

SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

ESTADO NUTRICIONAL EM NITROGÊNIO DA GRAMA ESMERALDA AVALIADO POR MEIO DO TEOR FOLIAR, CLOROFILÔMETRO E IMAGEM DIGITAL, EM ÁREA ADUBADA COM LODO DE ESGOTO ⁽¹⁾

CLARICE BACKES ⁽²⁾; ROBERTO LYRA VILLAS BÔAS ^(2*); CLAUDINEI PAULO DE LIMA ⁽³⁾;
LEANDRO JOSÉ GRAVA DE GODOY ⁽⁴⁾; LEONARDO THEODORO BÜLL ⁽²⁾
ALESSANDRO JOSÉ MARQUES SANTOS ⁽⁵⁾

RESUMO

A intensidade da cor verde da folha pode ser alternativa para estimar a concentração de N na planta, devido à relação entre o teor de clorofila e o de N no tecido foliar. Objetivou-se neste trabalho avaliar índices da cor verde da grama esmeralda obtidos da análise da imagem digital e pelo uso do clorofilômetro para prever o estado nutricional em N fornecido pelo lodo de esgoto. O experimento foi instalado e desenvolvido em uma propriedade comercial de grama esmeralda, localizada na cidade de Itapetininga (SP). O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições e cinco doses de lodo de esgoto: 0, 10, 20, 30 e 40 Mg ha⁻¹, base seca. As doses de lodo aplicadas correspondem a 100, 200, 300 e 400 kg ha⁻¹ de nitrogênio disponível. Foram avaliadas as concentrações de N e a intensidade de coloração verde da folha pelo uso do clorofilômetro (ICV) e por meio da análise da imagem digital (G, H e ICVE) aos 45, 105 e 165 dias após a aplicação do lodo. Os valores de intensidade obtidos foram correlacionados com a concentração de N na lâmina foliar e com a taxa de cobertura do solo determinada nas mesmas épocas. A aplicação de doses de lodo de esgoto proporcionou aumento dos índices de cor verde e da concentração de N nas folhas da grama esmeralda. A concentração de N na lâmina foliar pode auxiliar a adubação nitrogenada em cobertura, pois proporcionou altas correlações com a taxa de cobertura do solo. O matiz (H) obtido com a imagem digital e a intensidade de cor verde da folha (ICV) obtida com o clorofilômetro correlacionaram-se com a concentração de N e com a taxa de cobertura do solo e, dessa forma, podem servir como índices na recomendação da adubação nitrogenada.

Palavras-chave: *Zoysia japonica* Steud, imagem digital, clorofilômetro, índice de cor verde.

ABSTRACT

LEAF NITROGEN NUTRITIONAL STATUS OF ZOYSIA GRASS EVALUATED BY NITROGEN CONCENTRATION, CHLOROPHYLL METER AND DIGITAL IMAGE, IN SEWAGE SLUDGE FERTILIZED AREAS

The intensity of leaf green color can be an alternative to estimate the N concentration because of the relationship between chlorophyll level and N in leaf tissue. The objective of the work was to assess green index of the zoysiagrass from the digital imaging analysis and the use of chlorophyll meter to predict the nitrogen nutritional status in sewage sludge fertilized areas. The experiment was carried out on a commercial property of zoysiagrass, located in the county of Itapetininga, State of São Paulo. The experimental design was completely randomized, with

⁽¹⁾ Projeto financiado pela FAPESP. Recebido para publicação em 19 de setembro de 2008 e aceito em 21 de janeiro de 2010.

⁽²⁾ Departamento de Recursos Naturais/ Ciência do Solo, Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP, Botucatu (SP). E-mail: claricebackes@hotmail.com; rlvboas@fca.unesp.br. (*) Autor correspondente; bull@fca.unesp.br.

⁽³⁾ Doutorando do Departamento de Produção Vegetal/ Agricultura, Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP, Botucatu (SP). E-mail: cplima@fca.unesp.br.

⁽⁴⁾ Unidade Diferenciada de Registro, UNESP/ Campus Experimental, Rua Nelson Brihi Badur, 430, 11900-000 Registro (SP). E-mail: legodoy@registro.unesp.br.

⁽⁵⁾ Universidade Estadual de Goiás - UnU Santa Helena de Goiás, Via Protestado Joaquim Bueno, 945, 75920-000, Santa Helena de Goiás (GO). E-mail: alessandro_59@hotmail.com

five sewage sludge doses: 0, 10, 20, 30 and 40 Mg ha⁻¹, on dry basis (equal to 0, 100, 200, 300 and 400 kg ha⁻¹) of N available and four replications. The N concentration and green hue intensity were evaluated by using chlorophyll meter (GHI) and by the digital image analysis (G, H and DGCI) at 45th, 105th and the 165th days after sewage sludge application. The intensity values were correlated with the N concentration in the leaf blade and with the soil cover rate determined in the same season. The application of sewage sludge doses increased the green rates and the N concentration in the Zoysia grass leaves. The N concentration leaf can help the nitrogen top-dressed application because it has high correlation with the soil cover rate. The hue (H) obtained with the digital image and green hue intensity (GHI) obtained with the chlorophyll meter are correlated with N concentration and with the soil cover rate and can serve as an index to assist in the recommendation of nitrogen fertilization.

Key words: *Zoysia japonica* Steud, digital image, chlorophyll meter, green color index.

1. INTRODUÇÃO

O nitrogênio é o nutriente que proporciona as maiores respostas no crescimento das gramas e a adubação nitrogenada adequada pode proporcionar a formação do tapete em menor tempo e com boa qualidade (GODOY, 2005).

Na falta de um índice do nitrogênio disponível no solo para tomada de decisão da dose do adubo nitrogenado aplicado durante o ciclo da cultura da grama, um dos métodos utilizados é avaliar o comportamento da planta (GODOY et al., 2006).

A concentração de nutrientes nas folhas de gramados, segundo PLANK e CARROW (2003), pode ser utilizada para: confirmar a suspeita de sintomas visuais de deficiência; verificar toxicidades; revelar a deficiência pela fome oculta; avaliar a eficiência dos fertilizantes aplicados; auxiliar na recomendação da adubação e monitorar o estado nutricional da planta no decorrer do ciclo. Entretanto, a tradicional amostragem e análise de tecidos vegetais requerem tempo, trabalho intenso e a coleta de várias amostras representativas (KRUSE et al. 2006). Além disso, para a cultura da grama com crescimento rápido das folhas e a prática da roçada, o tempo entre a coleta da amostra de folha e o recebimento do resultado torna-se a maior dificuldade na utilização desta técnica.

Como são necessárias altas doses de N para a produção de gramas, 350 a 400 kg de N ha⁻¹ (GODOY, 2005), os métodos de determinação do estado nutricional em N podem ser valiosa ferramenta de gerenciamento da adubação nitrogenada (RODRIGUEZ e MACCARTY, 2000).

Dentre as técnicas mais recentes com potencial para avaliar o estado nutricional de N da planta em tempo real, de forma rápida e com baixo custo, destaca-se a análise da intensidade do verde das folhas, determinada pelo uso do medidor indireto de clorofila SPAD, que possui correlação significativa e positiva com o teor de N na folha (CHAPMAN e BARRETO, 1997; MALAVOLTA et al., 2004; GODOY et al., 2008). Assim como para diversas culturas, a correlação positiva entre o teor de N na folha e a clorofila medida através do clorofilômetro SPAD-502 também foi verificada para a cultura da grama (RODRIGUEZ e MACCARTY, 2000 e LIMA et al. 2008).

MANGIAFICO e GUILLARD (2005), realizando a medição da cor verde na grama *Poa pratensis* com clorofilômetro verificaram que as medidas de refletância foram significativamente relacionadas com a concentração de clorofila.

A imagem digital também vem sendo utilizada para a obtenção de índices que expressam a cor verde da planta de maneira eficiente (KARCHER e RICHARDSON, 2003; GODOY, 2005).

A utilização de técnicas rápidas, como o clorofilômetro e a análise da imagem digital, que permitam a avaliação do estado nutricional em nitrogênio, diretamente no campo, pode otimizar a tomada de decisão quanto à recomendação da dose de N a ser aplicada, assim como para verificar a eficiência da adubação realizada, melhorando o manejo da adubação nitrogenada e conseqüentemente da produção de grama.

Objetivou-se neste trabalho avaliar os índices da cor verde da grama esmeralda obtidos da análise da imagem de câmera digital e pelo uso do clorofilômetro, a fim de prever o estado nutricional em N para serem utilizados no manejo da adubação nitrogenada.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado e desenvolvido em uma propriedade comercial de grama esmeralda, localizada na cidade de Itapetininga (SP), nas coordenadas geográficas 23°91' de latitude sul e 48°03' de longitude oeste de Greenwich e altitude média de 636 m.

O solo é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico, textura argilosa, conforme nomenclatura do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999). De acordo com o resultado da análise, o solo possuía as seguintes características químicas, antes da instalação do experimento: pH (CaCl₂) de 4,6; 38 g dm⁻³ de M.O.; 3 mg dm⁻³ de P (resina); 54; 0,9; 26 e 7 mmol_c dm⁻³ de H+Al, K, Ca e Mg, respectivamente; e saturação por bases (V) de 36%.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco doses de lodo de esgoto: 0, 10,

20, 30 e 40 Mg ha⁻¹, base seca e quatro repetições. As doses de lodo aplicadas foram calculadas com base no teor de N presente no lodo, na taxa de mineralização de 30% ao ano e na necessidade da cultura, correspondendo a 100, 200, 300 e 400 kg ha⁻¹ de nitrogênio disponível. As parcelas experimentais foram de 2,2 x 5 m e a bordadura com de 0,5 m em cada extremidade.

O lodo de esgoto utilizado foi proveniente da estação de tratamento de esgoto da cidade de Jundiá (SP), que utiliza o processo de lagoas aeradas de mistura completa, seguida de lagoa de decantação para sua higienização, com a concentração de 32; 18; 2,1; 13,1; 2,8; 24; 520 e 289 g kg⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg, S, M.O. e carbono orgânico respectivamente; 722; 28.800; 674; 500; 0,59; 7,21; 152,7; <0,1; 34,5 e 184,4 mg kg⁻¹ de Cu, Fe, Mn, Zn, As, Cd, Cr, Hg, Ni e Pb, respectivamente, umidade de 68%; relação C/N 9; e pH 5,9. As quantidades de metais presentes no lodo de esgoto utilizado estão bem abaixo dos limites estabelecidos pela norma do CONAMA (2006) que regulamenta a utilização do lodo de esgoto na agricultura.

A calagem foi realizada na área total, aplicando-se sobre a superfície do solo 1,2 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT de 91%), considerando a saturação por bases desejada igual a 60%. O lodo de esgoto foi espalhado sobre a superfície do solo, 20 dias após a colheita dos tapetes, e logo após a aplicação do calcário.

Foram utilizados dois métodos para a determinação da cor verde da grama: o clorofilômetro e a análise da imagem digital.

A variação da intensidade de coloração verde (ICV) foi realizada pelo medidor portátil Chlorophyll Meter, modelo SPAD-502 (ICV), posicionando a área de medida do clorofilômetro no centro da lâmina foliar, com o auxílio de pinça, e tomando-se uma medida por folha. Foram realizadas 30 medidas por parcela, com o cuidado para evitar folhas secas, com manchas ou danificadas.

As imagens digitais foram obtidas de uma câmera digital Sony DSC-W30 6.0 mega pixels fixada na extremidade de uma estrutura na forma de um "L" invertido para que as imagens fossem obtidas paralelamente à superfície do gramado, em mesma altura (1,6 m). As imagens foram transferidas para um computador e cada uma dessas figuras foi analisada no programa Corel Photo Paint v. 10.410 (COREL CORPORATION, 2004).

Foram anotados os valores médios dos componentes vermelho, verde e azul (RGB) da imagem analisada, dado pelo comando "histograma", no menu "imagem", após selecionar apenas o canal verde. Os componentes vermelho, verde e azul são as quantidades de luz vermelha, verde e azul transmitidas pela imagem e são medidas em valores de 0 a 255. Estes componentes

são combinados em intensidades para produzir todas as outras cores.

Como somente o componente verde (G) não define a cor verde, dependendo também dos componentes vermelho (R) e azul (B), os resultados em RGB foram compilados para uma planilha no MS Excel® e convertidos para valores HSB ("Hue" – matiz, "Saturation" – saturação e "Brighness" – brilho), de acordo com KARCHER e RICHARDSON (2003).

O matiz descreve o pigmento de uma cor e é medido em graus de 0 a 360 (0 graus, vermelho; 60 graus, amarelo; 120 graus, verde; 180 graus, ciano; 240 graus azul e 300 graus magenta). A saturação descreve a vivacidade ou o esmaecimento de uma cor e é medida em porcentagem de 0 a 100 (quanto maior a porcentagem maior a vivacidade da cor). O brilho descreve a quantidade de branco que uma cor contém e é medido em porcentagem também de 0 a 100 (quanto maior a porcentagem, maior o brilho da cor).

Após a obtenção dos valores de HSB foi calculado o Índice de Cor Verde-Escuro (ICVE) proposto por KARCHER e RICHARDSON (2003), que varia de 0 a 1.

Os índices obtidos pela imagem digital utilizados foram: o componente verde da cor (G), o matiz da cor verde (H) e o índice de cor verde-escuro (ICVE).

A taxa de cobertura do solo pela grama (TCS) também foi avaliada através da análise de imagem digital no programa Corel Photo Paint v. 10.410, que permite contar o número de pontos (pixels) de uma determinada cor (e suas tonalidades) existente na imagem. Selecionando o número de pixels verdes e palha na imagem, foi possível determinar a porcentagem do solo coberto pela grama, conforme metodologia citada por GODOY (2005).

Para determinação da concentração de N, foram coletadas, manualmente, as lâminas foliares mais superiores da grama, de acordo com a metodologia de PLANK e CARROW (2003), lavadas em água deionizada e acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa de circulação e renovação de ar forçada por 72 horas na temperatura de 65 °C. Após a secagem, as lâminas foram moídas e enviadas para o Laboratório de Nutrição de Plantas da FCA para determinação da concentração de N, de acordo com a metodologia modificada de MALAVOLTA et al. (1997).

As avaliações de ICV, componente verde (G), matiz da cor verde (H), índice de cor verde escuro (ICVE), concentração de N na lâmina foliar e taxa de cobertura do solo pela grama esmeralda (TCS) foram realizadas aos 45 (novembro/06), 105 (janeiro/07) e 165 (março/07) dias após a aplicação do lodo (DAA).

Os resultados foram submetidos à análise estatística de acordo com GOMES (2000), considerando como único fator de variação as doses de lodo, dentro de cada época, com aplicação da análise de variância e posterior análise de regressão, utilizando o programa "SISVAR" versão 4.2 (FERREIRA, 2003). As correlações lineares estabelecidas foram obtidas pelo método de Pearson.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 1, verifica-se que aos 45 DAA houve aumento linear na concentração de N na lâmina foliar, atingindo 28 g kg^{-1} com a dose de 40 Mg ha^{-1} de lodo. Esta concentração está um pouco acima da faixa considerada ideal por MILLS e JONES (1996) para a grama esmeralda, que é de 20 a 24 g kg^{-1} . Para a dose de lodo (31 Mg ha^{-1}) que proporcionou a formação do tapete de grama em menor tempo e com maior resistência ao manuseio (Figura 1), resultado obtido de BACKES et al. (2009), a concentração correspondente de N foi 27 g kg^{-1} . Em estudos realizados tanto em casa de vegetação quanto em campo, aplicações de biossólidos compostados em doses crescentes resultaram em aumento linear da concentração de nitrogênio na lâmina foliar (SIKORA et al. 1980, TESTER et al. 1982, TESTER, 1989).

Aos 105 e 165 DAA, embora o modelo quadrático tenha sido mais bem ajustado, as maiores concentrações de N (17 e 21 g kg^{-1}) foram atingidas, de acordo com as equações, acima das doses estudadas, 46 e 43 Mg ha^{-1} respectivamente. Contudo para a dose de 31 Mg ha^{-1} de lodo, a concentração de N correspondente

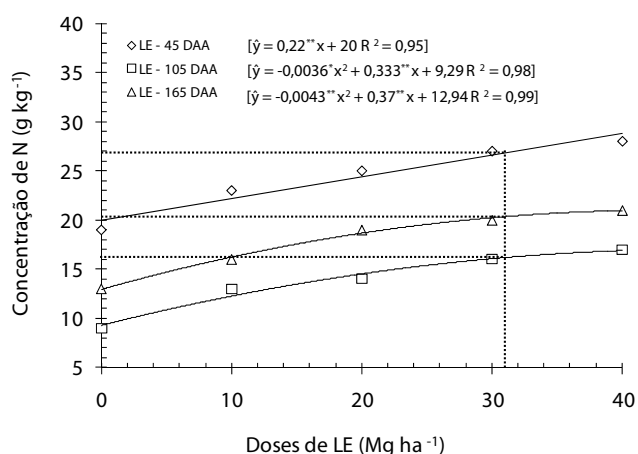


Figura 1. Concentração de N na folha da grama *Z. japonica* (esmeralda) em função de doses de lodo de esgoto, aos 45, 105 e 165 dias após a aplicação (DAA). Cada símbolo no gráfico representa o valor médio de quatro repetições. A linha pontilhada indica a dose ótima de lodo para a produção de tapete em menor tempo e com maior resistência obtida por BACKES et al. (2009) correspondente à concentração ótima de N.

foi semelhante, de, aproximadamente, 16 e 20 g kg^{-1} , respectivamente aos 165 e 105 DAA.

A concentração de N foi maior aos 45 DAA quando comparado com as demais épocas avaliadas, possivelmente pela presença de N já disponível e pela rápida liberação inicial desse nutriente do lodo, uma vez que o lodo foi aplicado de uma só vez, sem parcelamento das doses. KELLING et al. (1977), em estudo realizado sob condição de campo, com aplicações de $3,75$; $7,5$; 15 ; 30 e 60 Mg ha^{-1} de lodo líquido digerido anaerobiamente, verificaram que 50% do N orgânico aplicado ao solo via lodo, após um período de três semanas, foi mineralizado. Em estudos de incubação de lodo de esgoto as mais variadas taxas de mineralização do nitrogênio orgânico são verificadas: de 40% em 15 semanas (EPSTEIN et al, 1978), de 54% em 17 semanas (MAGDOFF e AMADON, 1980), de 15% em 16 semanas (PARKER e SOMMERS, 1983), de 1 a 58% em 26 semanas (CHAE e TABATABAI, 1986) e de 31% em 15 semanas de incubação (BOEIRA et al, 2002).

Deve-se considerar também que há tendência natural de diminuição da concentração de N na folha ao longo do ciclo, dado pelo efeito diluição, ou seja, com o aumento da massa da planta o N se redistribui por toda a massa. Lembrando ainda que ao longo do ciclo foram realizadas roçadas com o recolhimento das aparas, ou seja, uma boa quantidade de nutrientes foi removida com elas.

As doses de lodo influenciaram significativamente a intensidade da cor verde de folha (ICV) da grama esmeralda, medida com o clorofilômetro, nas três épocas amostradas (Figura 2). A coloração verde mais intensa significa, provavelmente, maior concentração de clorofila, que pode favorecer a taxa fotossintética e, conseqüentemente, o aumento da produção de carboidratos e enraizamento mais rápido dos tapetes após o transplante (CHRISTIANS, 1998).

Na figura 2 observa-se que os valores de ICV variaram linearmente de 30,4 a 35,6 unidades SPAD aos 45 DAA, em função das doses de lodo de esgoto. Para a dose de lodo ótima de 31 Mg ha^{-1} , o ICV correspondente foi de, aproximadamente, 35 SPAD. Segundo CARROW et al. (2001), quando a dose de N é aumentada em gramados deficientes em N, há um incremento no conteúdo de clorofila, proporcionando resposta linear quanto à cor verde da grama.

A ICV aos 45 DAA foi maior quando comparada com as demais épocas avaliadas, provavelmente pela maior liberação de nitrogênio que deve ter ocorrido até esta época e/ou pelo mais adequado aproveitamento do N no solo disponível para as plantas. GONÇALVES (2005), avaliando o nitrogênio presente no lodo de esgoto da ETE de Jundiaí, determinou que 17% do N presente no lodo está na forma disponível (nitríca e amoniacal),

estando o restante na forma orgânica. Segundo BOEIRA (2004), o lodo aplicado em campo pode liberar, à solução do solo, grande quantidade de N mineral nos primeiros dias após sua aplicação, se houver condições propícias à mineralização da matéria orgânica, e as quantidades mineralizadas vão diminuindo ao longo do tempo, com tendência de estabilização aos três meses.

Aos 105 DAA houve ajuste mais adequado ao modelo quadrático, sendo atingido o ponto de inflexão (29,7 SPAD) com a dose de 28 Mg ha⁻¹ de lodo, pouco inferior à dose ótima constatada por BACKES et al. (2009). Segundo BEARD (1973), quando as doses de N são muito altas pode não haver resposta ou haver redução na cor verde da grama por causa da taxa de crescimento muito alta, que pode provocar a redução da concentração de clorofila pelo efeito de diluição.

Aos 165 dias após a aplicação do lodo, houve novamente aumento linear do ICV com o maior valor (28,5 SPAD) verificado na maior dose, próximo do ICV (27,0 SPAD), na dose ótima de lodo de 31 Mg ha⁻¹. Como as medidas foram feitas em momentos diferentes, fica evidente que há alteração na ICV, em função da idade da planta, devendo-se considerar que além do teor de N no solo, a superfície da parte aérea aumenta, diluindo o N na planta. Vale ressaltar também que o primeiro corte da grama com a coleta das aparas e, possivelmente, parte dos nutrientes, foi realizado logo após a leitura realizada aos 105 DAA.

GODOY e VILLAS BÔAS (2004) atestam que valores acima de 37 unidades SPAD podem ser considerados adequados para acelerar a cobertura do gramado pela grama *Z. japonica*. Mesmo não tendo anotado valores acima de 37 unidades SPAD em nenhuma das avaliações realizadas, a dose de 31 Mg ha⁻¹ de lodo, com índices de 27 a 35 unidades SPAD, proporcionou a formação de tapetes em 5,5 meses, tempo bem abaixo da média nacional, que é 10 a 12 meses (BACKES et al., 2009).

GODOY (2005) verificou que somente as gramas que receberam as duas maiores doses de N (450 e 600 kg ha⁻¹) atingiram ICV maior que 37 unidades SPAD aos 90, 192 e 296 dias após o corte do tapete anterior (DAC). Quando não foi aplicado N, os valores de índice SPAD foram de 24,5, 22,9 e 28,9 aos 124, 192 e 296 DAC, respectivamente, aumentando no fim do ciclo (setembro). No presente trabalho, os valores da ICV para as gramas que não receberam a adubação com lodo foi de 30, 25 e 23 SPAD aos 45, 105 e 165 DAA, respectivamente, reduzindo com o decorrer do ciclo devido à ocorrência de menores temperaturas (junho).

O componente verde da imagem digital (G) foi influenciado pelas doses de lodo de esgoto apenas aos 45 dias após a aplicação, sendo constatado o valor de 126 para a dose de lodo de 31 Mg ha⁻¹. Houve efeito linear

decrecente com o componente de luz verde decrescendo com o aumento das doses de lodo (Figura 3). Quanto menor o valor de G mais intensa a cor verde, e por esse motivo há uma redução do seu valor com o aumento das doses de lodo de esgoto. Contudo, o componente verde (G) da imagem digital não foi adequado para avaliar a cor verde da grama no decorrer do ciclo (105 e 165 DAA) e, dessa forma, não permitiu ajuste dos valores em função das doses de lodo nestas outras datas. GODOY (2005), avaliando doses crescentes de N em grama esmeralda, dentre os índices utilizados para quantificar a cor verde

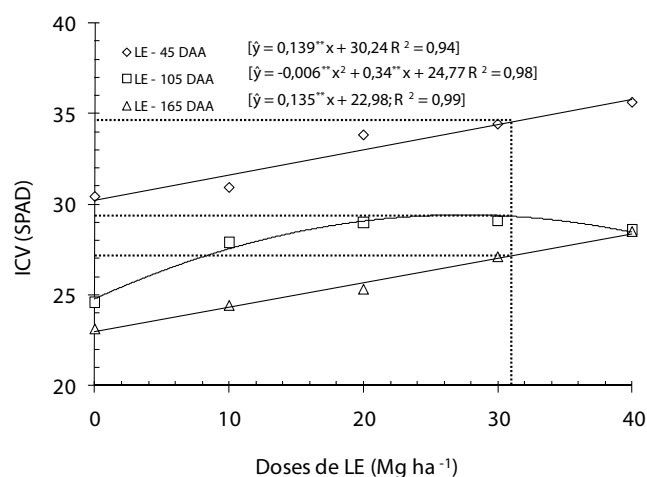


Figura 2. Intensidade de Cor Verde da folha (ICV) da grama *Z. japonica* (esmeralda) em função de doses de lodo de esgoto, aos 45, 105 e 165 dias após a aplicação (DAA). Cada símbolo no gráfico representa o valor médio de quatro repetições. A linha pontilhada indica a dose ótima de lodo para a produção de tapete em menor tempo e com maior resistência obtida por BACKES et al. (2009) correspondente à ICV ótima.

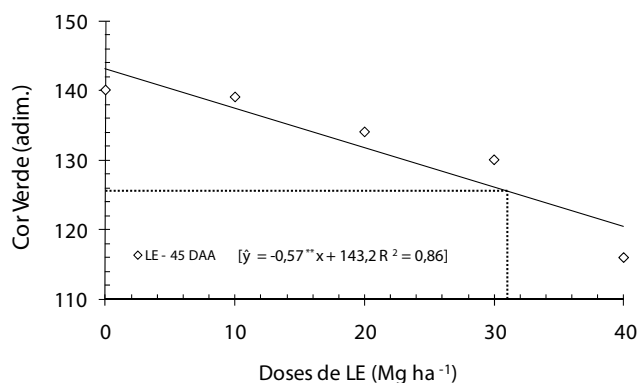


Figura 3. Cor verde (G) da grama *Z. japonica* (esmeralda) em função de doses de lodo de esgoto, aos 45 dias após a aplicação (DAA). Cada símbolo no gráfico representa o valor médio de quatro repetições. A linha pontilhada indica a dose ótima de lodo para a produção de tapete em menor tempo e com maior resistência obtida por BACKES et al. (2009) correspondente à cor verde (G) ótima.

da grama, obtidos da análise da imagem digital, verificou que o componente verde (G) não variou nem com as doses de N, nem com o parcelamento das doses, não sendo adequado para avaliar a cor verde da grama. Além disso, os valores variaram muito com o decorrer do ciclo, o que dificulta o estabelecimento de valores de referência. Isto acontece porque não foram considerados os outros componentes da imagem (vermelho e azul), como citado por KARCHER e RICHARDSON (2003).

O matiz da cor verde da imagem da grama (H) (Figura 4) e o índice de cor verde-escuro (ICVE) (Figura 5), ambos calculados a partir da quantidade de luz vermelha, verde e azul, variaram significativamente com as doses de lodo aos 45 e 105 DAA. Aos 165 dias após a aplicação do lodo, houve variação significativa apenas para o matiz da cor verde da grama (H).

Para o matiz da cor verde da folha, houve um ajuste linear em função das doses de lodo de esgoto (Figura 4). Os valores variaram de 71 a 98° com as doses de lodo, sendo o menor valor atribuído ao tratamento que não recebeu adubação e o maior valor ao tratamento que recebeu 40 Mg ha⁻¹ de lodo. O valor de 71° está próximo da cor amarela (60°), caracterizando a clorose das folhas, sintoma típico da deficiência de N, causado pela redução da concentração de clorofila. Os valores de H na dose zero, medidas aos 105 e 165 DAA, possivelmente aumentaram em função da própria decomposição do N presente em raízes e rizomas. KARCHER e RICHARDSON (2003) constataram valores do matiz da cor verde variando entre 83,6° a 86,6° para as doses de 48, 72 e 96 kg ha⁻¹ de N em gramado formado de *Z. japonica*. Os valores observados no presente trabalho, referentes à dose ótima para produção do tapete de grama (31 Mg ha⁻¹), variaram de 90 a 96°, sendo bem superior ao resultado obtido por KARCHER e RICHARDSON (2003) devido à dose de lodo equivaler à dose bem superior (310 kg ha⁻¹ de N) à utilizada pelos autores.

Os valores de ICVE variaram de 0,39 para a grama que não recebeu lodo de esgoto (provavelmente deficiente em N) a 0,55 na que recebeu a dose de 40 Mg ha⁻¹ (Figura 5). Para a dose de lodo ótima de 31 Mg ha⁻¹, o ICVE correspondente variou de 0,50 a 0,52. KARCHER e RICHARDSON (2003), para a grama "*creeping bentgrass*" (*Agrostis palustris* L.), verificaram valores que variaram de 0,37 a 0,50 para a condição de não adubação com nitrogênio e para a maior dose (600 kg ha⁻¹) respectivamente. GODOY (2005) notou valores semelhantes para a grama Santo Agostinho, 0,36 para a testemunha e 0,48 quando aplicada a dose de 600 kg ha⁻¹ de N.

Na tabela 1, são apresentados os valores dos coeficientes de correlação linear (r) e sua significância entre os índices de cor G, H e ICVE da imagem digital e ICV obtida pelo clorofilômetro e a concentração de N na lâmina foliar e taxa de cobertura do solo (TCS) pela grama

esmeralda. A concentração de N foliar propiciou as maiores correlações com a taxa de cobertura do solo, taxa que expressa a velocidade de produção do tapete de grama, r = 0,95, 0,94 e 0,93 aos 45, 105 e 165 DAA respectivamente.

A ICV medida pelo clorofilômetro, além de apresentar boa correlação com a concentração de N na lâmina foliar, também proporcionou correlação positiva com a TCS. RODRIGUEZ e MACCARTY (2000) verificaram variações dos valores de clorofilômetro com as doses de N na grama Santo Agostinho e correlações com altos

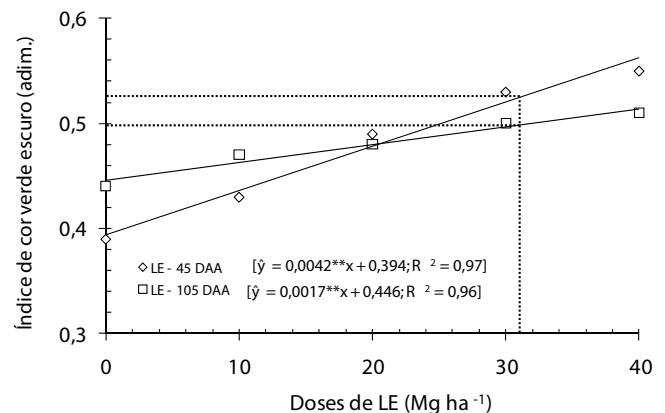


Figura 4. Matiz da cor verde (H) da grama *Z. japonica* (esmeralda) em função de doses de lodo de esgoto, aos 45, 105 e 165 dias após a aplicação (DAA). Cada símbolo no gráfico representa o valor médio de quatro repetições. A linha pontilhada indica a dose ótima de lodo para a produção de tapete em menor tempo e com maior resistência obtida por BACKES et al. (2009) correspondente ao matiz da cor verde (H) ótima.

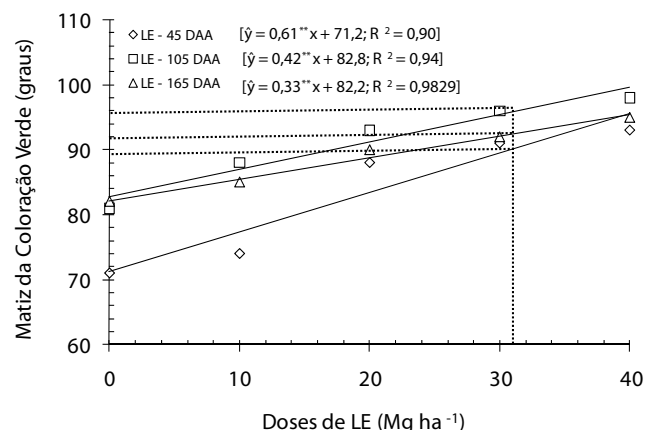


Figura 5. Índice de Coloração Verde Escuro (ICVE) da grama *Z. japonica* (esmeralda) em função de doses de lodo de esgoto, aos 45 e 105 dias após a aplicação (DAA). Cada símbolo no gráfico representa o valor médio de quatro repetições. A linha pontilhada indica a dose ótima de lodo para a produção de tapete em menor tempo e com maior resistência obtida por BACKES et al. (2009) correspondente ao ICVE ótimo.

Tabela 1. Coeficiente de correlação linear (r) e sua significância entre os índices de cor da imagem digital e da ICV e a concentração de N na lâmina foliar e taxa de cobertura do solo (TCS) pela grama Esmeralda

índices	TCS			N		
	45 DAA	105 DAA	165 DAA	45 DAA	105 DAA	165 DAA
ICV	0,72**	0,88**	0,80**	0,81**	0,80**	0,84**
G	-0,81**	-0,48*	-0,31 ^{ns}	-0,83**	-0,49*	-0,31 ^{ns}
Matiz (H)	0,83**	0,88**	0,79**	0,88**	0,85**	0,82**
ICVE	0,91**	0,83**	0,23 ^{ns}	0,93**	0,79**	0,26**
N	0,95**	0,94**	0,93**	--	--	--

ICV: Intensidade da cor verde da folha, obtida pelo clorofilômetro; cor G: matiz (H) e ICVE: Índice de cor verde escuro da folha são índices obtidos da análise da imagem digital da grama. *, **, ns: significativo a 5%, 1% e não significativo.

coeficientes entre valores e a concentração de clorofila ($r = 0,79$), índice de qualidade visual ($r = 0,74$) e a concentração de N na folha ($r = 0,71$). LIMA et al. (2008) também obtiveram correlações positivas entre a intensidade de cor verde medida pelo clorofilômetro e a concentração do N na lâmina foliar da grama esmeralda adubada com doses crescentes de N na forma de ajifer. As correlações foram de 0,67; 0,66; 0,80; e 0,70 aos 138, 168, 197 e 240 dias após a colheita do tapete anterior.

O componente verde (G) da imagem digital se correlacionou significativamente com a taxa de cobertura do solo e com concentração de N, com bom coeficiente de correlação linear, apenas aos 45 dias após a aplicação do lodo. Segundo KARCHER e RICHARDSON (2003), embora pareça ser intuitiva a utilização somente da quantidade de luz verde (G) para quantificar a cor verde da imagem, as intensidades da luz vermelha e da azul podem interferir na cor verde da imagem.

Para o matiz (H), que é calculado com base nas três cores da imagem (RGB – vermelho verde e azul) houve também uma boa correlação tanto com a taxa de cobertura, como com a concentração de N nas três épocas avaliadas. O H obtido com a imagem digital proporcionou correlação positiva mais forte com o N do que a ICV obtida pelo clorofilômetro, aos 45 e 105 DAA. Já para o ICVE, calculado com base no matiz, na saturação e no brilho houve correlação positiva apenas aos 45 e 105 DAA.

Dentre os índices utilizados para quantificar a cor verde da grama, obtidos da análise da imagem digital, pode-se dizer que o matiz da cor verde da imagem da grama (H) foi mais eficiente permitindo maiores correlações com a TCS e com o N em todas as épocas amostradas. A ICV, medida pelo clorofilômetro também foi eficiente, mas os problemas da utilização do clorofilômetro (ICV) estão relacionados à dificuldade da medida, devido às folhas dessa grama serem muito finas, curtas e enrolarem rapidamente após destacadas da planta, além de área de leitura muito pequena (6 mm²), observações feitas também por GODOY (2005) que acrescenta, ainda, o elevado custo e a necessidade de importação do aparelho. Além disso, a área amostrada para calcular os índices com base na imagem digital é muito

maior (2 m² por amostra), já que se utiliza a imagem digital de milhares de folhas, contra a amostragem de 30 folhas por parcela na medida da ICV pelo clorofilômetro.

4. CONCLUSÕES

1. A aplicação de lodo de esgoto aumenta os índices de cor verde e a concentração de N nas folhas da grama esmeralda.

2. A concentração de N na lâmina foliar pode auxiliar a adubação nitrogenada em cobertura, pois proporciona altas correlações com a taxa de cobertura do solo.

3. O matiz (H) resultante da imagem digital e a intensidade de cor verde da folha (ICV) obtida com o clorofilômetro se correlacionaram com a concentração de N e com a taxa de cobertura do solo e podem servir de índice para auxiliar na recomendação da adubação nitrogenada da grama esmeralda.

REFERÊNCIAS

- BACKES, C.; Bull, L.T.; GODOY, L.J.G.; BÔAS, R.L.V.; LIMA, C.P.;PIRES, E.D. Uso de lodo de esgoto na produção de tapetes de grama esmeralda. *Ciência Rural*, v.39, p.1045-1050, 2009.
- BEARD, J.B. *Turfgrass: Science and culture*. Englewood Cliffs, N.J: Prentice-Hall, 1973, 235p.
- BOEIRA, R.C. **Uso de lodo de esgoto como fertilizante orgânico**: disponibilização de nitrogênio em solo tropical. Jaguariúna: Embrapa, 2004. (Comunicado Técnico, 12)
- BOEIRA, R.C.; LIGO, M.A.V.; DYNIA, J.F. Mineralização de nitrogênio em solo tropical tratado com lodos de esgoto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, p.1639-1647, 2002.
- CARROW, R.N.; WADDINGTON, D.V.; RIEKE, P.E. **Turfgrass soil fertility and chemical problem: assessment and management**. Chelsea, MI: Ann Arbor Press, 2001. 400p.
- CHAE, Y.M.; TABATABAI, M.A. Mineralization of nitrogen in soils amended with organic wastes. *Journal of Environmental Quality*, v.15, p.193-198, 1986.

- CHAPMAN, S.C.; BARRETO, H.J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. **Agronomy Journal**, v.89, p.557-562, 1997.
- CHRISTIANS, N.E. **Fundamental of turfgrass management**. Chelsea, MI: Arbor Press, 1998. 301p.
- CONAMA–CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências**. Brasília, DF, 2006. 41p.
- COREL Corel PhotoPaint v.10.4. Corel Corporation and Corel Corporation Limited, USA, 2004.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, 1999. 412p.
- EPSTEIN, E.; KEANE, D.B.; MEISINGER, J.J.; LEGG, J.O. Mineralization of nitrogen from sewage sludge and sludge compost. **Journal of Environmental Quality**, v.7, p.217-222, 1978.
- FERREIRA, D.F. **Sisvar versão 4.2**. DEX/UFLA, 2003.
- GODOY, L.J.G. **Adubação nitrogenada para produção de tapetes de grama santo agostinho e esmeralda**. 2005, 106p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, Botucatu, SP, 2005.
- GODOY, L.J.G.; SANTOS, T.S.; VILLAS BOAS, R.L.; LEITE JUNIOR, J.B. Índice relativo de clorofila e o estado nutricional em nitrogênio durante o ciclo do cafeeiro fertirrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.217-226, 2008.
- GODOY, L.J.G.; VILLAS BÔAS, R.L. Doses de nitrogênio na produção de tapetes de grama esmeralda (*Zoysia japonica*). In: FERTBIO 2004, Lages. **Anais...** Lages, SC: UDESC/SBCS, 2004. (CD-ROM)
- GODOY, L.J.G.; VILLAS BÔAS, R.L.; BACKES, C. Intensidade da cor verde e concentração de nitrogênio na lâmina foliar da grama Santo Agostinho como indicativos do estado nutricional em nitrogênio. In: SIGRA, 3., 2006, Botucatu. **Anais...** Botucatu, SP: UNESP/FCA, 2006. (CD-ROM)
- GOMES, F.P. **Curso de Estatística experimental**. 14 ed. Piracicaba: ESALQ, 2000. 477 p.
- GONÇALVES, F.T.A. **Dinâmica do nitrogênio em solo tratado com lodo de esgoto e cultivado com café**. 2005, 73p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Agricultura Tropical e Subtropical, na área de Concentração de Gestão dos Recursos Agroambientais) - Instituto Agrônomico (IAC), Campinas, SP, 2005.
- KARCHER, D.E., RICHARDSON, M.D. Quantifying turfgrass color using digital image analysis. **Crop Science**, v.43, p.943-951, 2003.
- KELLING, K.A.; WALSH, L.M.; KEENEY, D.R.; RYAN, J.A.; PETERSON, A.E.A. field study of the agricultural use of sewage sludge: II. Effect on soil N and P. **Journal of Environmental Quality**, v.6, p.345-352, 1977.
- KRUSE, J.K.; CHRISTIANS, N.E.; CHAPLIN, M.H. Remote Sensing of Nitrogen Stress in Creeping Bentgrass. **Agronomy Journal**, v.98, p.1640-1645, 2006.
- LIMA, C.P.; FERNANDES, D.M.; BACKES, C.; LOPES, D.A.; SANTOS, A.J.M.; KIIHL, T.A.M. Intensidade de coloração verde e teor de nitrogênio na folha da grama esmeralda como indicativo do estado nutricional em nitrogênio. In: FERTBIO 2008, Londrina. **Anais...** Londrina, PR:SBCS, 2008. (CD-ROM)
- MAGDOFF, F.R.; AMADON, J.F. Nitrogen availability from sewage sludge. **Journal of Environmental Quality**, v.9, p.451-455, 1980.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 317p.
- MALAVOLTA, E.; NOGUEIRA, N.G.L.; HEINRICH, R.; HIGASHI, E.N.; RODRIGUEZ, V.; GUERRA, E.; OLIVEIRA, S.C.; CABRAL, C.P. Evaluation of nutritional status of the cotton plant with respect to nitrogen. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.35, p.1007-1019, 2004.
- MANGIAFICO, S.S.; GUILLARD, K. Turfgrass reflectance measurements, chlorophyll, and soil nitrate desorbed from anion exchange membranes. **Crop Science**, v.45, p.259-265, 2005.
- MILLS, H.A.; JONES JR., J.B. **Plant analysis handbook II: a practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide**. Athens, Georgia, EUA: MicroMacro, 1996. 456p.
- PLANK, C.O.; CARROW, R.N. **Plant analysis: an important tool in turf production**. University of Georgia, College of Agriculture and Environmental Sciences, 2003. Disponível em: <<http://www.cropsoil.uga.edu/~oplank/plantanalysisiturf/index.html>>. Acesso em 5 de agosto de 2003.
- PARKER, C.F.; SOMMERS, L.E. Mineralization of nitrogen in sewage sludges. **Journal of Environmental Quality**, v.12, p.150-156, 1983.
- RODRIGUEZ, I.R.; MACCARTY, L.B. Using a chlorophyll meter to determine the chlorophyll concentration, nitrogen concentration, and visual quality of St. Augustinegrass. **HortScience**, v. 35, p. 751-754. 2000.
- SIKORA, L.J.; TESTER, C.F.; TAYLOR, J.M.; PARR, J.F. Fescue yield response to sewage sludge compost amendments. **Agronomy Journal**, v.72, p.79-84, 1980.
- TESTER, C.F. Tall fescue growth in greenhouse, growth chamber, and field plots amended with sludge compost and fertilizer. **Soil Science**, v.148, p.452-458, 1989.
- TESTER, J.M.; SIKORA, L.J.; TAYLOR, J.M.; PARR, J.F. Nitrogen utilization by tall fescue from sewage sludge compost amended soils. **Agronomy Journal**, v.74, p.1013-1018, 1982.