

USO DO SISTEMA DE ANÁLISES POR INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR) PARA ANÁLISES DE MATÉRIA ORGÂNICA E FRAÇÃO ARGILA EM SOLOS E TEORES FOLIARES DE SILÍCIO E NITROGÊNIO EM CANA-DE-AÇÚCAR

USE OF ANALYSIS SYSTEM BY NEAR INFRARED (NIR) FOR THE ANALYSIS OF ORGANIC MATTER AND CLAY FRACTION IN SOILS AND LEAF LEVELS OF SILICON AND NITROGEN IN SUGAR CANE

Gustavo Alves SANTOS¹; Alan Bueno PEREIRA²; Gaspar Henrique KORNDÖRFER³

1. Graduando em Agronomia, Estagiário, Bolsista, Instituto de Ciências Agrárias - ICIAG, Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Uberlândia, MG, Brasil. asgustavo@yahoo.com.br ; 2. Engenheiro Agrônomo formado pela UFU, Uberlândia, MG, Brasil.

3. Professor, PhD, ICIAG - UFU, Uberlândia, MG, Brasil.

RESUMO: Com o avanço da Agricultura de Precisão, é crescente a demanda por análises de solo e folhas na tentativa de se conhecer com a maior exatidão possível quais as condições de fertilidade e nutrição respectivamente e com isso, reduzir custos e aumentar a objetividade das adubações. O sistema de análises por Infravermelho Próximo (NIR) é extremamente rápido e permite análises múltiplas de constituintes simultaneamente, exige pouca mão-de-obra e possibilita menores custos, além de não ser poluente por não utilizar reagentes químicos. Este trabalho teve como objetivo a avaliação do equipamento NIR na determinação do teor de matéria orgânica (M.O.), argila de solos e teores foliares de silício e nitrogênio. O estudo foi realizado no laboratório da usina de cana-de-açúcar “Jalles Machado S.A” situada no município de Goianésia/GO. Foram utilizadas 122 amostras de diferentes tipos de solos e 47 amostras de folhas de cana-de-açúcar de sete variedades. Os estudos de correlação entre os resultados obtidos pelo NIR e os obtidos pelos métodos analíticos de referência mostraram coeficientes de correlação “r” iguais a 0,87; 0,83; 0,77; 0,70, respectivamente para os teores foliares de N e Si e argila e M.O. dos solos, indicando maior eficiência do NIR para análises foliares. Para os quatro tipos de análises, não há diferença entre os resultados das análises realizadas pelo método NIR daqueles realizados pelos métodos convencionais. O NIR possui grande potencial de uso nos laboratórios de solos e plantas para atender às exigências do mercado atual.

PALAVRAS-CHAVE: Infravermelho – Próximo. Análise de solo. Análise foliar. Teor de nutrientes. Características físicas.

INTRODUÇÃO

Atualmente, com a modernização dos sistemas produtivos e o conseqüente avanço da agricultura de precisão em todo mundo, na qual se faz um monitoramento cada vez mais específico de áreas cultivadas, com amostragens geo-referenciadas e elaborações de mapas de fertilidade, abre-se caminho para o uso eficiente e sustentável de insumos como os fertilizantes (MEYER, 2000) o que além de proteger o meio ambiente, pode diminuir os custos de produção além de permitir diminuir os efeitos das variações espaciais e temporais dos fatores que limitam a produtividade agrícola, pois se utiliza apenas a dosagem necessária e compatível com a potencialidade do solo, sem excessos e faltas.

Cabe salientar que um bom número de decisões que são tomadas dentro de uma propriedade rural tem como base os laudos de análises de solos e, ou, tecido vegetal. Nesse sentido, o que está ocorrendo é um grande aumento na demanda por tais

análises em laboratórios especializados, buscando-se principalmente rapidez, precisão e menores custos para o produtor.

O sistema de análises por infravermelho próximo (NIR), apesar de ser uma técnica de análise bastante avançada tem sua eficácia dependente dos métodos analíticos tradicionais, já que é necessária a sua calibração a partir desses, porém pode vir a substituir grande parte das metodologias convencionais de análises em laboratório, garantindo a qualidade e as especificidades necessárias para cada análise. Sua grande vantagem em relação aos métodos tradicionais está na análise múltipla dos constituintes, no tempo máximo de um minuto, menor necessidade de mão-de-obra, rapidez e, portanto, menor custo, além de não ser poluente por não utilizar produtos químicos ou reagentes (AMORIM, 1996).

O presente trabalho teve como objetivo validar o sistema de análises por infravermelho próximo (NIR) para a determinação dos teores de

matéria orgânica (M.O.) e argila de solos e teores foliares de silício e nitrogênio.

Na área de solos e nutrição de plantas o sistema de análises por infravermelho próximo (NIR) pode ser usado na determinação dos teores de nutrientes na folha e qualidade da matéria prima cana-de-açúcar, tais como teor de sacarose e teor de fibras (MEYER, 1999). Os trabalhos já realizados com cana de açúcar para análises de pol, brix, porcentagem de açúcares redutores (AR), % levedo, % glicerol, % álcool e fibra da cana, mostraram que é possível o uso do sistema NIR com sucesso (AMORIM, 1996).

No Brasil, o interesse de pesquisadores pelo estudo do comportamento espectral de solos vem crescendo desde a década de 80, sendo esta linha de pesquisa relativamente recente e necessita de suporte à pesquisa para melhor entendimento dos efeitos da interação da energia eletromagnética entre os diferentes componentes do solo (DALMOLIN et al., 2005).

A textura e o teor de matéria orgânica (M.O.) são características importantes de serem conhecidas no manejo dos solos e no planejamento da irrigação, uma vez que possuem influência direta na taxa de infiltração de água, na aeração, na capacidade de retenção de água, na disponibilidade de nutrientes, como também na coesão e adesão das partículas do solo (SILVA et al., 2003). Além disso, a determinação de seus teores no solo permite fazer uso mais racional e eficiente dos fertilizantes.

A matéria orgânica desempenha um papel importante do ponto de vista químico, físico e biológico do solo (CONCEIÇÃO et al., 1999) e é a principal responsável pela retenção de nutrientes no solo, especialmente em solos arenosos (CIOTTA et al., 2003).

A textura do solo tem uma estreita relação com retenção de água e troca catiônica (RESENDE et al., 1997), refere-se, especificamente, às proporções relativas das partículas ou frações de areia, silte e argila na terra fina seca ao ar (TFSA). As frações granulométricas (areia, silte e argila) que caracterizam a textura de um solo, possuem dimensões variadas: argila (< 0,002mm), silte (0,002 a 0,05mm), areia (0,05 a 2mm) (RESENDE et al., 1997).

Com relação ao teor de matéria orgânica em solos, o método utilizado em rotina pela maioria dos laboratórios é o de Walkley-Black (WALKLEY; BLACK, 1934). Para análises de textura em solos, o método usual é o da pipeta (EMBRAPA, 1997).

O silício é um dos elementos mais abundantes da crosta terrestre e, recentemente, incluído na Legislação Brasileira de Fertilizantes

como um micronutriente benéfico para as culturas (BRASIL, 2004). Entre os principais benefícios do Si nas plantas destacam-se: aumento da tolerância ao estresse hídrico, aumento da capacidade fotossintética, diminuição do acamamento, redução da transpiração, aumento da resistência ao ataque de pragas e doenças (KORNDORFER et al., 2004) e maior produtividade e aumento da sua disponibilidade no solo quando usado em gramíneas como arroz, cana-de-açúcar, milho, trigo, sorgo, aveia, milheto e forrageiras e não gramíneas como feijão, tomate, brássicas e alface (ELAWAD; GREEN, 1979).

Solos muito intemperizados, altamente lixiviados e ácidos, são pobres em silício disponível para as plantas. Solos orgânicos também possuem limitações quanto à disponibilidade de silício (ARAÚJO, 1999). Devido ao fenômeno da dessilicização dos solos, o Si é continuamente perdido pelo processo de lixiviação (KORNDORFER et al., 2002). Nesses casos é necessária a adubação complementar com silício.

A determinação dos teores de silício em tecidos vegetais possibilita fazer a interpretação do estado nutricional das plantas. Quanto maior o teor foliar menor a necessidade de se fazer a adubação com Si. A determinação de Si no tecido vegetal baseia-se principalmente na digestão via úmida e determinação colorimétrica (KORNDORFER et al., 2004).

O N é importante no metabolismo das plantas, participando como constituinte de moléculas de proteínas, coenzimas, ácidos nucléicos, citocromos, clorofila etc., além de ser um dos nutrientes mais relevantes para o aumento da produtividade. A adubação nitrogenada influencia não só a produtividade e a qualidade dos produtos agrícolas (FERREIRA et al, 2001), mas também o teor de N nas folhas, o que é um dos fatores determinantes no conteúdo de clorofila (MALAVOLTA et al., 1997) e reflete sua disponibilidade no solo, sendo que a sua análise pode ser útil na detecção de deficiência de N, bem como na recomendação de adubação (KILLORN; ZOURARAKIS, 1992).

Para determinação do teor de nitrogênio em tecido vegetal, o método mais utilizado atualmente é o método Kjeldahl (BATAGLIA et al., 1983).

Os quatro métodos analíticos citados para determinação de argila e M.O em solos e Si e N no tecido foliar, são amplamente utilizados nos laboratórios, no entanto são todos relativamente demorados e exigem grande demanda de mão-de-obra, sendo assim, diante da importância atribuída a esses parâmetros na agricultura, está clara a

necessidade de se desenvolver métodos rápidos, eficientes e de baixo custo para o monitoramento de solos e estudo nutricional de plantas.

O espectro de um determinado material obtido com radiação infravermelho é o resultado da absorção de energia (luz) por moléculas orgânicas, particularmente aquelas que possuem grande número de ligações do tipo C-N, N-H e O-H (AMORIM, 1996).

De modo geral, os principais constituintes dos solos que influenciam seu comportamento espectral são a matéria orgânica, argilo-minerais, óxidos de ferro, além da distribuição granulométrica e umidade. A quantidade de radiação refletida (radiância) comparada com a quantidade incidente (irradiância) sobre a amostra, fornece a medida de reflectância captada por sensores. Como os solos apresentam diferentes constituintes, os mesmos podem ser qualificados pela análise de sua resposta espectral (DALMOLIN et al., 2005).

Além dessas absorções características na região do espectro no infravermelho, alguns minerais em solos apresentam distintas absorções nesta região, exemplo: grupos OH, SO₄ e CO₃. Outros constituintes que são espectralmente caracterizados na região do infravermelho próximo são, ferro, alumínio, magnésio e silício. Estes elementos estão fortemente relacionados com o teor de argila e com a superfície específica, e ambas são espectralmente ativas (DALMOLIN et al., 2005).

É possível obter boas calibrações do sistema de análises por infravermelho próximo (NIR) para avaliações de teores de argila e M.O. em solos, bem como para análise de N foliar (MEYER, 1999). A análise de 62 amostras de solo quanto aos seus teores de argila pelo sistema de análises por infravermelho próximo (NIR) e pelo método convencional, gerou coeficiente de determinação R² igual a 0,92, o que permitiu boa confiabilidade para o uso do equipamento (SCHUMANN; MEYER, 1999).

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no laboratório de controle de qualidade da usina açucareira “Jalles Machado S.A.” situada no município de Goianésia (GO). A empresa atua no mercado como produtora de açúcar orgânico, produtos de limpeza e, mais recentemente na geração de energia elétrica a partir da queima do bagaço da cana-de-açúcar.

O sistema de análises por infravermelho próximo (NIR) utilizado é o do equipamento da marca “BRAN+LUEBBLE” e modelo “MOD. INFRAALYZER 2000”, que trabalha, por varredura,

na faixa de comprimento de onda de 1445 a 2348 nm. O software utilizado no equipamento foi o SESAME - versão 2.1 desenvolvida pela BRAN + LUEBBE.

O princípio de funcionamento do equipamento baseia-se na emissão de luz infravermelha sobre a amostra que, após interagir com as moléculas do material, é refletida em todas as direções e medida por detectores.

A luz é originada por uma lâmpada alógena, passa por uma lente direcionadora e é periodicamente interrompida por um cortador rotativo. Em seguida, a luz passa por uma roda de filtros de interferência de alta precisão que selecionam os raios infravermelhos próximo de comprimento de onda específico; posteriormente passam por uma lente e por uma abertura até chegarem aos espelhos inclinados que refletem os raios em direção à amostra. Parte da luz penetrada é absorvida pela amostra e parte é refletida. A esfera de parede blindada a ouro contém um detector de chumbo que mede a porção refletida da luz incidente.

A informação espectral resultante é característica da amostra, e permite determinação de propriedades relevantes do produto ou material.

Dados espectrofotométricos de várias amostras, juntamente com os resultados das análises convencionais são armazenados no computador enquanto que sistemas operacionais (software) fazem a leitura de todos estes dados e derivam equações relacionando informações espectrofotométricas com parâmetros físicos e, ou, químicos (AMORIM, 1996).

A validação do sistema de análises por infravermelho próximo (NIR) do equipamento foi feita mediante a comparação dos resultados obtidos pelos métodos convencionais e os resultados obtidos pelo método proposto. Também foi feito o teste t-Student a 5% de significância para diferença entre médias, com o objetivo de testar a igualdade entre os resultados obtidos pelos dois métodos.

Análise de solo

Para este estudo foram selecionadas e utilizadas 122 amostras de solo dentre as coletadas para as análises de teor de argila e 110 amostras dentre as coletadas para as análises de M.O. As amostras foram coletadas em várias fazendas pertencentes à Usina Jalles Machado procurando-se abranger solos com diferentes classes, profundidades, características físicas e químicas.

As amostras de solo foram secadas até atingirem umidade de terra fina seca ao ar, ou seja, umidade higroscópica, em seguida, homogeneizadas

e peneiradas (abertura - malha de 2 mm). Em seguida, foram analisadas quanto ao teor de argila pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997) e quanto à matéria orgânica pelo método Walkley-Black (WALKLEY; BLACK, 1934).

Para análise por infravermelho próximo, no equipamento, colocou-se com auxílio de um "cachimbo" aproximadamente 10 cm³ de terra da amostra em uma cubeta a qual foi inserida no aparelho para se fazer a leitura espectral e conseqüente obtenção de resultados de argila e matéria orgânica das amostras. Toda a área da superfície da cubeta é atingida por luz infravermelha e para que a superfície da amostra ficasse plana, o preparo utilizado foi a passagem de uma régua para

a retirada do excedente da amostra.

Análise foliar

Para determinação do nitrogênio e silício nas folhas da cana, 49 amostras foram coletadas entre as sete variedades mais cultivadas pela usina (RB 835486, RB 867515, SP 841431, SP 801842, IAC 873396- SP 832847 e SP 860155). As amostras foram coletadas retirando-se o terço médio, sem a nervura central, da folha +3 (Figura1), ou segunda folha abaixo do TVD (Top Visible Dewlep) que está na folha +1. A coleta foi realizada entre 5 a 6 meses após corte da cana, o que significa que as folhas utilizadas para análises foram coletadas em plantas rebrotadas, plantas da soqueira do canavial.



Figura 1. Cartucho foliar de cana-de-açúcar com destaque para a folha +3.

Para análise, as folhas foram lavadas com água corrente e depois colocadas em estufa de circulação forçada a 65^oC durante 72 horas. O material vegetal, depois de seco foi moído em moinho tipo Willey e acondicionado em sacos plásticos. Posteriormente, as amostras de folhas secas e moídas foram analisadas quanto ao teor de silício segundo metodologia descrita por Korndorfer et al. (2004), quanto ao teor de nitrogênio pelo método Kjeldahl (BATAGLIA et al., 1983) e também pelo sistema de análises por infravermelho, onde foi colocado material moído suficiente para preencher todo o espaço da cubeta do aparelho (aproximadamente 10 cm³). Em seguida, fez-se o nivelamento da superfície da amostra utilizando-se uma régua. Toda a área da superfície da cubeta

contendo a amostra é lida no aparelho ao receber luz infravermelha.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos teores de argila (Gráfico 1) e de matéria orgânica (Gráfico 2), obtidos pelo NIR não diferiram dos resultados dos métodos convencionais nos solos estudados. Os coeficientes de correlação de 0,77 e 0,70 para teor de argila e matéria orgânica respectivamente indicam que o sistema de análises por infravermelho próximo (NIR) pode substituir com vantagens os métodos convencionais sem comprometer a precisão e exatidão dos resultados.

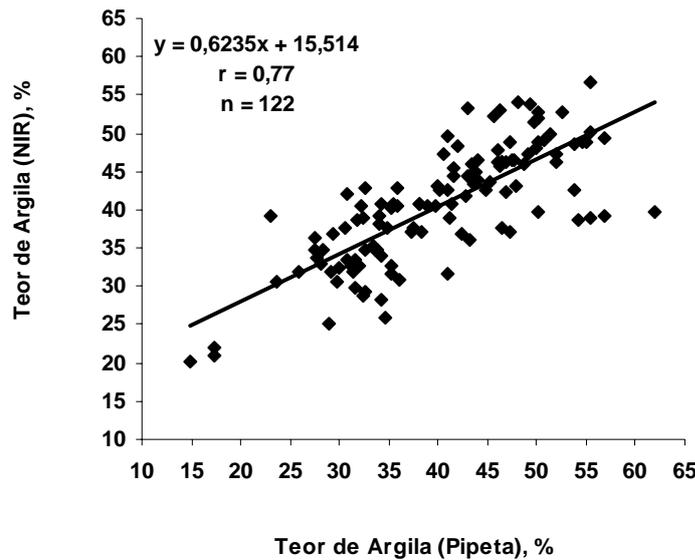


Gráfico 1. Correlação entre o método padrão (Pipeta) e o sistema de análises por infravermelho próximo (NIR) para determinação de teor de argila em solos.

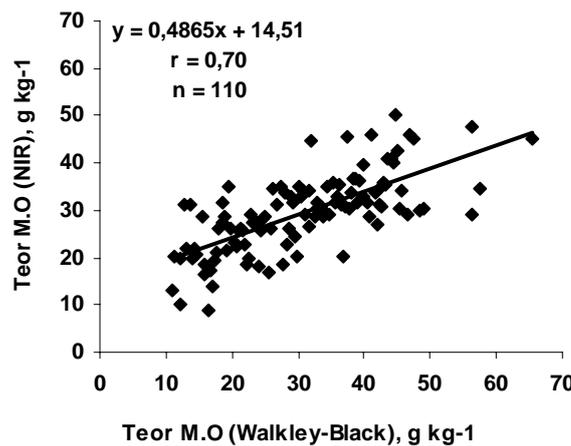


Gráfico 2. Correlação entre o método padrão (Walkley-Black) e o sistema de análises por infravermelho próximo (NIR) para determinação de matéria orgânica (M.O) em solos.

Tanto o teor de matéria orgânica quanto o teor de argila são determinações que normalmente apresentam alta variabilidade. Além disso, são variáveis que possuem importância relativamente pequena em relação aos critérios de recomendação de adubação, baseado nisso acredita-se que a introdução do sistema de análises por infravermelho próximo (NIR) poderia trazer agilidade, rapidez e

menor custo às análises de argila e matéria orgânica, sem comprometer a qualidade dos resultados.

Os teores de argila encontrados nos solos e determinados pelo método padrão variaram de 15 a 62 % e o valor médio foi de 40 % (Tabela 1). Para M.O. os valores variaram de 11,0 a 65,0 g kg⁻¹ e o valor médio foi de 30,0 g kg⁻¹ (Tabela 1).

Tabela 1. Valores máximos, mínimos e médios de argila e M.O. encontrados nas análises de solo pelos métodos da pipeta (EMBRAPA, 1997) e pelo método Walkley-Black (WALKLEY; BLACK, 1934), respectivamente.

Valor	Teor no solo	
	Argila (g kg ⁻¹)	M.O (g kg ⁻¹)

Mínimo	150	11
Máximo	620	65
Médio	400	30
Desvio Padrão	9,35	11,79
CV (%)	23,26	38,26

Na tentativa de explorar e entender melhor o comportamento do sistema de análises por infravermelho próximo (NIR) para a determinação de argila avaliou-se a eficiência do mesmo em três diferentes classes de teores de argila (15-30; 31-45; 46-62). Os coeficientes de correlação obtidos em cada classe podem ser observados na Tabela 2. É

possível verificar que, a medida que aumentam os teores de argila a eficiência do equipamento tende a diminuir.

Os coeficientes de correlação obtidos entre os métodos considerados padrões e o método proposto foram de 0,83 e 0,87 respectivamente para as análises de Si e N (Gráficos 3 e 4).

Tabela 2. Correlação entre o método padrão (Pipeta) e o sistema de análises por infravermelho próximo (NIR) para determinação de argila em diferentes classes.

Classe	Número de amostras	Coefficiente de correlação "r"
15-30 % argila	16	0,706
31-45 % argila	65	0,658
46-62 % argila	41	0,102

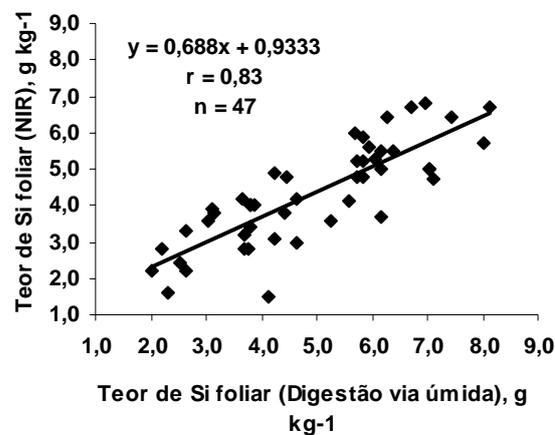


Gráfico 3. Correlação entre o método padrão (Digestão via úmida) e o sistema de análises por infravermelho próximo (NIR) para determinação de silício foliar.

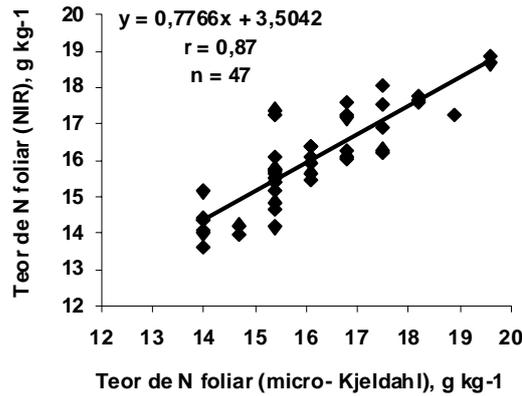


Gráfico 4. Correlação entre o método padrão (micro - Kjeldahl) e o sistema de análises por infravermelho próximo (NIR) para determinação de nitrogênio foliar.

Considerando que os níveis de correlação do sistema de análises por infravermelho próximo (NIR) são considerados altos e que as análises de Si e N no tecido vegetal realizadas pelos métodos padrões são complexas, demoradas e requerem grande quantidade de reagentes tóxicos, isso indica que esse sistema pode ser usado com sucesso para

determinação destes elementos em folha de cana-de-açúcar.

Os valores de Si encontrados nas folhas de cana e determinados pelo método padrão variaram de 2,0 a 8,1 g kg⁻¹ e o teor médio foi de 5,6 g kg⁻¹ (Tabela 3). Para o N os teores variaram de 14,0 a 19,6 g kg⁻¹ e o valor médio foi de 16,0 g kg⁻¹.

Tabela 3. Valores máximos, mínimos e médios encontrados nas análises foliares de Si e N pelos métodos convencionais.

Valor	Teor Foliar	
	Si	N
Mínimo	2,0	14,0
Máximo	8,1	19,6
Médio	5,6	16,0
Desvio Padrão	0,16	1,48
CV (%)	33,43	9,19

Dentre as comparações testadas, o N foliar foi o que apresentou maior coeficiente de correlação seguido pelo Si foliar, argila e M.O no solo. Estes resultados indicam que o sistema de análises por infravermelho próximo (NIR) apresenta maior chance de sucesso na determinação de nutrientes nas folhas do que nos solos.

Não existe diferença entre os valores de argila, matéria orgânica, Si e N entre os métodos testados (método padrão e por infravermelho próximo - NIR) (Tabela 4), o que indica que o “r²” encontrado nas correlações feitas, provavelmente, é satisfatório e permite usar o sistema de análises por infravermelho próximo de maneira confiável.

Tabela 4. Valores de t encontrados no testes t-student (5% de significância) para diferença entre médias obtidas pelo sistema de análises por infravermelho próximo (NIR) e pelos métodos padrões.

Parâmetro	Métodos comparados (número de amostras)	t calculado	t tabelado
Argila	Pipeta x NIR (n=122)	0,344 ns	1,970
M.O.	Walkley-Black x NIR (n=110)	0,957 ns	1,972

Si-foliar	Digestão via úmida x NIR (n=47)	1,927 ns	Si-foliar
N-foliar	Micro-Kjeldahl x NIR (n=47)	0,306 ns	N-foliar

ns – não diferem significativamente entre si pelo teste t

CONCLUSÕES

O sistema de análises por infravermelho próximo (NIR) possui grande potencial de uso nos laboratórios de solos e plantas;

Os resultados indicam uma maior eficiência do sistema de análises por infravermelho próximo (NIR) para a realização de análises foliares do que para análises de solo.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de expressar o seu agradecimento aos técnicos, Eng.Agr. Rogério Augusto Bremm Soares, Joel José de Jesus, Gabriele Santana Clara C. Zanatta, à Usina e aos diretores da Usina Jalles Machado na pessoa do Dr. Otávio Lange pela colaboração técnica e financeira durante a execução do projeto e também à FAPEMIG pelo apoio dado.

ABSTRACT: The advance in Precision Agriculture has led to increasing demand for soil and leaf analyses to estimate more precisely the soil fertility and plant nutritional conditions and, therefore, reduce costs at the same time that fertilization effectiveness is increased. The analysis system by Near Infrared (NIR) is extremely fast and allows simultaneous analysis of multiple constituents. Also, it requires little labor, resulting in lower costs, especially because it does not use chemical reagents and it is non pollutant. This study evaluated the efficacy of a NIR equipment to determine soil organic matter and clay contents and leaf levels of silicon (Si) and nitrogen (N). The study was done in the laboratory of the sugarcane mill “Jalles Machado S.A”, located in the county of Goianésia/GO. One hundred and twenty two samples of different soil types and 47 leaf samples of seven varieties of sugarcane. The correlation studies between the results obtained by NIR and those from reference analytical methods demonstrated correlation coefficients “r” of 0.87, 0.83, 0.77 and 0.70, respectively, for the leaf levels of N and Si and soil clay and organic matter, indicating greater efficacy of NIR for leaf analyses. There were no significant differences between the results obtained by NIR analysis and those of conventional methods. NIR has demonstrated great potential for use in soil and plant laboratories to meet the demands of the market.

KEYWORDS: Near infrared. Soil analysis. Leaf analysis. Nutrient contents. Physical characteristics.

REFERÊNCIAS

AMORIM, H. V. **Manual de métodos analíticos para o controle da produção de álcool e açúcar**. 2. ed. Piracicaba: Esalq-USP, 1996.

ARAÚJO, M. A. G. **Silício na adubação**, 1999. Disponível em: <
<http://www.manah.com.br/informativos.asp?idI=17>> Acesso em: 12 jun. 2006.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 1983.

BRASIL. Ministério da Agricultura - Decreto n. 4.954, de 14 de janeiro de 2004. Inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura. **Diário Oficial da União** de 15/01/2004, s. 1, p. 2

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; ERNANE, P. R.; ALBEQUERQUE, J. A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 6, p. 1161-1164, 2003.

- CONCEIÇÃO, M.; MANZATTO, C. V.; ARAUJO, W. S. A.; NETO, L. M.; SAAB, S. C.; CUNHA, T. J. F.; FREIXO, A. A. **Comunicado técnico Embrapa**. Revisado em 1999. Disponível em <www.cnps.embrapa.br/search/pesqs/comtec/comtec2.pdf>. Acesso em: 22 maio, 2005.
- DALMOLIN, R. S. D; GONÇALVES, C. N; KLAMT, E; DICK, D. P. Relações entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 481- 489 , 2005.
- ELAWAD, S.H.; GREEN Jr., V.E. Silicon and the rice plant environment: a review of recent research. **Revista IL Riso**, v. 28, n. 2, p. 235-253, 1979.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**, 2.ed, Rio de Janeiro, 1997.
- FERREIRA, A. C. B. de; ARAÚJO, G. A. A. de; PEREIRA, P. R. G; CARDOSO, A. A. Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 131-138, 2001.
- KILLORN, R.; ZOURARAKIS, D. Nitrogen fertilizer management effects on corn grain yield and nitrogen uptake. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 5, n. 1, p. 142-148, 1992.
- KORNDÖRFER, G. H; PEREIRA, H. S; CAMARGO, M.S. Papel do silício na produção de cana-de-açúcar. **STAB - Sociedade dos Técnicos Açúcareiros e Alcooleiros do Brasil**, Piracicaba, v. 21 n. 2, p. 6-9, 2002.
- KORNDÖRFER, G. H; PEREIRA, H. S; NOLLA, A. **Análise de silício: solo, plantas e fertilizantes**. Uberlândia: EDUFU, 2004.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997.
- MEYER, J. H. Use of NIR in the South African sugar industry with reference to soil fertility management. **South African Sugar Association Experiment Station**, KwaZulu-Natal, 1999.
- MEYER, J. H. Potential use of near infrared reflectance (NIR) monitoring in sugarcane precision agriculture (PAG). **South African Sugar Association Experiment Station**, KwaZulu-Natal, 2000.
- RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 2.ed. Viçosa: NEPUT, 1997.
- SCHUMANN, A. W; MEYER, J. H. Feasibility of In Field Soil Analysis by Near-Infrared Spectroscopy. **South African Sugar Association Experiment Station**, KwaZulu-Natal, 1999.
- SILVA, C. A. D. da; FREITAS, E. C.; ARAÚJO, A. E. de; ANDRADE, F. P. **Cultivo do Algodão Irrigado** ISSN 1678-8710 Versão Eletrônica Jan/2003 . Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoIrrigado/solos.htm>> Acesso em: 3 out.2006.
- WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Baltimore, v. 37, p. 29-38, 1934.