de N nas lâminas foliares e as densidades do solo foi verificada aos 90 dias após o estabelecimento da grama. Observou-se uma relação quadrática da concentração de N em relação à densidade do solo. A Figura 17 representa o respectivo modelo de regressão onde os maiores incrementos na concentração de N nas lâminas foliares da grama Esmeralda foram observados em relação aqueles tratamentos onde não foi adotado o manejo da compactação. Solos não submetidos ao tratamento de compactação favoreceram a absorção do N pela grama, ao proporcionarem maior disponibilidade de água e oxigênio em relação aos solos mais adensados. Apesar o N ser absorvido juntamente a água, o adensamento por reduzir o conteúdo de oxigênio do solo, favorece o processo biológico de desnitrificação, no qual o N reativo retorna a atmosfera na forma de N<sub>2</sub> e onde do ponto de vista agrícola representa perda do nutriente (NOVAIS et al., 2007).



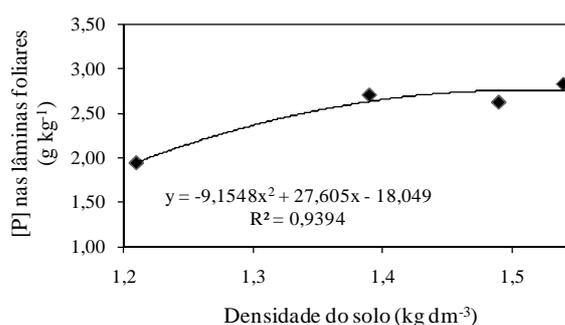
**Figura 17.** Efeito das densidades do solo sobre a concentração de N nas lâminas foliares da grama Esmeralda aos 90 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.

As concentrações de N observadas (13 a 18 g kg<sup>-1</sup>) e referentes ao segundo corte da grama apesar de inferiores as encontradas aos 45 dias, foram semelhantes às obtidas por Piedade (2004), (17 a 21 g kg<sup>-1</sup>) em experimento com utilização de águas residuárias e por Godoy e Villas Boas (2010) (14 a 25 g kg<sup>-1</sup>) em experimentos com adubação para produção de tapetes. A redução na concentração de N observada aos 90 dias pode ter ocorrido devido o maior período entre a aplicação do fertilizante e o corte da grama, proporcionando com isso a redução na concentração do nutriente nas folhas em detrimento do crescimento da parte aérea do gramado.

#### 4.3.2 Concentração de P nas lâminas foliares

As concentrações de P foram influenciadas significativamente pelo fator densidade do solo aos 45 dias após iniciados os tratamentos de irrigação. Os resultados obtidos melhor se ajustaram ao modelo quadrático.

Incrementos nas concentrações de P foram proporcionadas com o aumento da densidade do solo, sendo a maior concentração deste nutriente (2,76 g kg<sup>-1</sup>) obtida em relação à densidade do solo de 1,51 kg dm<sup>-3</sup> (Figura 18).



**Figura 18.** Efeito das densidades do solo sobre a concentração de P nas lâminas foliares da grama Esmeralda aos 45 dias após o iniciado os tratamentos de irrigação.

As maiores concentrações de P encontradas nas lâminas foliares da grama Esmeralda proporcionadas pelos solos de maior densidade podem estar atribuídas principalmente ao maior contato entre o P lábil (dissolvido na solução do solo) e a raiz. Como

a maior parte do P do solo se move até as raízes da planta por difusão, quanto mais próximo o elemento se encontra das raízes, mais facilitada é sua absorção (GRANT et al., 2001).

De acordo com Wild (1981) o aumento da densidade do solo, ao elevar o gradiente de concentração do elemento P na água disponível às plantas, provoca o movimento do íon em direção ao ponto de absorção.

Entretanto, Novais e Smyth (1999) afirmaram que o aumento da densidade do solo dificulta a absorção do fósforo por difusão uma vez que a compactação, por aumentar a energia de retenção de água, aumenta a retenção do íon a superfície do colóide ao longo da trajetória de difusão e faz com que o fosfato se difunda cada vez mais próximo da superfície positivamente carregada que o adsorve.

No entanto devido o fato de nos solos mais densos terem sido aplicadas maiores lâminas de água e devido a sua maior capacidade retenção dessa água podem ter favorecido a absorção do elemento fósforo pela grama por processo de fluxo de massa uma vez que o mesmo depende de uma diferença de potencial entre o solo e a planta para que ocorra.

As concentrações de P encontradas nas lâminas foliares da grama Esmeralda (1,4 a 1,9 g kg<sup>-1</sup>) assemelharam-se aos valores encontrados por Godoy (2005), (1,7 a 2,0 g kg<sup>-1</sup>) e aqueles recomendados por Godoy e Villas Boas (2010) (1,7 a 2,0 g kg<sup>-1</sup>) porém encontram-se abaixo da faixa considerada como ideal (2,0 a 2,4 g kg<sup>-1</sup>) por Mills e Jones (1996).

Os fatores potenciais de água e densidades do solo influenciaram sobre as concentrações de P nas lâminas foliares aos 90 dias. O modelo Parabolóide, expresso pelo gráfico de superfície, permitiu explicar o resultado encontrado (Figura 19).

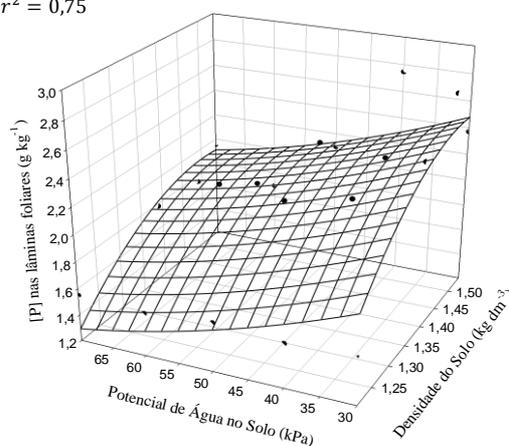
Nota-se que potencial de água de 30 kPa juntamente com o incremento da densidade do solo favoreceu a nutrição da grama pelo P. Em contrapartida o aumento do potencial de água no solo mostrou-se desfavorável ao acúmulo de P nas lâminas foliares da grama em todas as densidades consideradas, sendo os piores resultados encontrados para aqueles tratamentos onde não foi adotado o manejo da compactação.

A maior disponibilidade de água no solo, proporcionada pelos baixos potenciais de água, associado ao incremento da densidade do solo, ao favorecer o contato entre a solução do solo e as raízes pode ter facilitado os processos de difusão do P até as raízes,

porém deve-se considerar também que o aumento do gradiente de potencial do solo em relação ao potencial da raiz pode ter favorecido o fluxo de massa do elemento P até as raízes, beneficiando a absorção pela grama. Outra hipótese que pode ser considerada é a de que devido a maior massa de raízes encontrada naqueles tratamentos onde adotou-se o manejo da compactação, pode ter favorecido a nutrição da grama em decorrência da maior área explorada de solo pelas mesmas.

$$f = -12,755 + 21,2063x - 0,00289y - 7,029x^2 + 0,0002y^2$$

$$r^2 = 0,75$$



**Figura 19.** Efeito dos potenciais de água e das densidades do solo sobre a concentração de P nas lâminas foliares da grama Esmeralda aos 90 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.

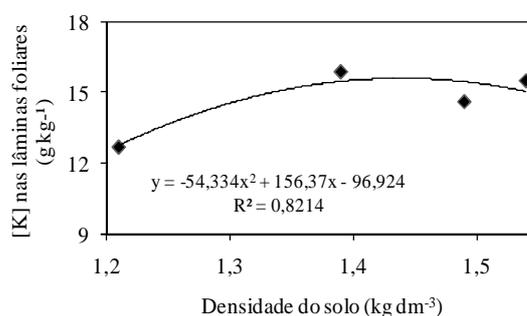
Os resultados encontrados neste experimento corroboram com os obtidos por Medeiros (2005), ao estudar os efeitos da compactação do solo e do manejo de água sobre a absorção de N, P, K por plantas de arroz, onde observa que a disponibilidade de água no solo teve maior influencia sobre essa absorção de N, P, K do que a compactação e onde afirma que solos saturados favoreceram a absorção de P e K o desenvolvimento radicular e a produtividade de massa seca da parte aérea.

As concentrações de P obtida aos 90 dias ( $1,5$  a  $2,5 \text{ g kg}^{-1}$ ) assemelham-se aos resultados encontrados de Piedade (2004) que obteve teores aproximados de  $2 \text{ g kg}^{-1}$  de P para a grama Esmeralda e novamente as de Godoy (2005) e por Godoy e Villas Boas (2010) ( $1,7$  a  $2,0 \text{ g kg}^{-1}$ ).

### 4.3.3 Concentração de K nas lâminas foliares

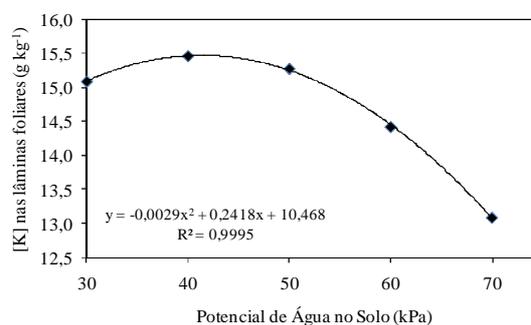
A concentração de K na lâmina foliar foi influenciada de forma isolada pelas causas de variação potencial de água no solo e densidade do solo aos 45 dias após o estabelecimento da grama. Nota-se que incrementos na densidade do solo favoreceram o acúmulo desse nutriente nas lâminas foliares, sendo a máxima concentração encontrada de  $15,58 \text{ g kg}^{-1}$ , obtida para a densidade do solo  $1,44 \text{ kg dm}^{-3}$  (Figura 20).

O potássio assim como o fósforo é transportado por difusão e fluxo de massa até a zona das raízes. Portanto, as alterações de densidade do solo por afetarem a retenção de água no solo e ao reduzir do comprimento do caminho da difusão do elemento, favoreceram a absorção do mesmo.



**Figura 20.** Efeito das densidades do solo sobre a concentração de K nas lâminas foliares da grama Esmeralda aos 45 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.

A maior concentração de K, ( $15,51 \text{ g kg}^{-1}$ ), foi obtida para o potencial de água no solo, 42 kPa. Potenciais de água superiores a 42 kPa mostraram-se desfavoráveis a absorção de K pelas plantas (Figura 21).



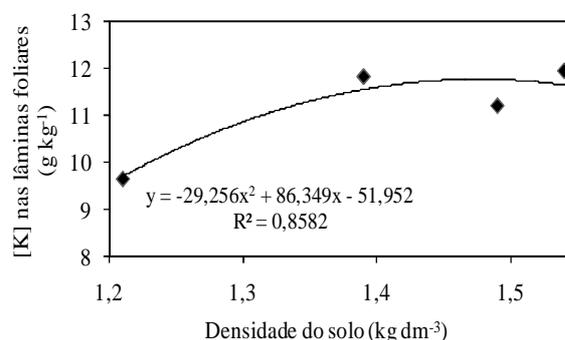
**Figura 21.** Efeito dos potenciais de água sobre a concentração de K nas lâminas foliares da grama Esmeralda aos 45 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.

Assim como o elemento P, a absorção de K pelas plantas depende principalmente da difusão do elemento através da solução do solo e do fluxo de massa que depende da concentração do elemento na solução do solo. Portanto, o maior potencial de água, ao proporcionar uma maior disponibilidade de água às plantas, bem como o aumento na concentração do elemento na solução do solo, uma vez que o fertilizante foi solubilizado junto a água de irrigação, podem ter favorecido a absorção do K pelo grama.

Os resultados obtidos corroboram com aqueles observados por Costa et al. (2009), ao afirmar que o fluxo difusivo do K é aumentado com a elevação do conteúdo de água tanto em solos não compactados como compactados, uma vez que a elevação desse conteúdo, por reduzir a tortuosidade do caminho da difusão e ao aumentar a espessura do filme de água no interior dos poros, influencia na distribuição de íons entre as fases sólida e líquida do solo.

A concentração média de K encontrada para todos os tratamentos variou de 8,9 a 17,8 g kg<sup>-1</sup>, ficando dentro da faixa considerada como ideal pela Universidade de Clensom (12 a 20 g kg<sup>-1</sup>) e assemelhando-se aos valores obtidos por Godoy (2005) em seus tratamentos de adubação (13 a 15 g kg<sup>-1</sup>) aqueles considerados como adequados para grama Esmeralda de acordo com Godoy e Villas Boas (2010) (11 a 15 g kg<sup>-1</sup>).

Assim como notado aos 45 dias, a concentração de K na lâmina foliar foi influenciada de forma isolada pelas causas de variação potencial de água no solo e densidade do solo aos 90 dias (Figura 22).

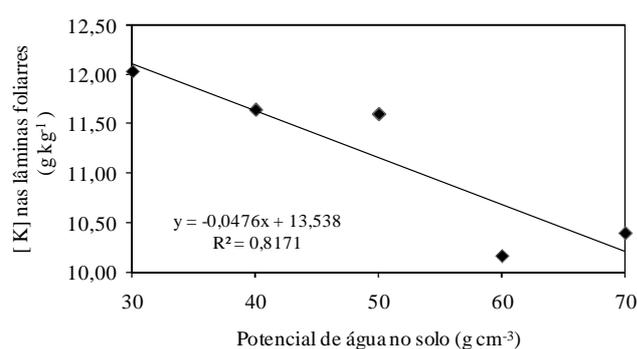


**Figura 22.** Efeito das densidades do solo sobre a concentração de K nas lâminas foliares da grama Esmeralda aos 90 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.

A maior concentração de K nas lâminas foliares foi promovida pelas mais elevadas densidades do solo, sendo a máxima concentração encontrada ( $11,76 \text{ g kg}^{-1}$ ) em relação à densidade do solo  $1,47 \text{ g cm}^{-3}$ , ficando próximo aos valores mínimos encontrados e considerados como ideais por Godoy e Villas Boas (2010) (11 a  $15 \text{ g kg}^{-1}$ ).

Segundo Oliveira et al. (1998), o aumento da densidade do solo ao favorecer a aproximação entre as partículas do solo e as raízes, aumentando a continuidade do filme de água, diminui a distância que o íon deve percorrer até alcançar a raiz.

A concentração de K na lâmina foliar também foi influenciada pelo potencial de água no solo (Figura 23).



**Figura 23.** Efeito dos potenciais de água sobre a concentração de K nas lâminas foliares da grama Esmeralda aos 90 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.

Verificou-se que a concentração de K nas lâminas foliares da grama Esmeralda decresceu linearmente com o aumento do potencial de água no solo. Costa et al.

(2009), avaliando o fluxo difusivo do K em solos compactados e não compactados observaram aumentos no fluxo difusivo com o acréscimo do conteúdo de água em todos os solos e justifica que, a elevação do conteúdo de água no solo por reduzir a tortuosidade do caminho da difusão, aumentando a espessura do filme de água no interior dos poros favorece a absorção do elemento pelas raízes.

#### 4.3.4 Concentração de Ca nas lâminas foliares

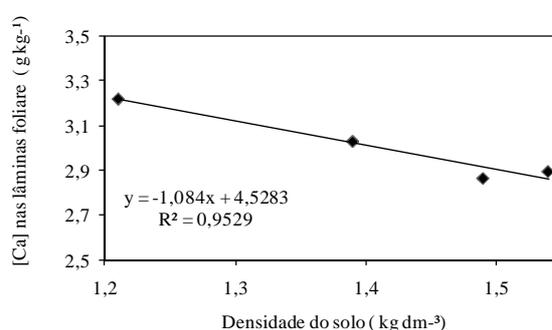
A Tabela 7 representa os resultados da análise de variância e médias das concentrações de Ca, Mg e S nas lâminas foliares da grama Esmeralda aos 45 e 90 dias.

**Tabela 7.** Resumo da análise de variância referente às concentrações de Ca, Mg e S das lâminas foliares da grama Esmeralda em função dos potenciais de água e densidades do solo aos 45 e 90 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.

Causa de variação	G.L.	Concentração de nutriente na lâmina foliar					
		Época de avaliação					
		45 dias			90 dias		
		Ca	Mg	S	Ca	Mg	S
		----- Quadrado médio (significância) -----					
Densidade (Ds)	3	0,524**	0,117**	0,167**	0,850**	0,073**	0,051ns
Potenciaisl de água ( $\Psi$ )	4	0,198 ns	0,033 ns	0,031ns	0,018 ns	0,012*	0,094**
Ds x $\Psi$	12	0,127 ns	0,019**	0,103**	0,160*	0,005ns	0,019ns
Bloco	3	0,194 ns	0,015 ns	0,174**	0,020ns	0,009 ns	0,063ns
Erro	57	0,071	0,0072 ns	0,037	0,731	0,0045	0,023
Total	79						
C.V.		8,87	7,65	8,15	8,80	6,4	7,26
Média		3,00	1,11	2,36	3,07	1,06	2,09

ns, \*, \*\* - não significativo, significativo a 5 e 1% pelo teste F

A concentração de Ca na lâmina foliar somente foi influenciada pela densidade do solo os 45 dias, reduzindo linearmente com o aumento da mesma (Figura 24).

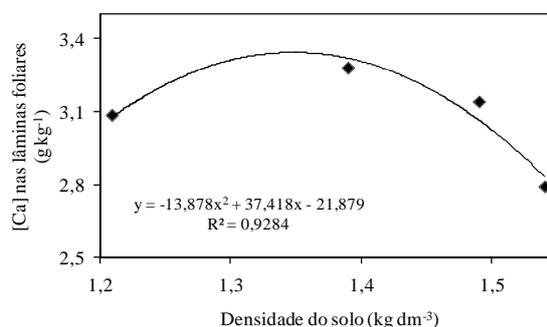


**Figura 24.** Efeito das densidades do solo sobre a concentração de Ca nas lâminas foliares da grama Esmeralda aos 45 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.

Malavolta (2006) afirma que devido à absorção do cálcio pelas plantas ocorrer principalmente por fluxo de massa, existe necessidade de maior umidade no solo para que o mesmo seja absorvido pela planta. Portanto, as mais altas concentrações de cálcio na lâmina foliar observadas para as baixas densidades de solo podem estar atribuídas principalmente a maior conteúdo e disponibilidade de água proporcionado por essa densidade de solo em relação as demais estudadas.

As concentrações médias obtidas para o primeiro corte da grama (2,7 a 3,6 g kg<sup>-1</sup>) assemelham-se as encontradas por Godoy e Villas Boas (2010) em lâminas foliares de grama Esmeralda (2 a 5 g kg<sup>-1</sup>), porém consideradas elevadas se comparadas as recomendações de Clemson, (2004) (1,5 a 2,5 g kg<sup>-1</sup>).

A Figura 25 representa o efeito da densidade do solo sob a concentração de Ca nas lâminas foliares da grama Esmeralda aos 90 dias. Observa-se um comportamento quadrático da concentração de Ca em relação à densidade do solo, onde os incrementos na densidade do solo mostraram-se favoráveis ao acúmulo de Ca nas lâminas foliares da grama, sendo a maior concentração encontrada 3,34 g kg<sup>-1</sup> na densidade do solo de 1,35 g cm<sup>-3</sup>. Densidades superiores a 1,35 g cm<sup>-3</sup> mostraram-se pouco favoráveis.



**Figura 25.** Efeito das densidades do solo sobre a concentração de Ca nas lâminas foliares da grama Esmeralda aos 90 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.

Como o observado aos 45 dias, incrementos na densidade do solo reduziram a concentração de Ca nas lâminas foliares da grama. Para outras culturas também pode ser observado o mesmo comportamento em relação ao aumento da densidade do solo em relação à nutrição de Ca. Alvarenga et al.,(1997) avaliando a produção de matéria seca e a absorção de nutrientes por leguminosas em resposta a compactação do solo observou que o conteúdo de cálcio foi reduzido em decorrência aos acréscimos na densidade do solo.

As concentrações encontradas (2,8 a 3,3 g kg<sup>-1</sup>) mostraram-se novamente superiores as obtidas por Clemson, (2004), e próxima ao valores encontrados por Godoy (2005) (3 a 5 g kg<sup>-1</sup>).

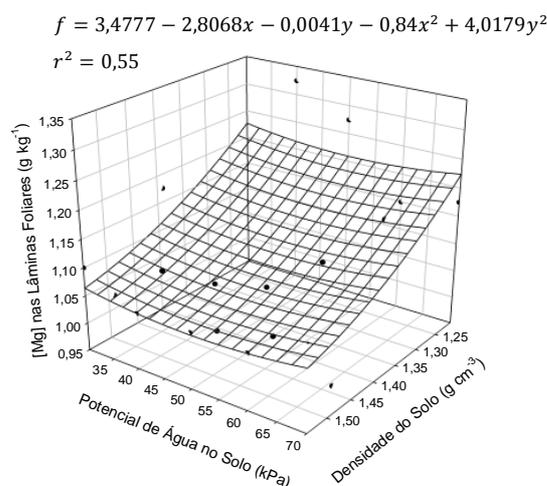
#### 4.3.5 Concentração de Mg nas lâminas foliares

Observou-se efeito da interação dos fatores potenciais de água no solo e densidades do sobre a concentração de Mg da lâmina foliar os 45 após o estabelecimento da grama. O modelo Parabolóide expresso na Figura 26 permitiu explicar a resposta a esse acúmulo nas lâminas foliares. Maiores incrementos no conteúdo de Mg foram observados para as menores densidades de solo. Não observou-se efeito dos potenciais de água sobre a nutrição da grama em relação ao elemento Mg.

As concentrações médias observadas (1,0 a 1,3 g kg<sup>-1</sup>) mostraram-se próximas ao limite inferior da faixa considerada como ideal (1,3 a 1,5 g kg<sup>-1</sup>) por Mills e Jones

(1996), porém semelhantes às relatadas por Godoy e Villas Boas (2010) (0,9 a 1,2 g kg<sup>-1</sup>) em experimentos de adubação para produção de grama.

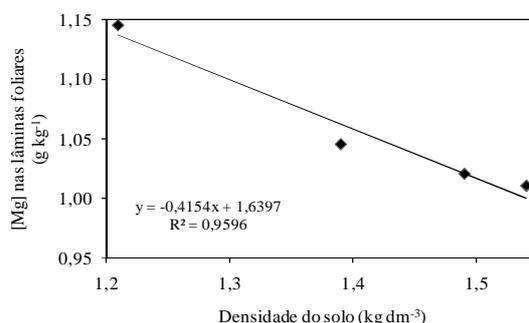
As mais altas concentrações do nutriente Mg, encontradas nos tratamentos de mais baixa densidade, podem ser explicadas de forma semelhante ao Ca uma vez que princípios que rege a absorção do Mg pelas plantas é semelhante a do mesmo.



**Figura 26.** Efeitos dos potenciais de água e das densidades do solo sobre a concentração de Mg nas lâminas foliares da grama Esmeralda aos 45 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.

Quanto ao teor de Mg aos 90 dias, nota-se que apesar do efeito isolado dos fatores, tanto a densidade e como o potencial de água no solo exerceram influência sobre a absorção e acúmulo do elemento nas lâminas foliares da grama Esmeralda.

Considerando-se o fator densidade do solo, observa-se que o conteúdo de Mg foi reduzido linearmente nas lâminas foliares em virtude do aumento na densidade do solo (Figura 27) .

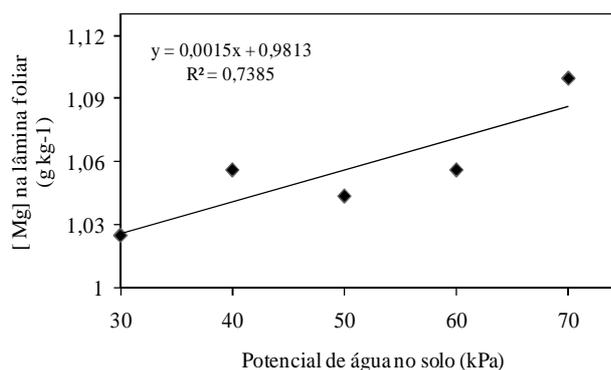


**Figura 27.** Efeito das densidades do solo sobre a concentração de Mg nas lâminas foliares da grama Esmeralda ao 90 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.

Esse resultado pode estar atribuído a menor disponibilidade de água nos solos compactados, limitando assim o mecanismo de fluxo de massa que rege sua absorção do Mg pelas plantas.

Os valores de concentração de Mg encontrado nas lâminas foliares da grama Esmeralda (1 a 1,2 g kg<sup>-1</sup>), mostraram-se dentro da faixa considerada como ideal por Godoy e Villas Boas (2010), (0,9 a 1,2 g kg<sup>-1</sup>) e obtidos em experimentos realizados no Brasil.

Aos 90 dias, observa-se o efeito linear crescente da concentração de Mg nas lâminas foliares da grama Esmeralda com o aumento do potencial de água no solo. (Figura 28).

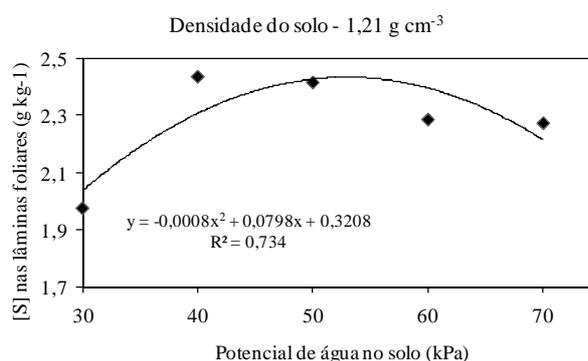


**Figura 28.** Efeito dos potenciais de água sobre a concentração de Mg nas lâminas foliares da grama Esmeralda aos 90 dias iniciado os tratamentos de irrigação.

### 4.3.6 Concentração de S nas lâminas foliares

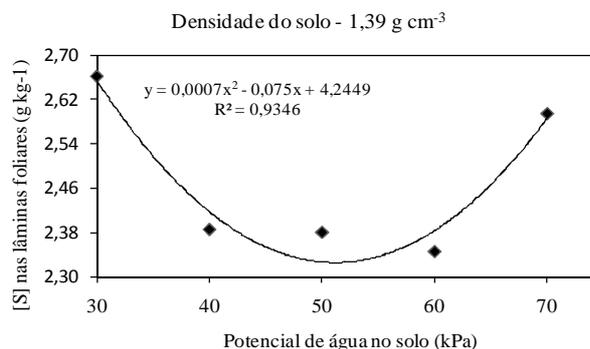
Apesar da influência significativa da interação entre os fatores potenciais de água e densidades do solo sobre o acúmulo de S nas lâminas foliares, não foi conseguido ajuste dos resultados encontrados para o modelo de superfície de resposta, sendo os mesmos, apresentados a partir de gráficos polinomiais com base nos dados provenientes do desdobramento na análise de regressão.

Aos 45 dias (Figura 29) observa-se o efeito significativo dos potenciais de água no solo sobre o a concentração de S nas lâminas foliares para a densidade do solo de  $1,21 \text{ g cm}^{-3}$ , sendo a maior concentração encontrada,  $2,31 \text{ g kg}^{-1}$ , proporcionada pelo potencial de água 50 kPa. Potenciais de água superiores a 50 kPa mostraram-se desfavoráveis aos teores de S pela grama em solos pouco densos.



**Figura 29.** Efeito dos potenciais de água no solo de densidade do solo de  $1,21 \text{ kg dm}^{-3}$  sobre a concentração de S nas lâminas foliares da grama Esmeralda aos 45 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.

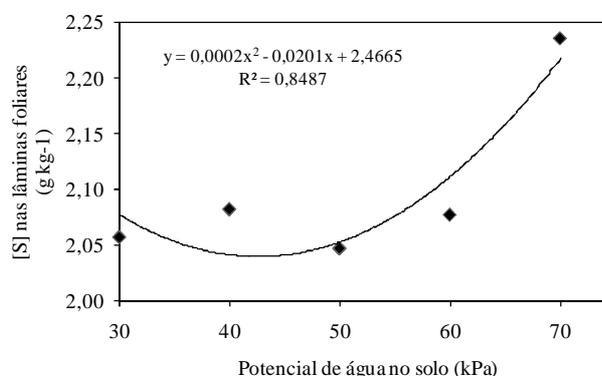
Efeito significativo dos potenciais de água sobre a concentração de S nas lâminas foliares da grama Esmeralda também foi notado para a densidade de  $1,39 \text{ g cm}^{-3}$ . Os resultados observados na Figura 30, demonstram que o potencial de água 30 kPa favoreceu a nutrição da grama pelo S sendo potenciais superiores a este desfavoráveis a nutrição das plantas.



**Figura 30.** Efeito dos potenciais de água no solo de densidade de 1,39 kg dm<sup>-3</sup> sobre a concentração de S nas lâminas foliares da grama Esmeralda aos 45 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.

As concentrações de S encontradas (2,0 a 2,7 g kg<sup>-1</sup>) nas lâminas foliares da grama Esmeralda ficaram abaixo das obtidas por Mills e Jones (1996) que obtiveram teores foliares compreendidos entre 3,2 a 3,7 g kg<sup>-1</sup> e aos valores obtidos por Godoy e Villas Boas (2010) (4,1 a 5,0 g kg<sup>-1</sup>), fato este que pode estar atribuído a não aplicação de fertilizantes a base de enxofre durante o decorrer deste experimento.

Aos 90 dias observa-se que o aumento no potencial de água comportou-se de forma favorável a concentração de S nas lâminas foliares da grama Esmeralda (Figura 31), entretanto os valores médios encontrados (1,9 a 2,2 g kg<sup>-1</sup>) ficaram abaixo daqueles relatados por Mc Crimmon (2001) (2,4 e 5,4 g kg<sup>-1</sup>) para a espécie Bermuda e dos encontrados por Mills e Jones (1996) e por Godoy e Villas Boas (2010), como já mencionado anteriormente.



**Figura 31.** Efeito dos potenciais de água sobre a concentração de S nas lâminas foliares da grama Esmeralda aos 90 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.

#### 4.4 Intensidade de cor verde das lâminas foliares: Clorofilômetros CM 1000 e TCM 500

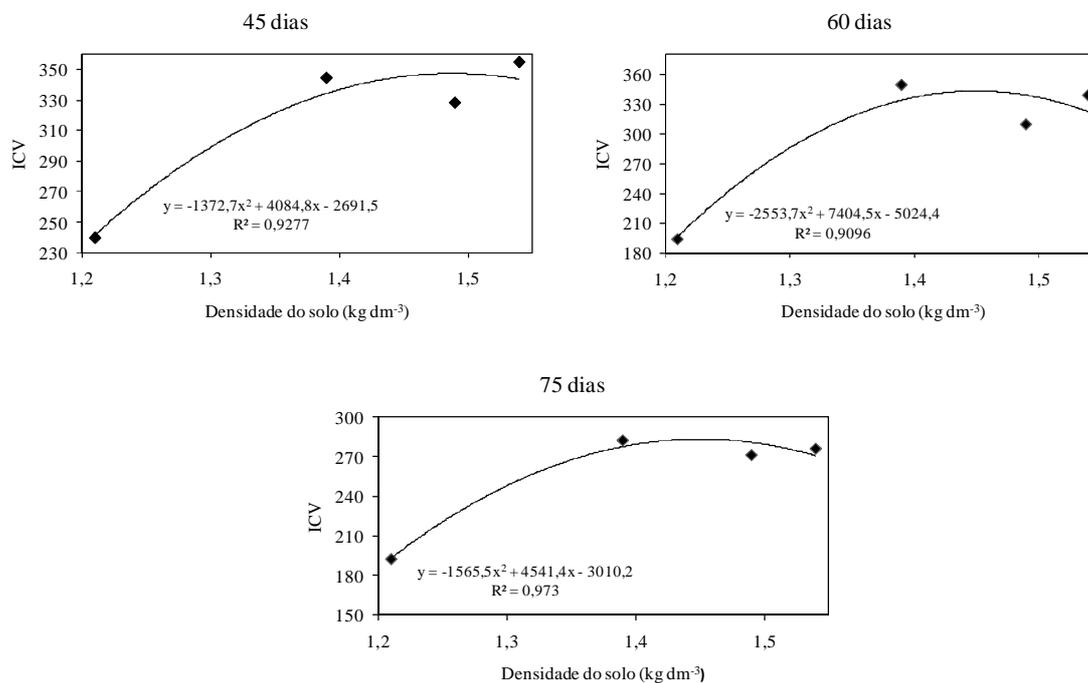
##### 4.4.1 Clorofilômetro CM1000

Efeito isolado dos fatores, densidade do solo e potencial de água, foram encontrados para a intensidade de cor verde (ICV) aos 45, 60 e 75 dias quando as leituras foram realizadas com o auxílio do clorofilômetro CM 1000 (Tabela 8). Aos 45, 60 e 75 os resultados encontrados para a ICV melhor se ajustaram ao modelo quadrático, sendo o ponto de inflexão obtidos com as densidades  $1,48 \text{ g cm}^{-3}$  e  $1,44 \text{ g cm}^{-3}$  e  $1,45 \text{ g cm}^{-3}$  respectivamente (Figura 32).

**Tabela 8.** Resumo da análise de variância referente ao Índice de cor verde (ICV) das lâminas foliares da grama Esmeralda, determinado pelo clorofilômetro CM 1000, em função dos potenciais de água e densidades do solo.

Causa de variação	G.L	Intensidade da cor verde da lâminas foliares (ICV)			
		Método: CM1000			
		45dias	60 dias	75 dias	90 dias
		----- Quadrado médio (significância) -----			
Densidade (Ds)	3	54919,68**	101893,67**	36256,25**	36821,35**
Potencial ( $\Psi$ )	4	9864,02**	25666,84**	16138,56**	18013,15**
Ds x $\Psi$	12	3358,17ns	4274,84ns	1552,04ns	3438,17*
Bloco	3	10923,41**	14258,90**	5033,78*	9238,95**
Erro	57	2216,07	2384,94	1661,52	1640,55
Total	79				
CV %		14,87	16,4	15,96	16,05
Média		316,58	297,75	255,44	252,38

ns, \*, \*\* - não significativo, significativo a 5 e 1% pelo teste F



**Figura 32.** Efeito das densidades do solo sobre a ICV das lâminas foliares da grama Esmeralda aos 45, 60 e 75 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.

Verifica-se aos 45 dias que o valor da ICV observado para a densidade de solo 1,21 g cm<sup>-3</sup> foi superior aos demais períodos, fato este que pode estar atribuído ainda adaptação da grama Esmeralda as condições de cultivo.

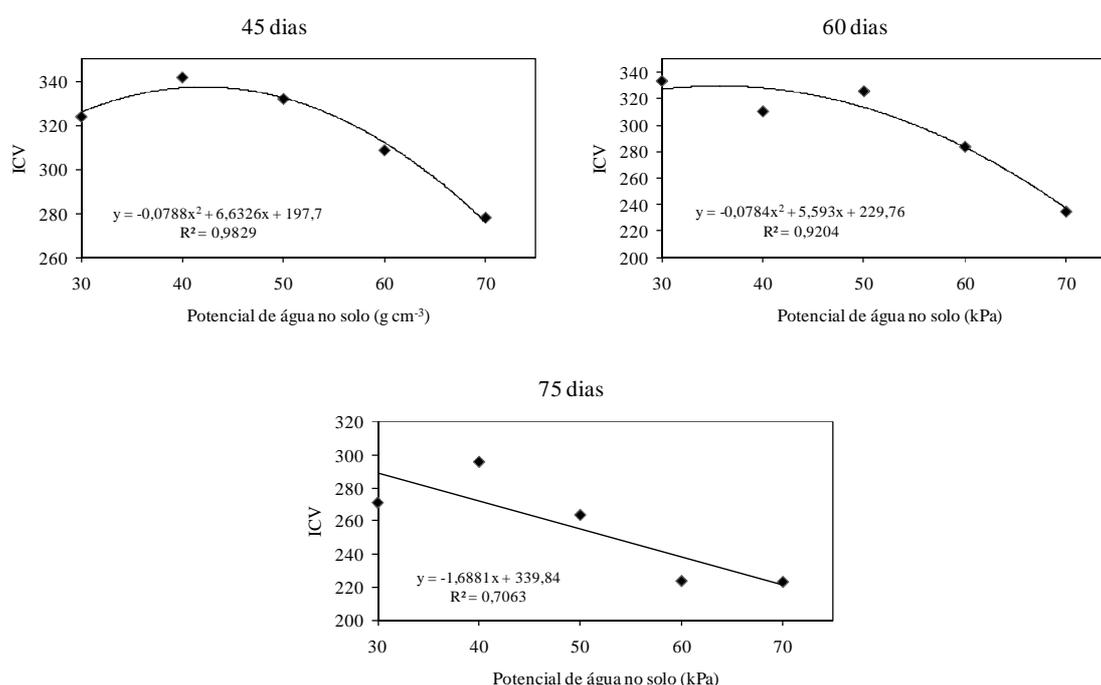
Nota-se para todos os períodos avaliados, que o aumento da densidade do solo influenciou sobre a ICV da grama. Isso sugere que, a maior capacidade retenção de água dos solos adensados, ao reduzir disponibilidade de oxigênio no solo, pode ter inibido a nitrificação da amônia presente na uréia (aplicada como fonte de N no grama), favorecendo a absorção do elemento pelas plantas e permitindo a manutenção da cor verde da grama e os índices de clorofila mais elevados.

Embora ainda considerados superiores aos valores encontrados para os tratamentos onde não foi adotado o manejo da compactação, notou-se que aos 70 dias ocorreu uma redução na ICV da grama em relação aos demais períodos. Sendo o maior valor encontrado para este índice, 283. A baixa ICV encontrada pode ser justificada pela coincidência entre a época em que foi feita a adubação de cobertura no grama e o momento da

avaliação. Isso sugere que é necessário um período para que as plantas expressem algum resultado em relação à adubação.

Efeito significativo do potencial de água no solo também foi observado para as mesmas épocas de avaliação. Observa-se que o aumento do potencial de água no solo foi desfavorável a manutenção do conteúdo de clorofila e, portanto da manutenção da ICV da grama (Figura 33). Lee et al. (2003) ao avaliar o manejo da irrigação em grama Santo Agostinho, afirma que os índices de clorofila nas folhas apresentam uma alta correlação com a umidade do solo.

Da Costa e Huang (2006) ao avaliarem os requerimentos mínimos de água em cultivares de bentgrasses notaram que o regime de irrigação afetaram significativamente os valores do índice de clorofila, sendo o regime de irrigação baseado em 60% ETo mais favorável ao incremento no conteúdo de clorofila do que aqueles baseados em 40% e 100% ETo.



**Figura 33.** Efeito dos potenciais de água no solo sobre a ICV das lâminas foliares da grama Esmeralda aos 45, 60 e 75 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.

Nota-se que a ICV aos 45 e 60 dias melhor se ajustou ao modelo quadrático, atingindo o ponto de inflexão com os potenciais 42 e 36 Kpa, sendo as maiores

ICV encontradas 337 e 329 respectivamente. Aos 75 dias os valores da ICV variaram linearmente de 271 a 223.

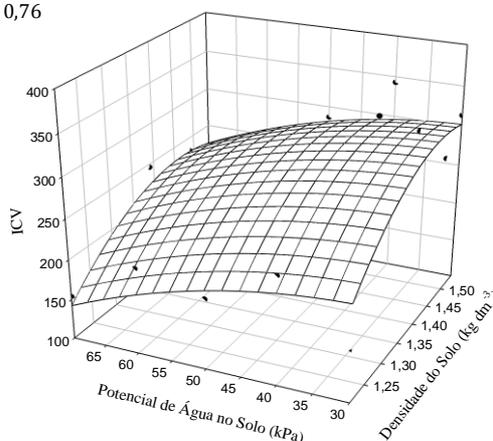
Os valores encontrados para ICV e referentes à aplicação de 250 kg ha<sup>-1</sup> de N ficaram dentro da faixa de valores encontrados por Oliveira et al. (2010) que obteve valores compreendidos entre 409 e 212 em experimento visando avaliar o efeito dos dias após aplicação e doses de lodo de esgoto aplicadas. Índices inferiores ao obtidos também foram encontrados por Lee et al. (2003) ao avaliarem o efeito da umidade do solo sobre os índices de clorofila em grama Santo Agostinho onde obteve 286 como valores máximos.

Os resultados encontrados sugerem, portanto que fatores adversos, como déficit hídrico e excesso de água no solo, podem reduzir o conteúdo de clorofila nas lâminas foliares da grama Esmeralda.

Os fatores densidade do solo e potencial de água influenciaram sobre a ICV aos 90 dias (Figura 34).

$$f = -2558,90 + 3853,5587x - 2,3388y - 1309,3779x^2 - 0,0425y^2$$

$$r^2 = 0,76$$



**Figura 34.** Efeito dos potenciais de água e das densidades do solo sobre o ICV das lâminas foliares da grama Esmeralda aos 90 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.

Os resultados deste estudo demonstram que o aumento gradual na densidade do solo e a maior disponibilidade de água, proporcionada pelos baixos potenciais de água, são favoráveis a manutenção do conteúdo de clorofila no grama e, portanto, da intensidade de cor verde da grama Esmeralda .

Nota-se também que o aumento do potencial de água no solo, como já discutido, foi desfavorável a manutenção da coloração verde das lâminas foliares principalmente nas condições de cultivo onde o solo foi mantido sob condições naturais (sem tratamento de compactação).

#### 4.4.2 Clorofilômetro TCM 500

O componente verde (G) do equipamento TCM 500 foi influenciado pela densidade do solo aos 45, 60 e 90 dias (Tabela 9).

**Tabela 9.** Resumo da análise de variância referente ao Componente verde (G) das lâminas foliares da grama Esmeralda, determinada pelo clorofilômetro TCM 500 em função dos potenciais de água e densidades do solo

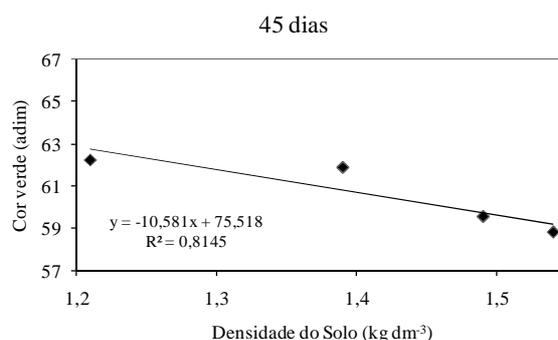
Causa de variação	GL	Componente verde (G)			
		Época de Avaliação			
		45 dias	60 dias	75 dias	90 dias
		-----Quadrado médio (significância)-----			
Densidade (Ds)	3	58,35*	191,50**	75,34 ns	336,30**
Potencial (kPa)	4	24,16 ns	26,77 ns	19,51 ns	214,74**
Ds x Kpa	12	16,26 ns	22,51 ns	20,85 ns	31,03 ns
Bloco	3	242,72**	29,13 ns	96,91*	30,10 ns
Erro	57	17,22	22,44	28,67	37,50
<b>Total</b>	<b>79</b>				
CV %		6,85	8,41	8,80	9,98
Média		60,63	56,35	60,86	61,35

ns, \*, \*\* - não significativo, significativo a 5 e 1% pelo teste F

Embora tenha havido efeito significativo da densidade do solo em relação ao componente verde, observa-se que os valores foram muito variáveis no decorrer do ciclo, o que dificulta estabelecer valores de referência. Segundo Godoy (2005) e conforme citado por Karcher e Richardson (2003) isso acontece porque os outros componentes (vermelho e azul) não foram considerados no momento da avaliação.

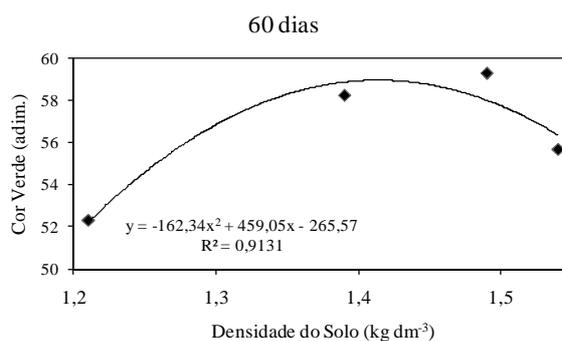
Houve efeito linear decrescente do componente de luz verde com o aumento da densidade do solo aos 45 dias (Figura 35).

Entretanto, quanto menor o valor de G, mais intensa a cor verde, portanto isso demonstra que o aumento da densidade incrementou a relação do componente verde nas lâminas foliares da grama Esmeralda.



**Figura 35.** Efeito das densidades do solo sobre o componente verde (G) das lâminas foliares da grama Esmeralda aos 45 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.

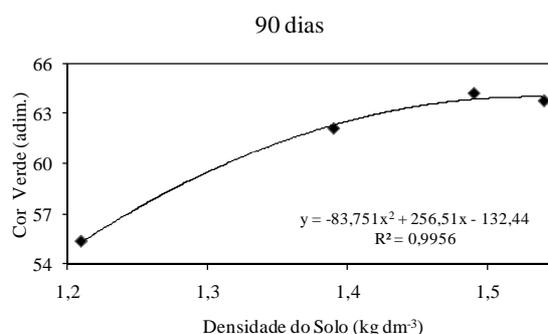
Aos 60 dias (Figura 36) nota-se um comportamento quadrático do componente verde para a densidade do solo, sendo o ponto de inflexão observado para a densidade de 1,41. Nota-se também um incremento no componente verde em relação à primeira avaliação.



**Figura 36.** Efeito das densidades do solo sobre o componente verde (G) das lâminas foliares da grama Esmeralda aos 60 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.

Efeito quadrático do componente verde (G) foi notado com o aumento da densidade do solo aos 90 dias, demonstrando, portanto, que ocorreu redução do conteúdo verde no período, sendo o mínimo valor encontrado (63,96) para a densidade de 1,53 g cm<sup>-3</sup>,

fato este que pode estar relacionado à necessidade de uma nova adubação de cobertura (Figura 37).



**Figura 37.** Efeito das densidades do solo sobre o componente verde (G) das lâminas foliares da grama Esmeralda aos 90 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.

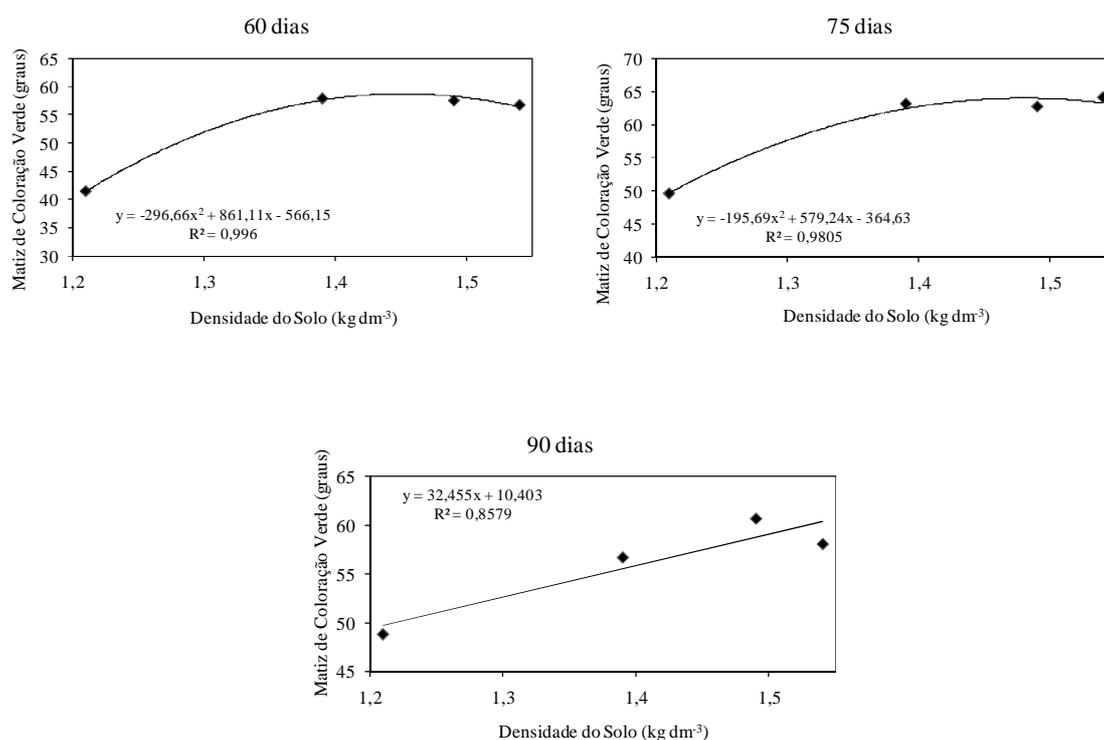
O matiz de cor verde (H), calculada a partir da quantidade de luzes vermelha, verde e azul, foi influenciada de forma isolada 60, 75 e 90 dias pelas causas de variação potenciais de água e densidades do solo. Não foi observada influencia significativa de nenhum dos fatores em relação à causa de variação Matiz de cor verde aos 45 dias (Tabela 10).

**Tabela 10.** Resumo da análise de variância referente ao Matiz de cor verde (H) das lâminas foliares da grama Esmeralda determinada pelo clorofilômetro TCM 500 em função dos potenciais de água e densidades do solo

Causa de variação	GL	Matiz de cor verde (H)			
		Data de avaliação			
		45 dias	60 dias	75 dias	90 dias
----- Quadrado médio (significância) -----					
Densidade (Ds)	3	420,18 ns	1294,96**	936,99**	521,22**
Potencial (kPa)	4	377,06 ns	310,35**	409,47**	423,79**
Ds x Kpa	12	138,20 ns	43,83 ns	26,57 ns	93,18 ns
Bloco	3	184,86 ns	29,09 ns	10,97 ns	67,79 ns
Erro	57	157,04	35,38	72,91	60,69
Total	79				
CV %		23,46	11,13	14,27	13,89
Média		53,41	53,44	59,86	56,08

ns, \*, \*\* - não significativo, significativo a 5 e 1% pelo teste F

Aos 60 e 75 dias após iniciados os tratamentos de irrigação observa-se um melhor ajuste dos resultados obtidos ao modelo quadrático, sendo atingidos os pontos de inflexão, 58,7° e 63,9° respectivamente com as densidades 1,44 e 1,47 (Figura 38).



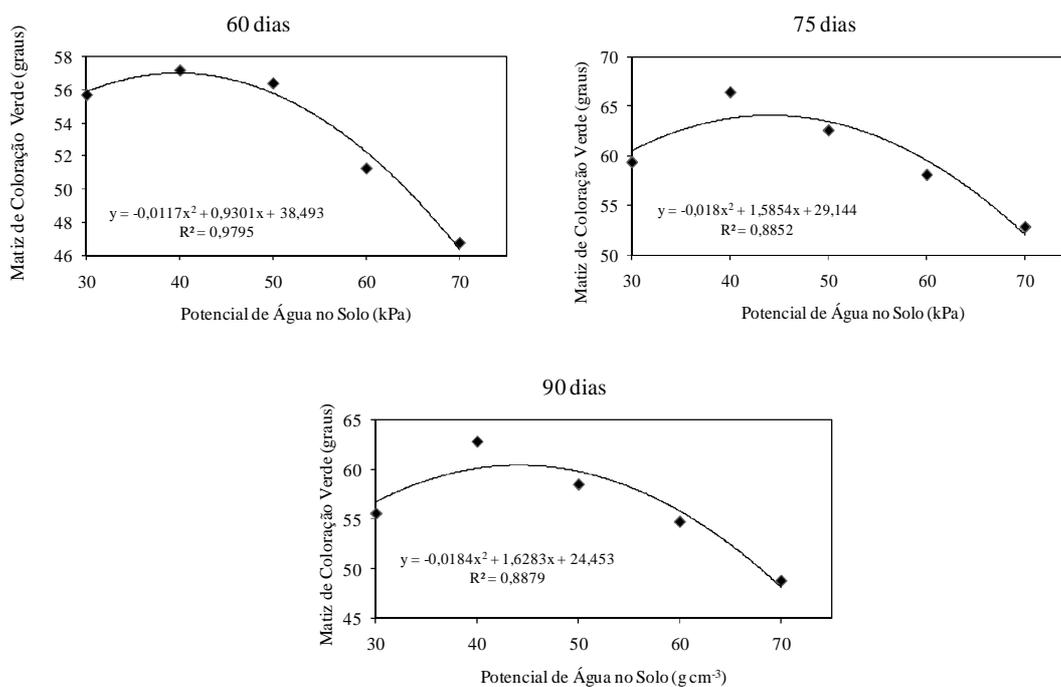
**Figura 38.** Efeito das densidades do solo sobre o componente Matiz de coloração verde das lâminas foliares da grama Esmeralda aos 60, 75 e 90 dias após iniciado os tratamentos de irrigação

Os valores encontrados mostraram-se inferiores aqueles obtidos por Backes (2008) (71° e 100°) ao avaliar o matiz de cor verde a partir de imagens digitais e aos obtidos por Karcher e Richardson (2003) que encontraram valor do matiz cor verde compreendidos entre 83,6° e 86,6°. Isso sugere que as adubações nitrogenadas realizadas durante o experimento podem não ter sido suficientes para manutenção da cor verde da grama e dos níveis de clorofila na grama.

Efeito linear crescente foi observado aos 90 dias em função das densidades do solo. Os valores obtidos variaram de 48° a 60° com as densidades do solo, sendo o menor e maior valor atribuído as densidades de 1,21 e 1,49 respectivamente.

Efeito significativo dos potenciais de água no solo também foi observado para o Matiz da cor verde das lâminas foliares novamente aos 60, 75 e 90 dias após iniciados os tratamentos de irrigação.

A Figura 39 representa a relação entre os potenciais de água e o matiz de coloração verde. A faixa de potenciais que proporcionaram maior matiz de cor verde (56,9°; 64° e 60,47°) foram, 40, 44 e 44 kPa respectivamente. Entretanto como observado para o fator densidade do solo, os resultados encontrados ficaram abaixo dos encontrados por outros autores.



**Figura 39.** Efeito dos potenciais de água do solo sobre o componente Matiz de coloração verde das lâminas foliares da grama Esmeralda aos 60, 75 e 90 dias após iniciados os tratamentos de irrigação.

O índice de cor verde escuro (ICVE) foi significativamente influenciado pelas densidades do solo aos 60, 75 e 90 dias (Tabela 11), entretanto não foi observado influencia significativa da densidade para o ICVE aos 45 dias

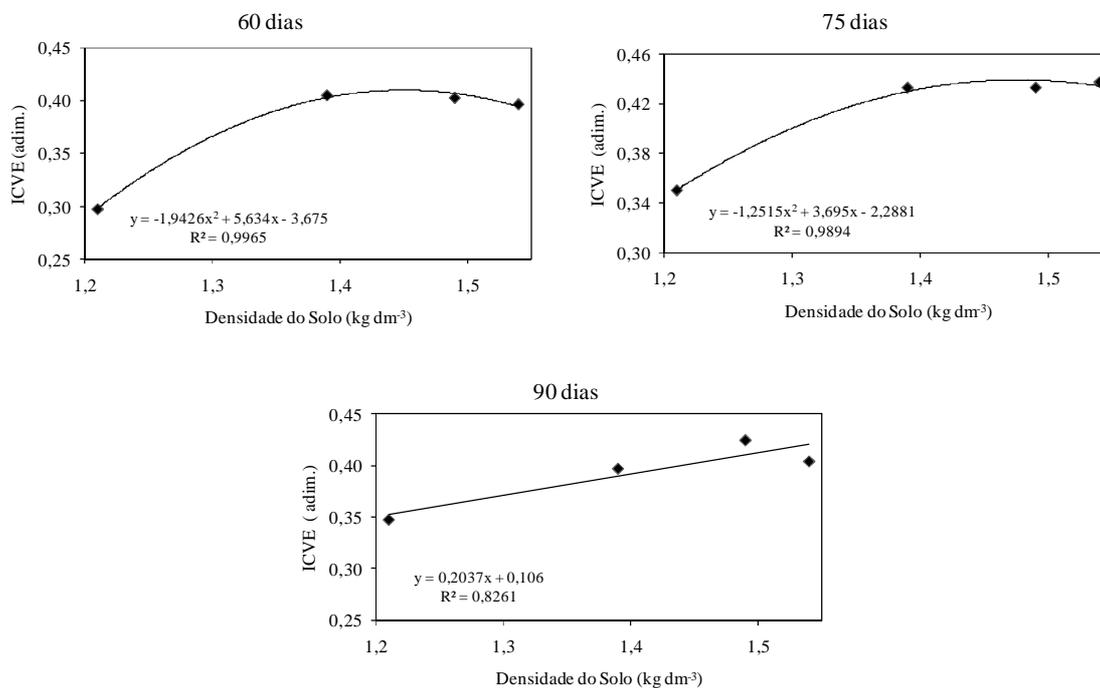
**Tabela 11.** Resumo da análise de variância referente ao Índice de cor verde escuro (ICVE) das lâminas foliares da grama Esmeralda determinada pelo clorofilômetro TCM 500 em função dos potenciais de água e densidades do solo.

Causa de variação	GL	Índice de cor verde escuro - ICVE			
		Data de avaliação			
		45 dias	60 dias	75 dias	90 dias
Densidade (Ds)	3	0,014 ns	0,054**	0,035**	0,021**
Potencial (kPa)	4	0,011 ns	0,012**	0,014**	0,018**
Ds x Kpa	12	0,0049 ns	0,0025 ns	0,001 ns	0,004 ns
Bloco	3	0,0074 ns	0,0014 ns	0,0003 ns	0,0031
Erro	57	0,0043	0,0015	0,0032	0,0028
Total	79				
CV %		17,21	10,27	13,86	13,63
Média		0,381	0,375	0,413	0,392

ns, \*, \*\* - não significativo, significativo a 5 e 1% pelo teste F

Observa-se que houve um melhor ajuste ao modelo quadrático em relação ao ICVE aos 60 e 75, sendo atingidos os máximos valores 0,39 e 0,43 em relação às densidades de 1,45 e 1,47 respectivamente. Os valores de ICVE variaram linearmente (0,34 a 0,42) aos 90 dias (Figura 39).

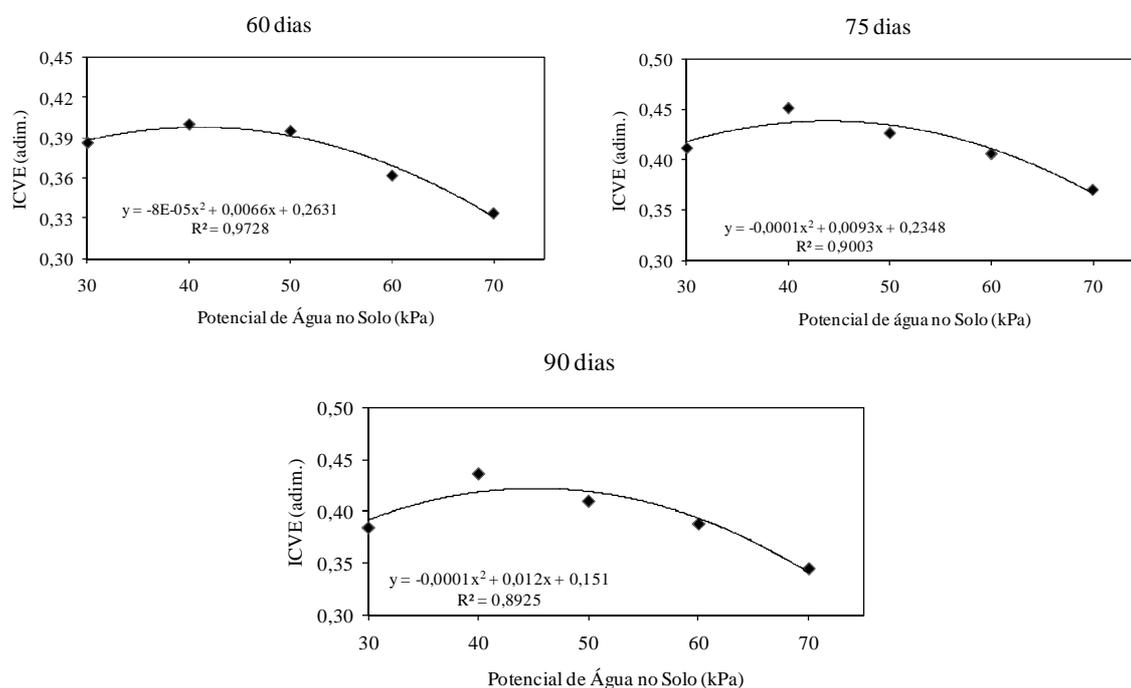
Os ICVE encontrados neste experimento ficaram dentro da faixa dos valores encontrados por Backes, (2008) (0,38 a 0,59) e Karcher e Richardson (2003) que obtiveram valores compreendidos entre 0,37 a 0,50 para uma condição de não adubação com nitrogênio e para as maiores doses (600 kg ha<sup>-1</sup>).



**Figura 40.** Efeito das densidades do solo sobre a Intensidade de cor verde escura (ICVE) nas lâminas foliares da grama Esmeralda aos 60, 75 e 90 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.

Efeito significativo para a ICVE da grama Esmeralda também foi observado em relação ao potencial de água no solo. Os resultados obtidos sugerem que elevados potenciais de água são pouco favoráveis a manutenção da ICVE.

Nota-se novamente aos 60, 75 e 90 dias de avaliação (Figura 40), que houve efeito quadrático do potencial de água no solo para a ICVE. Os resultados encontrados para todas as épocas de avaliação sugerem que déficits hídricos muito críticos podem ser bastante prejudiciais ao desenvolvimento da grama, bem como para a manutenção da cor verde do mesmo.



**Figura 41.** Efeito dos potenciais de água sobre a Intensidade de cor verde escura (ICVE) nas lâminas foliares da grama Esmeralda aos 60, 75 e 90 dias após iniciado os tratamentos de irrigação.

Dentre os índices utilizados para quantificar a cor verde da grama pelo TCM 500, pode-se dizer que o matiz de cor e o ICVE foram mais eficientes por permitirem um melhor ajuste dos dados em função dos fatores estudados.

Os resultados também sugerem que avaliações feitas aos 45 dias não permitiram expressar corretamente os resultados, sendo necessário um período maior de adaptação da grama ao sistema de cultivo para que se obtenham melhores resultados.

## 5 CONCLUSÕES

Potenciais de água compreendidos entre 40 e 45 kPa e densidades do solo compreendidas entre 1,45 e 1,47 kg dm<sup>-3</sup> demonstraram os melhores resultados para taxa de cobertura verde do solo pela grama Esmeralda (TCV).

Potenciais de água compreendidos entre 40 e 45 kPa e solos com densidade de 1,50 expressaram os melhores resultados para o acúmulo de matéria seca na parte aérea da grama Esmeralda, nas duas épocas de avaliação.

Em relação ao para o parâmetro avaliado, acúmulo de matéria seca nas raízes, o potencial de água 30 kPa foi mais favorável.

A concentração de nitrogênio, cálcio, magnésio e enxofre nas lâminas foliares da grama Esmeralda foi maior nos tratamentos onde não adotou-se o manejo da compactação.

Incrementos na densidade do solo e baixos potenciais de água proporcionaram maior acúmulo dos nutrientes nas lâminas foliares da grama Esmeralda.

O aumento da densidade do solo e os baixos potenciais de água no proporcionaram maiores incrementos na intensidade de cor verde das folhas da gramada Esmeralda.

O manejo da irrigação realizado a partir do monitoramento do potencial de água no solo com a utilização de tensiômetros, ao permitir a correta quantificação

da lâmina de água a ser aplicada, manteve os níveis de umidade do solo adequados ao desenvolvimento da grama Esmeralda.

## 6. REFERÊNCIAS

ALI HARIVANDI, M. **Turfgrass traffic and compaction: problems and solutions**. Berkeley: University of Califórnia, Agriculture and Natural Resources, 2002. 6 p. Disponível em: <<http://ucanr.org/freepubs/docs/8080.pdf>>. Acesso em: 26 nov. 2009.

ALVARENGA, R. C. et al. Crescimento de leguminosas em camadas de solo compactados artificialmente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 319-326, maio/ ago. 1996.

ALVARENGA, R. C. et al. Produção e matéria seca e absorção de nutrientes por leguminosas, em resposta à compactação do solo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 44, n. 254, p. 421-431, 1997.

AUGUSIN, B. J.; SNYDE G. H. Moisture sensor-controlled irrigation for maintaining bermudagrass turf. **Agronomy Journal**, Madison, v. 76, p. 848-850, 1984.

AZENEGASHE, O. A.; ALLEN, V.; FONTENOT, J. Grazing sheep and cattle together or separately: effect on soil and plants. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, p. 380-386, 1997.

BACKES, C. **Aplicação e efeito do lodo de esgoto em sistemas de produção de tapetes de grama esmeralda**. 2008. 152 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Horticultura)- Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

BEARD, J. B. **Turf management for golf courses**. 2nd ed. Chelsea: United States Golf Association, 2002. 793 p.

BEARD, J. B. **Turfgrass: science and culture**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1973. 235 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. 625 p.

BOUFFORD, R. W.; CARROW, R. N. Effects of intense short-term traffic on soil physical properties and turfgrass growth. **Transactions of the Kansas Academy of Sciences**, Manhattan, v. 83, n. 2, p. 78-85, 1980.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Natureza e propriedade dos solos**. 7ª edição, Rio de Janeiro, 1989. 898 p.

BREDE, A. D.; SUN, S. Diversity of turfgrass germplasm in the Asian Pacific Rim countries and potential for reducing genetic vulnerability. **Crop Science**, Madison, v. 35 p. 317-321, 1995.

CAMARGO, O. A. et al. **Método de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: Instituto Agrônomo; Fundação IAC, 1986. 94 p. (Boletim técnico, 106).

CAMPBELL, G. S.; GEE, G. W. Water potential: miscellaneous methods. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis part 1**. 2nd. ed. Madison: ASA; SSSA, 1986. p. 619-633 (Agronomy monography, 9).

CARROW, R. N. Drought resistance aspects of turfgrasses in the southeast: ET and crop coefficients. **Crop Science**, Griffin, v. 35, p. 1685-1690, 1995.

CARROW, R. N. Influence of soil compaction on three turfgrass species. **Agronomy Journal**, Manhattan, v. 72, p.1038 -1042, Nov./Dec. 1980.

CARROW, R. N. **Soil compaction**. Manhattan.1981. p. 59-66. Golf course management.

CARVALHO, S. R. **Influência de dois sistemas de manejo de pastagens na compactação de uma Terra Roxa Estruturada**. 1976. 86 p. Dissertação (Mestrado)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1976.

CHANASYK, D. S.; NAETH, M. A. Grazing impacts on bulk density and soil strength in the foothills fescue grasslands of Alberta, Canada. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 24, n. 2, p. 551-557, 1995.

CHANCELLOR, W. J. Effects of compaction on soil strength. In: BARNES, K. K. **Compaction of agricultural soil**. St. Joseph: ASAE, 1971. p. 190-212.

CHARBONNEAU, P. **Sod production**. Ontário: Government of Ontario, 2004. Disponível em: <[http://www.gov.on.ca/OMAFRA/english/crop/facts/info\\_sod.htm](http://www.gov.on.ca/OMAFRA/english/crop/facts/info_sod.htm)>. Acesso em: 21 nov. 2009.

CHRISTIANS, N. E. **Fundamental of turfgrass management**. Chelsea: Arbor Press, 1998. 301 p.

CLENSOM UNIVERSITY. **Guidelines for sampling and interpreting results**. Clensom: Agricultural Service Laboratory, Plant Tissue Analysis, Clemson Extension, 2004. Disponível em: <<http://www.clemson.edu/agsrvlb/plantsampling.htm>>. Acesso em: 21 jan. 2010.

COREL CORPORATION. **Corel photopaint**. version 12, 2003.

COSTA, J. P. V. et al. Fluxo difusivo de potássio em solos sob diferentes níveis de umidade e de compactação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 1, p. 56-62, 2009.

COSTA, J. P. V. **Fluxo de difusivo de fósforo e de potássio em latossolos**. Viçosa: UFV, 1998. 67 p.

COSTA, R. C. L. et al. Efeito da água e do nitrogênio sobre a fotossíntese, respiração e resistência estomática em *Phaseolus vulgaris*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 23, p. 1371-1379, 1988.

DACOSTA, M.; HUANG, B. Minimum water requirements for creeping, colonial, and velvet bentgrasses under fairway conditions. **Crop Science**, Madison, v. 46, p. 81-89, 2006.

DE PAULA, C. C. **Produção de gramas e implantação de gramas**. Disponível em: <<http://www.tecnologiaetreinamento.com.br/sessao.php>>. Acesso em: 26 nov. 2009.

DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 11, n. 1, p. 199-238, 1998.

DUBLE, R. L. **Water management on turfgrasses**. 2006. Disponível em: <<http://plantanswers.tamu.edu/turf/publications/water.html>>. Acesso em: 21 nov. 2009.

DUBLE, R. **Turfgrass rootzones**. Disponível em: <<http://turfdiag.com/turfgrassrootzones.htm>>. Acesso em: 26 nov. 2009.

Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FARIA, R. T. de; COSTA, C. S. da. **Tensiômetro**: construção, instalação e utilização - um aparelho simples para se determinar quando irrigar. Londrina: IAPAR, 1987. 24 p. (Circular técnica, 56).

FERREIRA, D. F. **Sisvar**. versão 4.2.: DEX; UFLA, 2003.

GAUSSOIN, R. E.; MURPHY, J. A.; BRANHAM, B. E. A vertically installed, flush-mounted tensiometer of turfgrass research. **Hortscience**, Manhattan, v. 25, n. 8, p. 928-929, 1990.

GEROLINETO, E. **Desenvolvimento de grama Esmeralda (*Zoysia japonica* Stend) sob dois manejos de irrigação**. 2008. 37 f. Dissertação (Mestrado Ciência do Solo)-Faculdade de Ciências Agrônomicas e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

GODOY, L. J. G. **Adubação nitrogenada para produção de tapetes de grama Santo Agostinho e Esmeralda**. 2005. 109 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual de Paulista, Botucatu, 2005.

GODOY, L. J. G.; VILLAS BÔAS, R. L. Doses de nitrogênio na produção de tapetes de grama esmeralda (*Zoysia japonica*). In: FERTBIO XXVI Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 2004, Lages. **Anais...** Lages: UDESC; SBCS, 2004. 1 CD-ROM.

GODOY, L. J. G.; VILLAS BÔAS, R. L. Produção e consumo de gramas crescem no Brasil. **Agrianual 2006**: anuário da agricultura brasileira, São Paulo, p. 35-38, 2005. 10. ed.

GODOY, L. J. G.; VILLAS BÔAS, R. L. Tecnologias para auxiliar o manejo da adubação na produção de gramas In: SIMPÓSIO SOBRE GRAMADOS, 5., 2010, Botucatu. **Tópicos atuais em gramados II**: anais... Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2010. p. 92-102.

GRANT, C. A. et al. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agrônômicas**, Piracicaba, n. 95, p.1-5, 2001.

GURGEL, R. A. G. Principais espécies e variedades de grama. In: SIMPÓSIO SOBRE GRAMAS, 1., 2003, Botucatu. **Produção, implantação e manutenção**: anais... Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Departamento de Recursos Naturais, 2003. 1 CD-ROM.

HALL, J. R.; MILLER, R. W. Effect of phosphorus season and method of sampling on foliar analysis of Kentucky Bluegrass. In: INTERNATIONAL TURFGRASS RESEARCH CONFERENCE, 2., 1974., **Proceedings...** Madison: American Society of America, 1974. p. 155-171.

HENSLEY, D.; DEPUTY, J. **Using tensiometers for measuring soil water and scheduling irrigation**. Honolulu: University of Hawaii at Manoa, 1999. Disponível em: <<http://www.ctahr.hawaii.edu/publications>>. Acesso em: 26 nov. 2009.

HORTON, R.; ANKENY, M. D.; ALLMARAS, R. R. Effects of soil compaction on soil hydraulic properties. In: SOANE, B. D.; OUWERKERK, C. van (Eds.). **Soil compaction in crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1994. p. 141-165. (Developments in agricultural engineering, 11).

HUANG, B. **Turfgrass water use and conservation strategies**. Acta Horticulturae, v. 783, p. 221-228, 2008.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P. da; TORMENA, C. A. Aplicação da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 7, p. 1493-1500, jul. 2000.

KARCHER, D. E.; RICHARDSON, M. D. Quantifying turfgrass color using digital image analysis. **Crop Science**, Fayetteville, v. 43, p. 943-951, 2003.

KAY, B. D.; VANDENBYGAART, A. J. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. **Soil Tillage Research**, Guelph, v. 66, p. 107-118, 2002.

LAURETTI, R. L. Implantação de gramas por sementes In: SIMPÓSIO SOBRE GRAMAS, 1., 2003, Botucatu. **Produção, implantação e manutenção: anais...** Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Departamento de Recursos Naturais, 2003. 1 CD-ROM.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 317 p.

MARSH, A. W. Soil water irrigation and drainage. In: HANSON, A. A.; JUSKA, F. V. **Turfgrass science**. (cds). Madison: American Society Agronomy, 1969. p.155-186.

MCCRIMMON, J. N. Effects of mowing height, nitrogen rate, and potassium rate on palmetto and raleigh st. augustinegrass. **Journal of Plant Nutrition**, Louisiana, v. 27, n. 1, p. 1-13, 2004.

MEDEIROS, R. D.; SOARES, A. A.; GUIMARÃES, R. M. 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**, Lavras, v. 29, p. 940-947, 2005.

MILLS, H. A.; JONES, J. B. Jr. **Plant analysis handbook II: a practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide**. Athens: MicroMacro, 1996. 456 p.

- MORAES, N. B. de et al. Avaliação de cápsulas de cerâmica e instrumentos de medida de tensão usados em tensiômetros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 58-63, 2006.
- MORGAN, W. C. et al. The use of physical soil amendments, irrigation and wetting agent in turfgrass management. **California Turfgrass Culture**, Riverside, v. 16, n. 3, p.17-21., July 1966.
- MOTA, P. R. D. A. **Aplicação via fertirrigação de soluções com diferentes condutividades elétricas para produção de gébera (*Gerbera jamesonii* L.) sob ambiente protegido**. 2007. 133 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.
- MURDOCH, C. L.; OKAZAKI, E. N.; SHIGETA, D. T. **Plant analysis of turfgrass samples from golf putting greens in Hawaii**. Honolulu: University of Hawaii, College of Tropical Agriculture and Human Resources, 1983. 7 p. (Research extension bulletin, 25).
- NORTON, N. W. Differences between species, in forage quality. In: HACKER, J. B. (Ed.) **Commonwealth agricultural**. Bureaux: UK, 1982. p. 89-110.
- NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017 p.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 399 p. 1999.
- O'NEIL K. J.; CARROW, R. N. Kentucky bluegrass growth and water use under different soil compaction and irrigation regimes. **Agronomy Journal**, Manhattan, v. 74, p. 933-936, 1982.
- OLIVEIRA, M. R. et al. Índices de reflectância das folhas da grama esmeralda para avaliação do estado nutricional em nitrogênio. In: V SIMPÓSIO SOBRE GRAMADOS., 2010, Botucatu. **anais...** Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agronômicas, 2010. 1 CD-ROM.
- OLIVEIRA, C. V.; BAHIA, V. G.; PAULA, M. B. Compactação do solo devido à mecanização florestal: causas, efeitos e práticas de controle. **Informe Agropecuário**, Piracicaba, v. 191, p. 46-48, 1998.

OVIEDO, A. F. P.; RUDORFF, B. F. T. Índice de área foliar e resposta espectral da cultura do trigo (*triticum aestivum* L.) submetida ao estresse hídrico. **Revista Biociências**, Taubaté, v. 6, n. 2, p. 39-47, jul./dez. 2000.

PATTON, A.; BOYD, J. **Lawn care calendar**: zoysiagrass. Disponível em: <<http://www.uaex.edu>>. Acesso em: 15 fev. 2010.

PIEIDADE, A. R. **Desenvolvimento vegetativo de quatro espécies de grama irrigadas com efluente de estação de tratamento de esgoto doméstico**. 2004. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

PIMENTA, C. H. Produção de gramas. In: SIMPÓSIO SOBRE GRAMAS, 1., 2003, Botucatu. **Produção implantação e manutenção**: anais... Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Departamento de Recursos Naturais, 2003. 1 CD-ROM.

RAIJ, B. van et al. **Análises químicas para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC; FUNDAG, 2001. 285 p.

RIBEIRO, M. A. V. **Resposta da soja e do eucalipto a fósforo em solos de diferentes texturas, níveis de densidade e de umidade**. 1999. 71 p. Tese (Doutorado)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

RICHARDSON, M. D.; BOYD, J. W. Establishing *Zoysia japonica* from sprigs: effect of topdressing and nitrogen fertility. **Hortscience**, v. 36, n. 2, p. 377-379, 2001.

RICHARDSON, M. D.; KARCHER, D. E.; PURCELL, L. C. Quantifying turfgrass cover using digital image analysis. **Crop Science**, Fayetteville, v. 41, p. 1884-1888, 2001.

ROMERO, C. C.; DUKES, M. D. **Ornamental plant evapotranspiration and crop coefficient**: literature review. Gainesville: University of Florida, 2009. 10p.

SALVADOR, E. D.; MINAMI, K. Avaliação de diferentes substratos no cultivo de grama-esmeralda (*zoysia japonica* steud.) em bandejas. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 2, p. 237-243, mar./abr. 2002.

SCHWARTZ, B. M. et al. Heritability estimates for turfgrass performance and stress response in *Zoysia* spp. **Crop Science**, Madison, v. 49, p.2113-2118, Nov./Dez. 2009.

SILVA, D. F. **Análises quantitativa e qualitativa do crescimento e desenvolvimento de grama-batatais e grama-esmeralda em diferentes lâminas de irrigação**. 2004. 61 f. Tese (Doutorado Ciências Agrárias)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

SOCCOL, O. J. et al. Condutância hidráulica e tempo de resposta de tensiômetros utilizados em cultivos fertirrigados. **Revista de Ciências Agroveterinária**, Lages, v. 4, n. 1, p. 3-10, 2005.

TAYLOR, S. A. Managing irrigation water on the farm. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 8, p. 433- 436, 1965

THURMAN, P. C.; POKORNY, F. A. The relationship of several amended soil and compaction rates on vegetative growth, root development and cold resistance of “Tifgreen” Bermudagrass. **Journal. American Society Horticultural Sciences**, Georgia, v. 94, p. 463-465, 1969.

TRAPPE, J.; PATTON, A.; RICHARDSON. M. Bermudagrass cultivars differ in their traffic tolerance. **Arkansas Turfgrass Report**, Fayetteville, v. 568, p. 137-140, 2009.

TRENHOLM, L. E.; UNRUH, J. B. **Let your lawn tell you when to water**. Gainesville: University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences, 2008. (Document ENH63).

TRENHOLM, L. E.; UNRUH, J. B. **New and not so new lawn grasses for Florida**. Gainesville: University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences, 2006. IFAS Publication Number: ENH1033. Disponível em: <[http://edis.ifas.ufl.edu/document\\_ep288](http://edis.ifas.ufl.edu/document_ep288)>. Acesso em: 10 de fev. de 2010.

TRENHOLM, L. E.; UNRUH, J. B.; CISAR, J. L. **Watering your Florida lawn**. Gainesville: University of Florida, 2001 (Institute of Food and Agricultural Sciences, ENH-9).

TURFGRASS PRODUCERS INTERNATIONAL. **Turfgrass: functional, recreational e aesthetic**. Turf Resource Center, 2003. Disponível em: <<http://www.turgrassod.org/trc/statistics.html>>. Acesso em: 25 ago. 2009.

UNRUH, J. B. Biologia de gramas de clima quente. In: SIMPÓSIO SOBRE GRAMAS, 2., 2004, Botucatu. **Manejo das gramas na produção e em gramas formados: anais...** Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Departamento de Recursos Naturais, 2004. 1 CD-ROM.

USGA GREEN SECTION STAFF. USGA recommendations for a method of putting green construction. **USGA Green Section. Staff**, v. 31, n. 2, p. 1-33, 1993.

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

WATSCHKE, T. L. **Irrigation impacts your applications**. Disponível em: <[http://www.groundsmag.com/mag/grounds\\_maintenance\\_irrigation\\_impacts\\_applications/](http://www.groundsmag.com/mag/grounds_maintenance_irrigation_impacts_applications/)>. Acesso em: 26 jan. 2010.

WILD, A. Mass flow and diffusion. In: GREENLAND, D. J.; HAYES, M. H. B. (Eds.). **The chemistry of soil processes**. Chichester: John Wiley, 1981. p. 37-80.

WILLATT, S. T.; PULLAR, D. M. Changes in soil physical properties under grazed pastures. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 22, n. 4, p. 343-348, 1983.

YOUNGNER, V. B. et al. Water use and quality of warm-season and cool-season turfgrasses. **California Turfgrass Culture**, Riverside, n. 3, v. 31, p. 251-257, 1981.

ZANON, M. E. O mercado de gramas no Brasil, cadeia produtiva, situação atual e perspectivas. In: SIMPÓSIO SOBRE GRAMADOS, 1., 2003, Botucatu. **Produção, implantação e manutenção: anais...** Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2003. 1 CD-ROM.

ZANON, M. E.; PIRES, E. C. Situação atual e perspectivas do mercado de grama no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE GRAMADOS, 5., 2010. Botucatu. **Tópicos atuais em gramados II: anais...** Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2010. p. 47-53.