

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

**GUSTAVO ALVES SANTOS**

**SISTEMA POR INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR) PARA ANÁLISES DE  
NITROGÊNIO FOLIAR**

**Uberlândia – MG  
Novembro - 2010**

**GUSTAVO ALVES SANTOS**

**SISTEMA POR INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR) PARA ANÁLISES DE  
NITROGÊNIO FOLIAR**

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 Korndörfer

**Uberlândia – MG  
Novembro – 2010**

**GUSTAVO ALVES SANTOS**

**SISTEMA POR INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR) PARA ANÁLISES DE  
NITROGÊNIO FOLIAR**

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 12 de novembro de 2010.

Eng<sup>a</sup> Agrônoma Ana Paula dos Santos  
Membro da Banca

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lilian Aparecida de Oliveira  
Membro da Banca

---

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer  
Orientador

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por tudo, pelas bênçãos, e por ter iluminado todo o caminho percorrido para a conclusão dessa importante etapa;

A minha mãe, Sebastiana, ao meu pai, Sílvio, e ao meu irmão, Murilo, pelo amor e apoio incondicional, que felizmente posso dizer ser recíproco;

Ao William, aos meus padrinhos, Sônia e José Clóvis, e a toda a minha família pelo incentivo e motivação constantes;

A minha namorada, Gabriela, por todo o carinho e pela companhia tão prazerosa;

Ao Professor Gaspar pela oportunidade, confiança, orientação e conselhos;

A todos do Laboratório de Tecnologia de Fertilizantes, “LAFER”, e também a todos os membros do Grupo de Pesquisa sobre Silício na Agricultura, em especial a Valéria, ao Daniel Tinoco, a Mariana, e a Ana Paula, pelo auxílio e pelo companheirismo;

A 39ª turma de Agronomia pelos inesquecíveis anos de convívio, estudo e diversão, e também a 41ª turma de Agronomia pelo semestre alegre e proveitoso;

**AGRADEÇO!**

## RESUMO

O sistema de análises por infravermelho próximo (NIR) pode vir a substituir grande parte das metodologias convencionais de análises em laboratório, garantindo a qualidade e as especificidades necessárias para cada análise. O presente trabalho teve o objetivo de calibrar e utilizar o NIR para a análise de nitrogênio em tecido foliar das culturas de milho e soja. Para a construção do banco de dados e criação das curvas de calibração do aparelho, o mesmo selecionou 100 espectros dos 315 obtidos a partir da leitura em triplicata de 105 amostras de folha de milho, e 73 espectros dos 363 resultantes da leitura em triplicata de 121 amostras de folha de soja. Os demais espectros foram utilizados para a validação, feita para testar, aceitar e validar as curvas construídas. Em seguida avaliou-se a habilidade de predição dos modelos construídos utilizando-se 92 amostras de folhas de milho e 86 amostras de folha de soja não pertencentes ao banco de dados. Em ambas as etapas as amostras foram submetidas também à análise convencional pelo método Kjeldahl. Os resultados foram analisados por comparação, através dos coeficientes de correlação. Também foi feito o teste t-Student a 5% de probabilidade para diferença entre médias, com o objetivo de testar a igualdade entre os dois métodos. A calibração gerou curvas capazes de informar resultados estatisticamente iguais aos obtidos pelo método padrão e os coeficientes de correlação de 0,85 e 0,88 para nitrogênio foliar em milho e soja, respectivamente, obtidos na validação indicam que as curvas são válidas e podem gerar resultados confiáveis. Na etapa de predição, os valores encontrados pelo sistema NIR para folhas de soja e milho, não diferem dos resultados do método padrão e os coeficientes de correlação de 0,79 e 0,85 para milho e soja respectivamente, indicam que o sistema NIR consegue expressar o teor de nitrogênio foliar com confiabilidade aceitável. Os resultados encontrados indicam eficiência do sistema NIR para a realização da análise de nitrogênio em folhas de milho e soja.

**Palavras chave:** Infravermelho próximo, análise foliar, teor de nitrogênio.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	6
2 OBJETIVO .....	8
3 REVISÃO DE LITERATURA .....	9
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	12
4.1 Calibração.....	13
4.2 Predição .....	14
4.3 Análise de dados.....	15
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	16
5.1 Calibração.....	16
5.2 Predição .....	17
6 CONCLUSÕES .....	21
REFERÊNCIAS .....	22

## 1 INTRODUÇÃO

Normalmente, as lavouras de alta produtividade são conduzidas visando à máxima resposta numa condição de suprimento ótimo de nutrientes, considerando os demais fatores de produção também adequados. A pronta disponibilidade de nutrientes, de acordo com a demanda nos diferentes estádios de desenvolvimento das culturas, deve ser garantida por meio da escolha adequada dos fertilizantes e do correto manejo da adubação.

O monitoramento da fertilidade do solo e a avaliação freqüente do estado nutricional das lavouras por meio da análise foliar são imprescindíveis para a detecção da necessidade de se corrigir desequilíbrios nutricionais ou da possibilidade de otimização do manejo da adubação, visando a economia de insumos ao longo do tempo.

A utilização da análise foliar é que vai indicar se os fertilizantes aplicados ao solo estão sendo realmente aproveitados e se os nutrientes fornecidos estão balanceados conforme as exigências da cultura, além de ser um indicador bastante confiável quando se deseja saber se o manejo adotado numa lavoura está coerente, ou seja, se não está havendo falta ou desperdício de algum nutriente (RESENDE, 2003).

Segundo Pena (2009) como critério diagnóstico, a utilização da análise foliar baseia-se na premissa de existir uma relação bem definida entre o crescimento e a produção das culturas e o teor dos nutrientes em seus tecidos. Segundo Martinez e colaboradores (1999) a análise foliar pode ser utilizada não só na avaliação do estado nutricional em resposta às adubações e na verificação do equilíbrio nutricional, mas também na constatação da ocorrência de deficiências ou toxidez de nutrientes, no acompanhamento, avaliação e ajuda no ajuste do programa de adubações; e por fim, na detecção da ocorrência de salinidade elevada em áreas irrigadas ou cultivos hidropônicos.

Salienta-se que boa parte das decisões tomadas em relação ao manejo nutricional das culturas baseia-se em laudos de análises de solo e também de tecido vegetal. Nesse contexto, é notório o aumento pela busca por essas análises em laboratórios especializados, os quais devem então, buscar progresso científico, além de melhorias tecnológicas de modo a desenvolver métodos que possam apresentar os resultados das análises laboratoriais em menos tempo, com menor custo para o produtor e com máxima confiabilidade.

O sistema de análises por 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 por amostra, 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). No entanto, as dificuldades de se trabalhar com esse sistema estão relacionadas ao relativo custo inicial de aquisição, necessidade de sistematização dos dados, e em algumas situações, a necessidade de grandes quantidades de material para que se proceda a análise.

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

O nitrogênio é o quinto elemento mais abundante no Universo e é o principal componente da atmosfera terrestre (aproximadamente 78%). Esse elemento teve sua essencialidade para as plantas demonstrada por Sausurre em 1804 segundo Mills e Jones Jr. (1996). A essencialidade do nitrogênio para as plantas está em exercer funções fisiológicas importantes na formação de compostos orgânicos, destacando-se aminoácidos, proteínas, coenzimas, ácidos nucléicos, vitaminas e clorofila, entre outros. Como constituinte destes compostos, o nitrogênio está envolvido nos processos que ocorrem no protoplasma, em reações enzimáticas e na fotossíntese (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Diante da importância atribuída ao nitrogênio na agricultura, está clara a necessidade de se desenvolver métodos rápidos, eficientes, confiáveis e de baixo custo para determinação dos níveis desse elemento em tecidos vegetais, possibilitando um fácil monitoramento da sua disponibilidade no solo e do estado e/ou equilíbrio nutricional das plantas.



## **2 OBJETIVO**

Calibrar e utilizar o sistema de análises por infravermelho próximo (NIR) para a análise de nitrogênio em tecido foliar das culturas de milho e soja.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

O nitrogênio 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), além do teor de nitrogênio foliar, o qual é muito influenciado em função da adubação.

O teor de nitrogênio nas folhas é um dos fatores determinantes no conteúdo de clorofila (MALAVOLTA et al., 1997). Além disso, 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 nitrogênio, bem como na recomendação de adubação.

O método Kjeldahl é o mais utilizado para a determinação do teor de nitrogênio em tecido vegetal (BATAGLIA et al., 1983). Esse método analítico é amplamente utilizado nos laboratórios, no entanto é relativamente demorado e exige grande demanda de mão-de-obra especializada. Schuster (1978, apud FERRARINI, 2004) consagrou o emprego da espectroscopia NIR na determinação de proteína em substituição ao método Kjeldahl, que apesar de ser bastante preciso é um procedimento lento e gerador de resíduos.

A espectroscopia no infravermelho próximo foi empregada desde o início da década de sessenta, para determinar umidade em sementes (HART et al., 1962 apud FERRARINI, 2004). O seu uso se baseia nas curvas espectrais das amostras analisadas. O espectro de um determinado material obtido com radiação infravermelha é o resultado da absorção de energia, na forma de luz, por moléculas orgânicas, particularmente aquelas que possuem grande número de ligações do tipo C-N, N-H e O-H (AMORIM, 1996).

A radiância ou quantidade de radiação refletida, comparada com a irradiância que é a quantidade de radiação que incidente sobre a amostra fornece a medida de reflectância, a qual é captada pelos sensores para a construção da curva espectral.

De acordo com Meyer (1999) é possível obter boas calibrações do sistema NIR para análises de nitrogênio foliar. Na área de nutrição de plantas o sistema NIR pode ser usado na determinação dos teores de nutrientes em folhas de cana-de-açúcar (SANTOS et al., 2010), e também de nitrogênio em folhas de trigo (LIMA et al., 2008).

O sistema NIR foi usado como uma ferramenta rápida e eficiente para quantificar os estágios nutricionais de plantas e monitorar a eficiência de fertilizantes no solo. Modelos desenvolvidos para previsões de teores de nitrogênio, fósforo, magnésio e ferro em folhas de milho usaram medidas de refletância em diferentes regiões do espectro (GRAEFF; CLAUPEIN, 2003, apud FERRARINI, 2004). Esta metodologia contribuiu para melhor interpretar os estágios fisiológicos das folhas através da análise dos seus espectros e a técnica pode ser usada com outras espécies para discriminar a fertilização recomendada (GISLUM et al., 2004, apud FERRARINI, 2004).

Brandelero (2010) utilizou a espectrometria por infravermelho próximo para detectar níveis de macro e micronutrientes em material vegetativo de povoamentos florestais homogêneos de *Eucalyptus grandis*.

Segundo Tormen (2008) o infravermelho próximo pode ser utilizado para identificar nitrogênio em folhas de feijoeiro no início do desenvolvimento da cultura pelo fato de esse método ter apresentado melhor resultado que os desenvolvidos com índices de vegetação.

Em análises de solo, Fidencio (2001) encontrou bons resultados utilizando o sistema NIR para determinar teores de nitrogênio e matéria orgânica. O estudo feito por Santos et al., (2010) mostra que o sistema NIR é eficiente para a determinação silício, teor de argila e matéria orgânica em solos.

No que se refere a fertilizantes, recentemente, o método de espectroscopia no infravermelho próximo foi usado para determinar teores de nitrogênio em amostras de materiais de origem de aviários, empregados como fertilizantes (ABENI; BERGOGLIO, 2001).

O trabalho desenvolvido por Santos (2007) mostrou que o sistema NIR pode estimar vários parâmetros (% umidade, matéria orgânica, concentração de contaminantes) cujos valores são requeridos para caracterização das lamas de estações de tratamento de água e resíduos com potencial uso como fertilizantes agrícolas.

Segundo Watson (1977, apud FERRARINI, 2004) o infravermelho próximo pode ser empregado também em diversas análises de produtos agrícolas. Ferrarini (2004) afirma que alguns autores têm conseguido bons resultados para previsão de minerais com quantidade em nível de traços como Cozzonilo et al. (2004, apud FERRARINI, 2004) que determinaram os elementos sódio, enxofre, cobre, ferro, manganês, zinco e boro em olerícolas.

O sistema NIR pode ser usado também para a determinação da qualidade da cana-de-açúcar como matéria prima, quantificando, por exemplo, 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).

Hansel (2008) utilizou o sistema NIR para avaliar a classificação sensorial da erva-mate pré- processada de diferentes maneiras. Santos et al. (2006) encontraram resultados que demonstram viabilidade e qualidade das análises de teor de ácido hexenurônico, viscosidade e rendimento depurado de polpa celulósica de *Eucalyptus* feitas pelo sistema NIR.

Magalhães et al. (2006) analisaram densidade básica de madeira de *Pinus taeda* e encontraram boas correlações e erros aceitáveis entre os resultados do método padrão de análise e os obtidos pelo sistema NIR.

Lippert et al. (2009) afirmam que o uso de infravermelho próximo mostra-se uma ferramenta importante no auxílio a detecção de danos causados por *Phaeophleospora eucalypti* em folhas de *Eucalyptus camaldulensis*, visto que folhas medianamente ou pouco atacadas não diferem entre si quanto a resposta espectral, sendo distinguidas quando comparadas com folhas muito atacadas pela mancha foliar.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

O sistema NIR utilizado foi o de marca Femto, modelo NIR 900 PLS (Figura 1), que trabalha na faixa de comprimento de onda de 1100 a 2500  $\eta\text{m}$ . O software utilizado no equipamento foi o FemWin900.



Figura 1. Espectrofotômetro NIR utilizado no estudo.

O princípio de funcionamento do sistema NIR 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 (Figura 2).

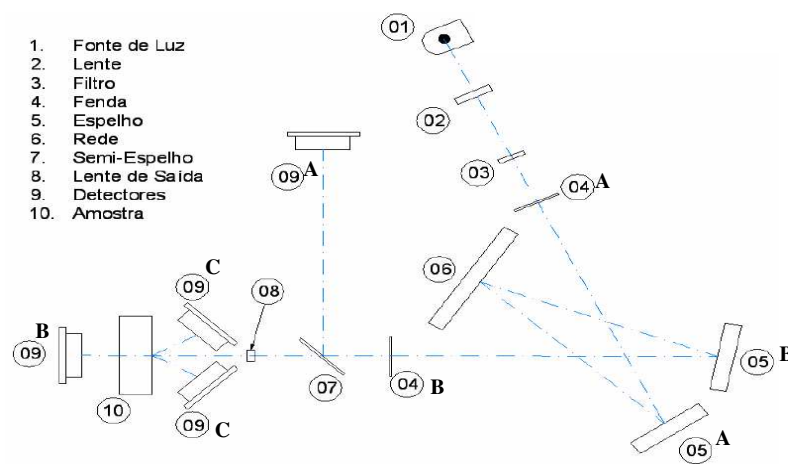


Figura 2. Esquema de funcionamento do equipamento NIR 900 PLS INFRAANALYZER 2000.

A luz é originada por uma lâmpada de tungstênio/halogênio (n° 01, Figura 2), e passa por uma lente colimadora de entrada que tem a função de alinhar o feixe de luz (n° 02, Figura 2) e, em seguida, por um filtro de interferência que filtra comprimentos de ondas indesejáveis (segunda ordem) (n° 03, Figura 2); posteriormente passa por uma fenda de entrada que determina a largura da banda (n° 04<sup>A</sup>, Figura 2). A luz é então direcionada a um primeiro espelho côncavo (n° 05<sup>A</sup>, Figura 2), com função de auxiliar o alinhamento ótico e que reflete a luz a uma rede de difração (n° 06, Figura 2), onde os comprimentos de onda são selecionados e em seguida, direcionados a um segundo espelho côncavo (n° 05<sup>B</sup>, Figura 2) que, além de auxiliar no alinhamento ótico, reflete a luz à fenda de saída (n° 04<sup>B</sup>, Figura 2). Ao passar por essa fenda, a luz atinge então um semi-espelho (n° 07, Figura 2) que divide o feixe de luz, parte para um detector de compensação (n° 09<sup>A</sup>, Figura 2), parte para a amostra (n° 10, Figura 2), passando antes pela lente colimadora de saída (n° 08, Figura 2). Para o caso de amostras sólidas, a reflectância é então captada pelos detectores (n° 09<sup>C</sup>, Figura 2), finalizando o caminho percorrido pela luz.

A informação espectral obtida é característica da amostra, e pode ser utilizada para a determinação de propriedades relevantes do material.

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

Para a construção das curvas de calibração, o método de calibração multivariado utilizado foi o de regressão Mínimos Quadrados Parciais (PLS), e utilizou-se o tratamento matemático direto.

#### **4.1 Calibração**

Essa etapa consistiu na construção de um banco de dados contendo o valor de nitrogênio conhecido, determinado pelo método convencional e a curva espectral de cada uma das amostras analisadas no aparelho. Esses dados ficaram armazenados no software do aparelho e possibilitaram ao mesmo prever os valores das amostras analisadas na etapa final de predição.

Durante essa etapa do trabalho, cada amostra foi lida no aparelho em três repetições, na tentativa de diminuir prováveis erros, tais como de má acomodação da amostra na cubeta, e também para que se construísse o banco de dados com um maior número de resultados e curvas espectrais.

Para determinação do teor de nitrogênio foliar, foram analisadas 226 amostras, sendo 105 de folhas de milho e 121 de folhas de soja, as quais foram lavadas com água corrente e depois colocadas em estufa de circulação forçada a 65°C durante 72 horas. 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 nitrogênio pelo método Kjeldahl (BATAGLIA et al., 1983) pelo Laboratório de Análise de Solos (LABAS) da Universidade Federal de Uberlândia com esse objetivo. Já para a análise no sistema NIR, foram colocados aproximadamente 10 gramas de cada amostra em uma cubeta a qual foi inserida no aparelho para que se fizesse a leitura espectral e conseqüente obtenção de resultados.

Ao final, foram obtidas 315 leituras/espectros de valores de nitrogênio em folhas de milho (105 amostras lidas em triplicata) das quais 100, com teores entre 23 e 37 g kg<sup>-1</sup> de nitrogênio foram selecionadas pelo aparelho para a obtenção da curva de calibração para o milho, sendo as demais selecionadas para a etapa de validação. Já para as folhas de soja, foram obtidas 363 leituras/espectros (121 leituras em triplicata). Para a curva de calibração foram selecionadas pelo aparelho 73 leituras, com teores de nitrogênio entre 36 e 62 g kg<sup>-1</sup>. Novamente as demais amostras foram selecionadas para a validação.

Para a validação, as leituras/espectros não selecionadas para a construção da curva de calibração foram utilizadas no intuito de testar as curvas construídas para que as mesmas fossem aceitas e validadas pelo equipamento.

## **4.2 Predição**

Avaliou-se a habilidade de predição dos modelos construídos através de uma predição externa, feita com amostras não pertencentes ao banco de dados.

Essa foi a etapa de utilização propriamente dita, em que, a partir dos resultados anteriormente armazenados no banco de dados, o sistema NIR indicou, por meio de uma predição, qual o valor da característica analisada para cada amostra analisada nessa etapa.

Essas mesmas amostras também foram analisadas pelo método convencional, e, com os resultados das duas análises, foram feitas as correlações que mostraram a esperada confiabilidade, ou não, do aparelho para esse tipo de análise.

Para a análise, tanto no sistema NIR quanto pelo método Kjeldahl (BATAGLIA et al., 1983) foram analisadas 178 amostras, sendo 92 de folha de milho e 86 de folha de soja.

#### **4.3. Análise de dados**

Os resultados da predição foram analisados mediante a comparação dos resultados obtidos por ele e pelo método convencional, por meio dos coeficientes de correlação determinados entre os resultados dos dois métodos testados.

Também foi feito o teste t-Student a 5% de probabilidade para diferença entre médias, com o objetivo de testar a igualdade entre os resultados obtidos pelos dois métodos.



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Calibração

A calibração feita gerou curvas capazes de informar resultados de teores de nitrogênio em folhas de milho e soja estatisticamente iguais aos resultados obtidos pelo método padrão (Tabela 1).

Tabela 1. Valores de t encontrados no testes t-student (5% de probabilidade) para diferença entre médias obtidas pelo sistema NIR e pelo método Kjeldahl.

<b>Cultura</b>	<b>Número de espectros</b>	<b>t calculado</b>	<b>t tabelado</b>
Milho	100	0,97 <sup>ns</sup>	1,97
Soja	73	0,99 <sup>ns</sup>	1,97

<sup>ns</sup> – não diferem significativamente entre si pelo teste t

Os estudos de correlação que comparam os resultados obtidos pelo sistema NIR com os resultados obtidos pelo método padrão, para folhas de milho e soja, podem ser observados nas Figuras 3 e 4, respectivamente.

Os coeficientes de correlação de 0,85 e 0,88 para teor de nitrogênio foliar em milho e soja respectivamente, foram obtidos na validação. Esses valores indicam que as curvas são válidas e, por isso, podem gerar resultados confiáveis, quando comparados aos obtidos pelo método convencional.

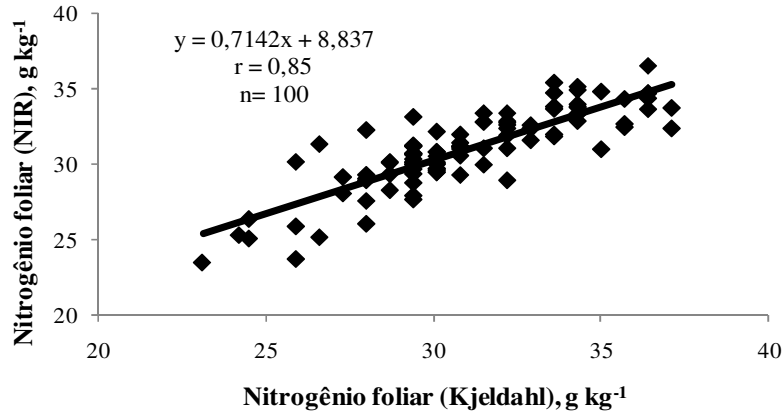


Figura 3. Correlação entre o método padrão (Kjeldahl) e o NIR para determinação de nitrogênio foliar em milho.

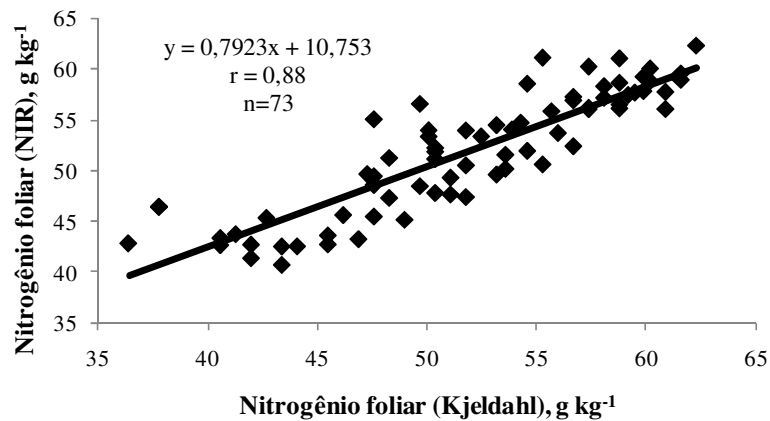


Figura 4. Correlação entre o método padrão (Kjeldahl) e o NIR para determinação de nitrogênio foliar em soja.

## 5.2 Predição

Pelo método Kjeldahl foram encontrados teores de nitrogênio variando de 19 a 39 g kg<sup>-1</sup> de nitrogênio nas folhas de milho e de 40 a 62 g kg<sup>-1</sup> de nitrogênio para as folhas de soja.

Os valores encontrados pelo sistema NIR, tanto para folhas de soja quanto para as de milho, não diferem dos resultados do método padrão de análise de nitrogênio foliar. A variação existente entre os teores de nitrogênio nas folhas analisadas consegue ser detectada pelo sistema NIR e assim os resultados por ele informados estão compreendidos em intervalos semelhantes (Tabela 2).

Tabela 2. Valores de t encontrados no testes t-student (5% de probabilidade) para diferença entre médias obtidas pelo sistema NIR e pelo método Kjeldahl.

Cultura	Número de amostras	t calculado	t tabelado	Intervalo (g kg <sup>-1</sup> N)	
				Kjeldahl	NIR
Milho	92	0,59 <sup>ns</sup>	1,97	19 – 39	19 – 42
Soja	86	0,91 <sup>ns</sup>	1,97	40 – 62	44 – 62

<sup>ns</sup> – não diferem significativamente entre si pelo teste t

Segundo Malavolta et al., (1997) bons teores de nitrogênio foliar para a cultura da soja estão compreendidos entre 45 e 55 g kg<sup>-1</sup> e, para a cultura do milho, entre 27 a 32 g kg<sup>-1</sup>, o que permite afirmar que, o resultados encontrados variam de baixo a alto tanto para as amostras de folha de milho quanto de soja, em ambos os métodos testados.

O teste de correlação e seus coeficientes de 0,79 e 0,85 para teor de nitrogênio foliar em milho e soja respectivamente (Figuras 5 e 6), indicam que, além de encontrar resultados estatisticamente iguais aos do método padrão Kjeldahl, o sistema NIR consegue detectar o incremento no teor de nitrogênio foliar e expressá-lo com confiabilidade aceitável.

Os coeficientes de correlação encontrados foram altos pelo fato das amostras utilizadas na predição apresentarem teores de nitrogênio foliar compreendidos dentro do mesmo intervalo obtido pelas amostras utilizadas na construção do banco de dados da etapa de calibração.

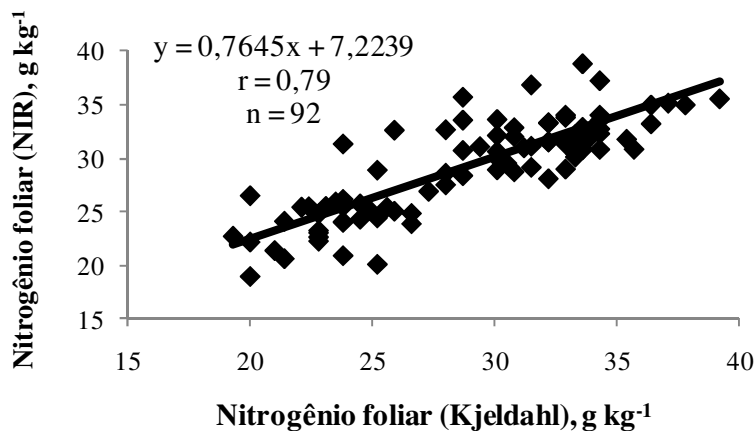


Figura 5. Correlação entre o método padrão (Kjeldahl) e o NIR para determinação de nitrogênio foliar em milho.

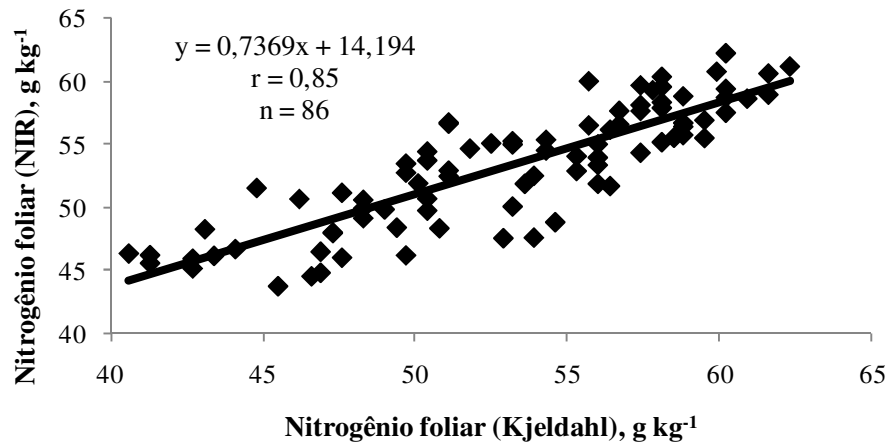


Figura 6. Correlação entre o método padrão (Kjeldahl) e o NIR para determinação de nitrogênio foliar em soja.

Os resultados encontrados se assemelham aos obtidos por Santos et al., (2010) que trabalharam com amostras de folhas de cana-de-açúcar e encontraram coeficientes de correlação de 0,83 e 0,87 para as comparações entre os métodos padrão e o sistema NIR, para análises de silício e nitrogênio foliar respectivamente. Segundo esses autores, esses níveis de correlação são considerados altos e pelo fato das análises de silício e nitrogênio no tecido vegetal realizadas pelos métodos padrões serem complexas, demoradas e requerem grande quantidade de reagentes tóxicos, indicam que esse sistema pode ser usado com sucesso para determinação destes elementos em folhas de cana-de-açúcar. Ainda nesse trabalho, dentre as comparações testadas, a análise de nitrogênio foliar no sistema NIR foi a que apresentou maior coeficiente de correlação quando comparada com o método padrão, seguido pelo silício foliar, teor de argila e de matéria orgânica no solo, o que indica que o sistema NIR apresenta maior chance de sucesso na determinação de nutrientes nas folhas do que nos solos.

Resultados semelhantes foram encontrados também por Lima et al., (2008) que, trabalhando com 29 amostras de folha de trigo, não encontraram diferença estatística pelo teste t-Student a 5% de probabilidade entre os teores de nitrogênio total obtidos pelo sistema NIR e pelo método de referência.

Não havendo diferença estatística entre os valores de nitrogênio foliar entre os métodos testados (método padrão e por infravermelho próximo) pode-se dizer que os coeficientes de correlação encontrados são satisfatórios e permitem usar o sistema de análises por infravermelho próximo de maneira confiável.

Considerando os resultados, o sistema NIR pode então, substituir com vantagens (agilidade, rapidez e menor custo) o método convencional de análise de nitrogênio em tecido vegetal, sem comprometer a qualidade dos resultados.

Com o objetivo de se manter a qualidade dos resultados encontrados e também no intuito de se determinar correlações ainda melhores, deve-se constantemente complementar o banco de dados do sistema com valores compreendidos entre os intervalos estudados.

Para o caso de análises que se estendam a outros materiais, elementos, culturas e intervalos, deve-se construir um banco de dados o mais abrangente possível de acordo com o(s) parâmetro(s) de interesse.

## **6 CONCLUSÕES**

Os resultados dos testes estatísticos e os coeficientes de correlação encontrados indicam que as curvas de calibração geradas foram capazes de informar resultados confiáveis, mostrando eficiência do sistema NIR para a realização da análise de nitrogênio em folhas de milho e soja.

## REFERÊNCIAS

- ABENI, F; BERGOGLIO, G; Characterization of different strains of broiler chicken by carcass measurements, chemical and physical parameters and NIRS on breast muscle. **Meat Science**, Barking, v. 57, p. 133-137, 2001.
- AMORIM, H. V. **Manual de Métodos Analíticos para o Controle da Produção de Álcool e Açúcar**. 2ª Ed. Piracicaba: Editora Fermentec/Fealq/Esalq-USP, 1996. 230p.
- 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. 48p. (Boletim Técnico nº 78).
- BRANDELERO, C. **Espectrorradiometria do visível e infravermelho próximo em povoamento de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden**. 2010, 90 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2010.
- EPSTEIN, E; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2.ed. Londrina: Planta, 2006. 392p.
- FERRARINI, H. **Determinação de teores nutricionais do milho por espectroscopia no infravermelho e calibração multivariada**. 2004, 125 f. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2004.
- 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.
- FIDENCIO, P. H. **Análise de solos por espectroscopia no infravermelho próximo e aplicação de métodos quimiométricos**. 2001. 149 f. Tese (Doutorado em Química). UNICAMP, Campinas. 2001.
- HANSEL, F. A; DOMINGOS, D. M; LIMA K. M. G. de; PASQUINI, C. **Moagem e Sapeco/Secagem em forno de Microondas na Classificação Sensorial de Erva-Mate no Infravermelho Próximo**. Colombo: Embrapa Florestas. 2008. 8 p. (Comunicado Técnico 203).
- 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.
- LIMA, K. M. G; TREVISAN M. G; POPPI, R. J; ANDRADE, J. C. Determinação não destrutiva do nitrogênio total em plantas por espectroscopia de reflectância difusa no infravermelho próximo. **Química Nova**, São Paulo, v.31, n.3, p. 700-703, Mar. 2008.
- LIPPERT, D. B; BENEDETTI, A. C. P; PEREIRA, R. S; MUNIZ, M. F. B. Espectrorradiometria de folhas de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. atacadas por *Phaeophleospora eucalypti*. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. Natal, 2009. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 2793-2799.

MAGALHÃES, W. L. E; ZANGISKI, F; KLEIN, C. H; HIGA, A. R. **Uso da espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) para predição não-destrutiva de densidade básica da madeira de *Pinus taeda***. Colombo: Embrapa Florestas. 2006. 4 p. (Comunicado Técnico 159).

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

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G; SOUZA, R. B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. 1999. p.143-168

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.

MILLS, H. A; JONES Jr., J. B. **Plant analysis handbook II**. Athenas: Micro Macro Publishing Inc. 1996. 422 p.

PENA, C. **Análise foliar para o milho**, 2009. Disponível em: <<http://agriculturabrasileira.blogspot.com/2009/07/analise-foliar-para-o-milho.html>>. Acesso em: set. 2010.

RESENDE, A. V. **A Análise Foliar como fator de aumento da produtividade das culturas**, 2003. Disponível em: <<http://www.portaldoagronegocio.com.br/conteudo.php?id=22822>> Acesso em: set. 2010.

SANTOS, G. A; PEREIRA, A. B; KORNDÖRFER, G. H. 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. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n.1, p.100-108, Jan./Fev. 2010.

SANTOS, M. F. P. **Desenvolvimento e Validação de Métodos de Espectroscopia no Infravermelho Próximo e Médio para Caracterização de Lamas de ETAR para Uso Agrícola**. 2007. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biológica). Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa. 2007.

SANTOS, R. B; SOUZA, L.C; GOMIDE, J. L. **Caracterização tecnológica de celulose kraft de *Eucalyptus* por espectroscopia de infravermelho próximo**, 2006. Disponível em: < <http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2010%20-%20caracteriza%E7%E3o%20por%20NIR.2006.pdf> > Acesso em: nov. 2010.

TORMEN, G. P. **Caracterização do teor de nitrogênio foliar e produtividade do feijoeiro com técnicas de visão artificial**. 2008. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2008.