

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

ALAN BUENO PEREIRA

**USO DO SISTEMA NIR PARA ANÁLISES DE MATÉRIA ORGÂNICA E FRAÇÃO
ARGILA EM SOLOS E TEORES FOLIARES DE SILÍCIO E NITROGÊNIO EM CANA-
DE-AÇÚCAR**

Uberlândia - MG

Novembro - 2006

ALAN BUENO PEREIRA

**USO DO SISTEMA NIR PARA ANÁLISES DE MATÉRIA ORGÂNICA E FRAÇÃO
ARGILA EM SOLOS E TEORES FOLIARES DE SILÍCIO E NITROGÊNIO EM CANA-
DE-AÇÚCAR**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao curso de agronomia, da
Universidade Federal de Uberlândia,
para obtenção do grau de Engenheiro
Agrônomo.

Orientador: Gaspar Henrique Korndorfer

Uberlândia – MG

Novembro - 2006

ALAN BUENO PEREIRA

**USO DO SISTEMA NIR PARA ANÁLISES DE MATÉRIA ORGÂNICA E FRAÇÃO
ARGILA EM SOLOS E TEORES FOLIARES DE SILÍCIO E NITROGÊNIO EM CANA-
DE-AÇÚCAR**

**Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao curso de agronomia,
da Universidade Federal de
Uberlândia, para obtenção do grau de
Engenheiro Agrônomo.**

Aprovado pela Banca Examinadora em 23 de novembro de 2006

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndorfer

Orientador

Prof. Dr. Gilberto Fernandes Correia

Membro da Banca

Prof. Dr. Carlos Ribeiro Rodrigues

Membro da Banca

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, a Usina e aos diretores da Usina Jalles Machado na pessoa do Dr. Otávio Lange pela colaboração técnica e financeira durante a execução do projeto.

RESUMO

Com o avanço da Agricultura de Precisão, é crescente a demanda por análises de solo e folhas. O sistema de análises por Infravermelho Próximo, em inglês Near Infrared (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.) e argila de solos e teores foliares de silício (Si) e nitrogênio (N). 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 textura 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.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
2 REVISÃO DE LITERATURA	7
3 MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1 Análises de solos	12
3.2 Análises foliares	12
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
5 CONCLUSÕES	18
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	19
REFERÊNCIAS	20

1 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 uso racional de insumos através da agricultura de precisão, além de proteger o meio ambiente, pode diminuir os custos de produção, pois se utiliza apenas a dosagem necessária e compatível com a potencialidade do solo, sem excessos e faltas. Essa tecnologia permite diminuir os efeitos das variações espaciais e temporais dos fatores que limitam a produtividade agrícola.

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, salientamos que está ocorrendo um grande aumento na demanda por tais análises em laboratórios especializados.

É fundamental, para uma completa implementação e para o sucesso da agricultura de precisão, que haja progressos científicos e melhorias tecnológicas no desenvolvimento de métodos que possibilitem resultados de análises laboratoriais cada vez mais rápidos, precisos e de menor custo para o produtor.

O sistema de infravermelho próximo, do inglês Near Infrared (NIR), 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).

Apesar de ser uma técnica de análise bastante avançada, sua eficácia é dependente de métodos analíticos tradicionais, já que é necessária a sua calibração a partir desses.

O presente trabalho teve como objetivo validar o equipamento NIR para a determinação dos teores de matéria orgânica (M.O.) e argila de solos e teores foliares de silício (Si) e nitrogênio (N).

2 REVISÃO DE LITERATURA

A espectroscopia de infravermelho próximo (NIR) tem sido usada como um método analítico para determinação de moléculas orgânicas, como por exemplo, proteínas e lipídios, bem como em determinações qualitativas de produtos para agricultura e alimentos (MEYER, 1999).

Na área de solos e nutrição de plantas o NIR também 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, uma vez que a matéria orgânica desempenha um papel importante do ponto de vista químico, físico e biológico do solo (CONCEIÇÃO et al., 1999) e, a textura do solo tem uma estreita relação com retenção de água e troca catiônica (RESENDE et al., 1997). Além disso, a determinação de seus teores no solo permite fazer uso mais racional e eficiente dos fertilizantes.

O conhecimento da matéria orgânica e da textura do solo também é importante 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).

A matéria orgânica é a principal responsável pela retenção de nutrientes no solo, especialmente em solos arenosos (CIOTTA et al., 2003).

A textura do solo 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, apesar de não estar no grupo de elementos minerais considerados essenciais para o desenvolvimento das plantas cultivadas, foi 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 e aumento da resistência ao ataque de pragas e doenças (KORNDORFER et al., 2004).

Muitas espécies de gramíneas (arroz, cana-de-açúcar, milho, trigo, sorgo, aveia, milheto e forrageiras) e algumas espécies não gramíneas como as plantas de feijão, tomate, brássicas e alface respondem com maior produtividade ao aumento da disponibilidade de silício no solo (ELAWAD; GREEN, 1979).

O silício é um dos elementos mais abundantes da crosta terrestre. No entanto, a ação do intemperismo faz com que o silício dos minerais de argila seja insuficiente para desempenhar seu papel benéfico às culturas, sendo em alguns casos necessário a adubação complementar. 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).

No Brasil, os efeitos da aplicação de Si na produção de cana-de-açúcar são animadores. A adubação com Si pode aumentar a produtividade da cana-de-açúcar em consequência da maior eficiência fotossintética, resistência ao ataque de pragas e doenças e maior tolerância ao estresse hídrico (KORNDORFER et al., 2002).

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 nucleicos, citocromos, clorofila etc., além de ser um dos nutrientes mais relevantes para o aumento da produtividade. A adubação nitrogenada influencia não só a produtividade, mas também a qualidade dos produtos agrícolas (FERREIRA et al, 2001). Também o teor de N nas folhas é um dos fatores determinantes no conteúdo de clorofila (MALAVOLTA et al., 1997)

O teor de N nas folhas é muito influenciado pela adubação nitrogenada. Segundo Killorn e Zourarakis (1992), a concentração foliar de nitrogênio 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.

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

Diante da importância atribuída ao silício e ao nitrogênio na agricultura, está clara a necessidade de se desenvolver métodos rápidos, eficientes e de baixo custo para determinação dos níveis desses elementos em tecidos vegetais, possibilitando um fácil monitoramento do estado nutricional das plantas.

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.

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).

De acordo com Meyer (1999) é possível obter boas calibrações do NIR para avaliações de teores de argila e M.O. em solos, bem como para análise de N foliar. Schumann e Meyer (1999) ao analisarem 62 amostras de solo quanto aos seus teores de argila pelo NIR e pelo método convencional, observaram boa confiabilidade do equipamento, com coeficiente de determinação R² igual a 0,92.

3 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 equipamento NIR utilizado é da marca “BRAN+LUEBBLE” e modelo “MOD. INFRAALYZER 2000”, que trabalha na faixa de comprimento de onda de 1445 a 2348 nm. O software utilizado no equipamento foi o SESAME - versão 2.1 desenvolvido pela BRAN + LUEBBE (Foto 1).



Foto 1. Fotos do equipamento NIR.

O princípio de funcionamento do equipamento NIR baseia-se na emissão de luz infravermelha (770 a 3000 nm) sobre a amostra que, após interagir com as moléculas do material, é refletida em todas as direções e medida por detectores. O funcionamento do equipamento é ilustrado na Figura 1.

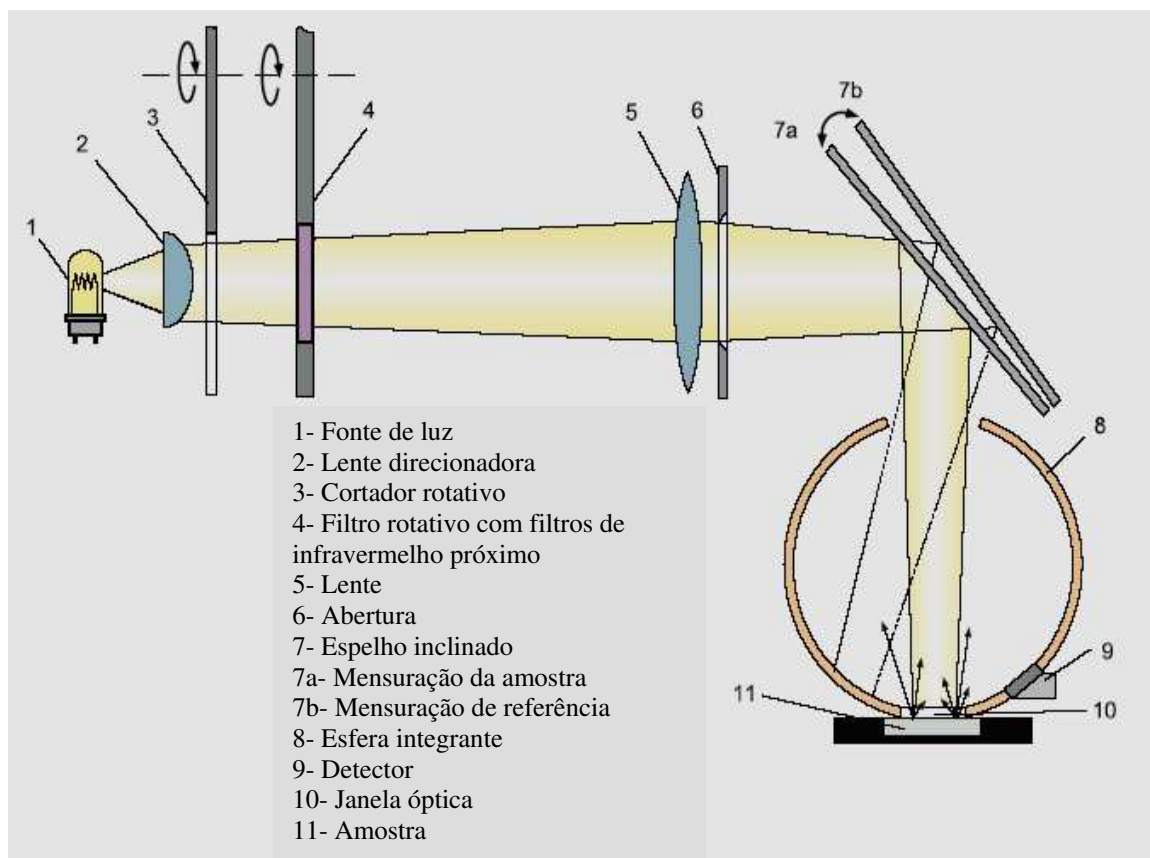


Figura 1. Esquema de funcionamento do equipamento “INFRAALYZER 2000”

A luz é originada por uma lâmpada alógena (nº1, Figura 1), passa por uma lente direcionadora (nº2, Figura 1) e é periodicamente interrompida por um cortador rotativo (nº3, Figura 1). A luz passa por uma roda de filtros de interferência de alta precisão (nº4, Figura 1) que selecionam os raios infravermelhos próximo de comprimento de onda específico; posteriormente passam por uma lente e por uma abertura (nº5 e 6, Figura 1) até chegarem aos espelhos inclinados (nº7/a e 7/b, Figura1) 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 equipamento NIR foi feita mediante a comparação dos resultados obtidos pelos métodos convencionais e os resultados obtidos pelo NIR. 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.

3.1 Análise de solo.

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

As amostras de solo foram secadas, 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 no NIR, colocou-se com auxílio de um "cachimbo" aproximadamente 10 cm³ de terra 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.

3.2 Análise foliar



Foto 2. Representação da folha coletada.

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 da segunda folha abaixo do TVD (Top Visible Dewlep), sem a nervura central (Foto 2). A coleta foi realizada entre 5 a 6 meses após corte da cana.

Para análise, as folhas foram lavadas com água corrente e depois colocadas em estufa de circulação forçada a 65⁰C até peso constante. O material vegetal, depois de seco foi moído em moinho tipo Willey e acondicionado em sacos plásticos. Posteriormente, as amostras foram analisadas quanto ao teor de silício segundo metodologia descrita por Korndorfer et al. (2004) e quanto ao teor de nitrogênio pelo método Kjeldahl (BATAGLIA et al., 1983).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os estudos de correlação que comparam os resultados obtidos pelo NIR com os resultados obtidos pelos métodos padrões para as análises de solos podem ser observados nas Figuras 2 e 3.

Os resultados dos teores de argila e de matéria orgânica em solos obtidos pelos métodos padrões não diferiram dos resultados obtidos pelo NIR. Os coeficientes de correlação de 0,77 e 0,70 para teor de argila e matéria orgânica respectivamente indicam que o método NIR pode substituir com vantagens os métodos convencionais sem comprometer a precisão e a exatidão dos resultados.

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 método NIR poderia trazer agilidade, rapidez e menor custo às análises de argila e matéria orgânica, sem comprometer a qualidade dos resultados.

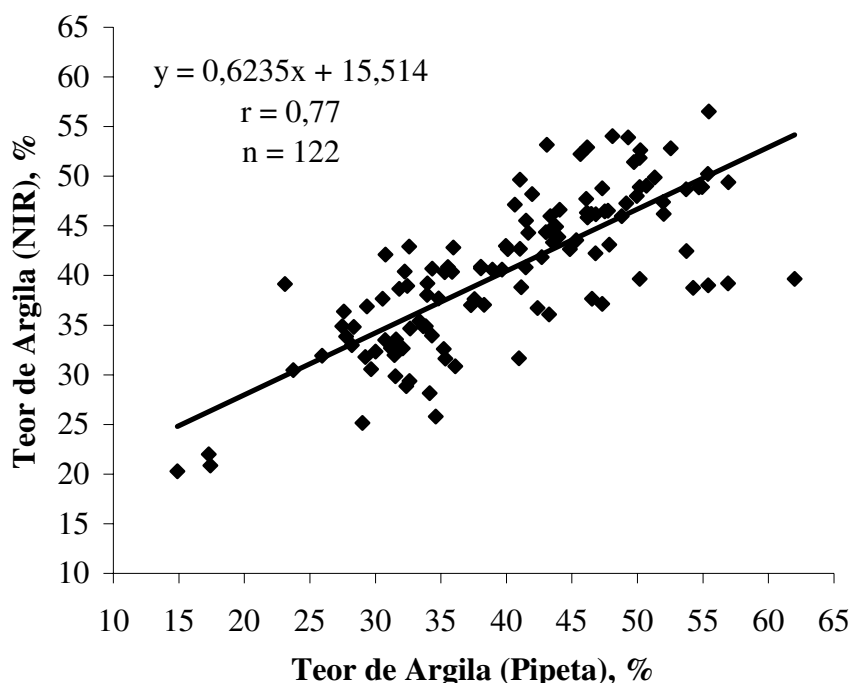


Figura 2. Correlação entre o método padrão (Pipeta) e o NIR para determinação de teor de argila em solos.

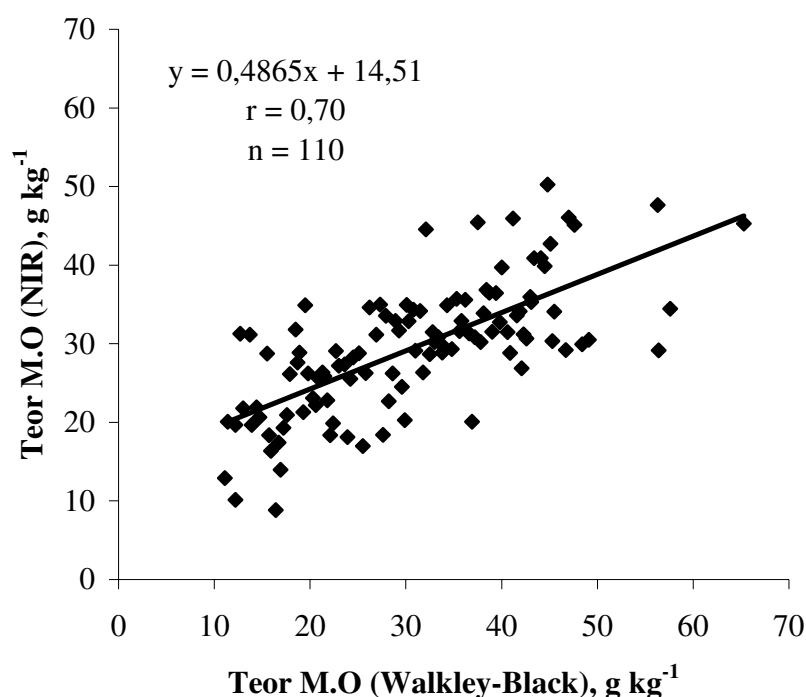


Figura 3. Correlação entre o método padrão (Walkley-Black) e o NIR para determinação de matéria orgânica (M.O) em solos.

Os valores 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. Valores máximos, mínimos e médios de argila e M.O. encontrados nas análises de solos.

Valor	Teor no solo	
	Argila (%)	M.O (g kg ⁻¹)
Mínimo	15	11
Máximo	62	65
Médio	40	30

Na tentativa de explorar e entender melhor o comportamento do equipamento NIR para a determinação de argila, avaliou-se a eficiência do NIR 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 NIR tende a diminuir.

Tabela 2. Correlação entre o método padrão (Pipeta) e o 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

As análises de Si e N no tecido vegetal realizadas pelos métodos padrões são complexas, demoradas e requerem grande quantidade de reagentes tóxicos. Os coeficientes de correlação obtidos entre os métodos considerados padrões e o método NIR foram de 0,83 e 0,87 respectivamente para as análises de Si e N (Figuras 4 e 5). Os níveis de correlação são considerados altos e isso indica que o método NIR pode ser usado com sucesso para determinação destes elementos em folha de cana-de-açúcar.

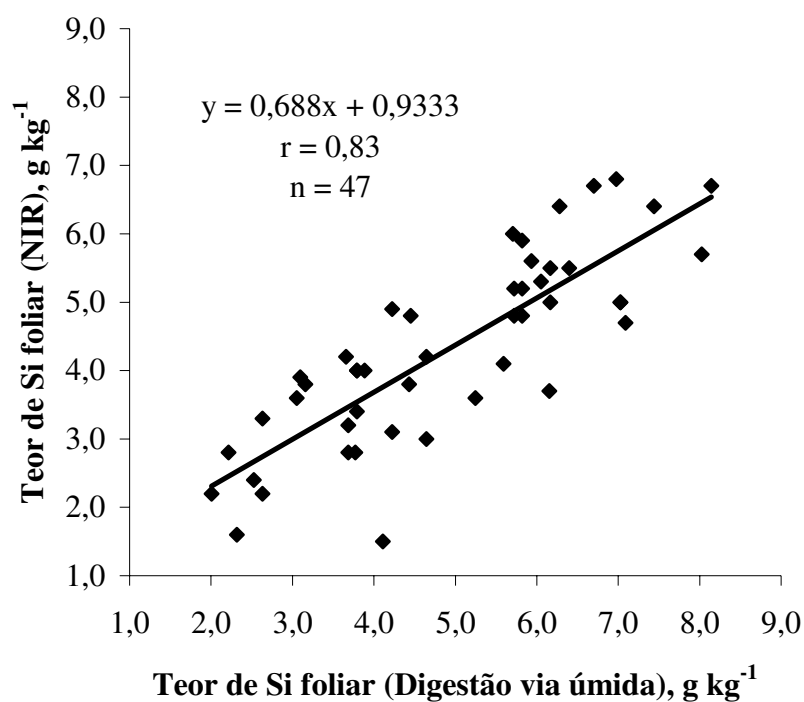


Figura 4. Correlação entre o método padrão (Digestão via úmida) e o NIR para determinação de silício (Si) foliar.

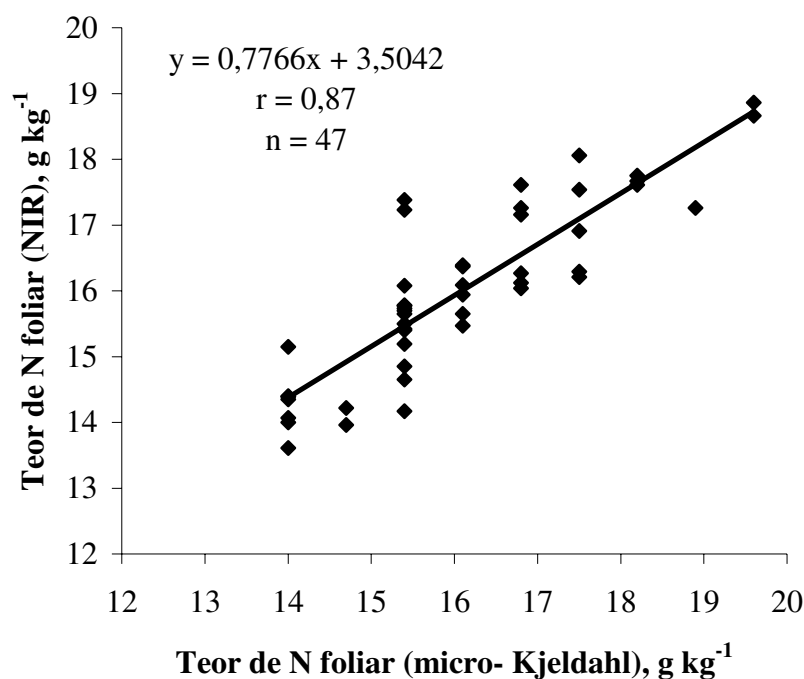


Figura 5. Correlação entre o método padrão (micro - Kjeldahl) e o NIR para determinação de nitrogênio (N) foliar.

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
	----- g kg ⁻¹ -----	
Mínimo	2,0	14,0
Máximo	8,1	19,6
Médio	5,6	16,0

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 a metodologia do NIR apresenta maior chance de sucesso na determinação de nutrientes nas folhas do que nos solos.

Os testes t-Student apresentados na Tabela 4 mostram que não existe diferença entre os valores de argila, matéria orgânica, Si e N entre os métodos testados (método padrão e NIR).

Tabela 4. Valores de t encontrados no testes t-student (5% de significância) para diferença entre médias obtidas pelo 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	1,987
N-foliar	Micro-Kjeldahl x NIR (n=47)	0.306 ns	1.986

ns – não diferem significativamente entre si pelo teste t

5 CONCLUSÕES

- Os estudos mostraram que o NIR possui grande potencial de uso nos laboratórios de solos e plantas;
- Os resultados indicam uma maior eficiência do método NIR para a realização de análises foliares do que para análises de solo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Há a perspectiva futura de desenvolver modelos para a determinação de outros parâmetros de qualidade, de modo a viabilizar a obtenção de maior número de informações sobre a amostra em uma única análise.

Para o uso do NIR em análise de solos deve-se avaliar com mais detalhe a influência da M.O. e argilominerais sobre o comportamento espectral das amostras e consequente predição de alguns parâmetros.

Deve-se também desenvolver testes do equipamento NIR trabalhando com outros comprimentos de ondas.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, H. V. **Manual de Métodos Analíticos para o Controle da Produção de Alcool e Açúcar**. 2ª Ed. Piracicaba: Editora Fermentec/Fealq/Esalq-USP, 1996.
- ARAÚJO, M. A. G. **Silício na Adubação**, 1999. Disponível em: <
<http://www.manah.com.br/informativos.asp?idI=17>> Acesso em: 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**. Boletim Técnico nº 78. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1983. 48p.
- BRASIL, 2004. Ministério da Agricultura - Decreto No. 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.
- 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: 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.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**, 2.ed, Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FERREIRA, A. C. B. de; ARAÚJO, G. A. A. de; PEREIRA, P. R. G; CARDOSO, A. A. Características agrônômicas 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**. Boletim técnico nº 2. Uberlândia: EDUFU, 2004. 34p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

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. 367 p.

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**, 2003. Disponível em: <
<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoIrigado/solos.htm>
> Acesso em: 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.