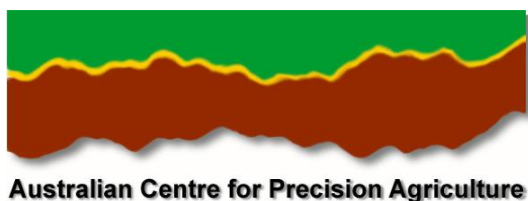


**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
Departamento de Engenharia Rural – Setor de Máquinas
Agrícolas**

**Disciplina: 0110601 - Estágio Profissionalizante em
Engenharia Agrônômica**

Investigação preliminar sobre o Uso do Veris P4000 Soil Force/Eca/Spectral Profiler para predição de densidade de carbono em solos australianos



**Aluno: Marcos Nascimbem Ferraz N° 5410302
Orientador: Prof. Dr. José Paulo Molin
Supervisor: Dr. Brett Whelan**

Dezembro, 2009

INDICE

RESUMO	3
REVISAO BIBLIOGRAFICA	4
Espectroscopia do visível e infravermelho próximo	4
Processamento e Calibração do espectro	8
Uso de espectrometria da reflectancia para sensoriamento de solos	8
Uso de espectrofotômetros no campo	16
A importância de mensurações de Carbono	17
TRABALHO EXPERIMENTAL	20
P4000 VIS-NIR-EC-Force Probe	20
OBJETIVOS	22
EFEITOS EXTERNOS DE UMIDADE E COMPRESSÃO NA ANÁLISES DE ESPECTROSCOPIA A CAMPO:	23
Experimento 1: Avaliação da umidade em amostras de solo solto usando um espectrômetro de VIS-NIR (ASD)	23
Material e Métodos	23
Resultados e Discussão	24
Experimento 2: Efeito da umidade e compactação na análise de espectroscopia	28
Material e métodos	28
Resultados e discussão	29
CONCLUSÕES	33
AVALIACAO DA REPETIBILIDADE DAS LEITURAS ESPECTRAIS COM O SENSOR P4000 VIS-NIR-EC-FORCE PROBE E COMPARACAO COM AS AMOSTRAS ESCANEADAS EM LABORATORIO	34
MATERIAL E MÉTODOS	34
Resultados e Discussão	36
CONCLUSÕES	41
ESTIMATIVA DE CARBONO E NITROGENIO UTILIZANDO ESPECTROSCOPIA VIS –NIR	42
MATERIAL E MÉTODOS	42
Amostragem de solo	42
Análise de laboratório	43
Pré-processamento e calibração do espectro	45
RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
CONCLUSÕES	51
BIBLIOGRAFIA	52
AGRICULTURA DE PRECISÃO NA AUSTRALIA	56
Bibliografia	60

RESUMO

Espectroscopia de solos é uma ferramenta importante para fornecer informações sobre o solo de uma forma rápida, menos custosa com menor trabalho que as opções atuais. As informações resultantes combinam com a demanda de informações necessárias para a Agricultura de Precisão e tem se mostrado uma boa alternativa para a estimativa de carbono do solo. Este projeto trabalhou na investigação preliminar sobre o uso do equipamento Veris P4000 Soil Force/Eca/Spectral Profiler para prever carbono em massa volumétrica em solos australianos. O projeto envolveu a compreensão do equipamento e dos espectros, a análise dos efeitos externos que podem influenciar as previsões em condições de campo, a construção e implementação de um procedimento robusto de amostragem para calibração e o início da construção de uma biblioteca espectral para iniciar a calibração para solos australianos. O efeito de umidade e compactação mostrou ser facilmente removido utilizando derivativas e filtros, devido ao fato que os comprimentos de onda afetados pela umidade são identificáveis e a compressão não altera o formato dos espectros. Os dados obtidos com o sensor mostraram ser repetíveis no campo. Os dados obtidos escaneando amostras de solo adjacentes em laboratório correspondem com as informações espectrais obtidas no campo. As medidas de absorvância de amostras de solos dentro de tubos de PVC e realizadas rente à parede do buraco deixado pelo amostrador, mostrou que tais procedimentos poderiam ser aplicados se necessários. Finalmente o espectrômetro Veris provou dar informações suficientes para a realização de um bom modelo de calibração para carbono e nitrogênio do solo, apesar de que uma biblioteca de espectros com mais amostras deve ser criada para a calibração ser mais robusta. Os resultados sugerem que estimativas a campo em tempo real de carbono e nitrogênio é possível em solos australianos.

REVISAO BIBLIOGRAFICA

O gerenciamento tradicional de culturas não necessita de um grande número de informações para a tomada de decisões, porém o mesmo não ocorre com a agricultura de precisão. As técnicas atuais para a obtenção e análise de amostras com tanta intensidade são claramente inadequadas visto que nunca houve necessidade de lidar com essa demanda. Um estudo conduzido por ROSSEL & MCBRATNEY, 1998 sugere a necessidade de desenvolver técnicas rápidas, com menos trabalho intensivo, econômicas e não menos acuradas que os métodos atuais para a viabilidade da agricultura de precisão. O mesmo trabalho avaliou que os custos referentes à análise de solo na Austrália tornam a análise de custos para agricultura de precisão economicamente irrealista para uma produção eficiente, sugerindo que o desenvolvimento de sensores de solo ou scanners com boa acurácia é essencial para a implantação da Agricultura de Precisão.

A manutenção da fertilidade do solo é a base de todas as formas de uso sustentável do solo e esta exige a preservação de sua matéria orgânica, propriedades físicas e níveis de nutrientes. Na maioria dos casos, o principal fator envolvido na fertilidade do solo é o estado nutricional. Se a fertilidade cai abaixo de um nível crítico através de longo período de utilização agrícola sem reposição de nutrientes ou como resultado da erosão, ou se é naturalmente muito baixa, a reconstituição da fertilidade do solo pode ser uma condição prévia para a agricultura produtiva. Uma melhor compreensão das interações entre as culturas e os solos ajuda a manter as expectativas em um nível realista e reconhecer o que o ecossistema agrícola pode ou não pode alcançar (Du & Zhou, 2009).

O uso de computadores e sensores para decisões em tempo-real em sistemas agrícolas está crescendo rapidamente. Quando integrado com o conhecimento agrônômico, o valor desta tecnologia pode ser melhor percebido, resultando em um processo contínuo de avaliação, interpretação e operações direcionadas (Kitchen, 2008). Com os avanços no conhecimento da relação entre a reflectância espectral e características do solo, é possível prever várias características físicas e químicas do solo de maneira rápida, segura e não invasiva.

Técnicas de espectroscopia do infravermelho próximo são altamente sensíveis a ambas as fases orgânica e inorgânica do solo, tornando a sua utilização nas ciências agrárias e ambientais particularmente relevantes. Elas são rápidas, mais baratas, mais eficientes e não necessitam de tempo e custo no pré-processamento da amostra ou a utilização de extratores químicos (prejudiciais ao ambiente). Espectroscopia do visível e infravermelho pode, por vezes, ser mais simples do que a análise convencional do solo e também em determinadas ocasiões também têm a vantagem do bom potencial de adaptabilidade destas técnicas para o uso em campo em tempo-real (Viscarra Rossel et. Al . de 2006).

Espectroscopia do visível e infravermelho próximo

O modo que nossos olhos funcionam é um exemplo de um espectrômetro capaz de observar a radiação da parte visível do espectro. Os comprimentos de ondas curtos (altas frequências) são visualizados como a cor roxa ou azul enquanto os comprimentos

de onda longos (baixas frequências) são vistos como a cor vermelha e todas outras variações de cores ficam entre estes. O espectro eletromagnético é dividido em faixas de acordo com o comprimento de onda ou frequência (Parish, 2009). Comprimentos de onda maiores que a porção vermelha da parte visível do espectro (VIS) (350 – 700nm) é designada região do infravermelho. Duas importantes categorias nessa região do espectro têm sido reconhecidas. O primeiro é o infravermelho próximo (Near infrared – NIR) (700 – 2500nm) e o segundo é o infravermelho médio (Mid Infrared – MID) (2500 – 25000nm). A figura 1 ilustra uma representação de um espectro de solo mostrando as faixas do visível (VIS), infravermelho próximo (NIR) e infravermelho médio (MID).

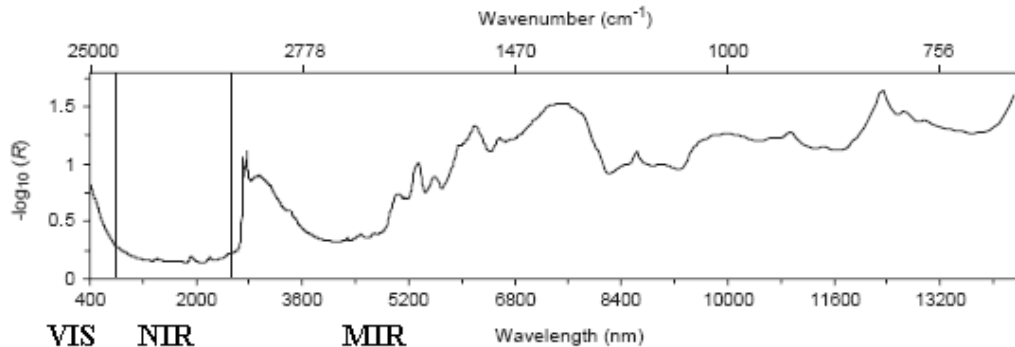


Figura 1: Representação de um espectro do solo mostrando as faixas do visível (VIS), infravermelho próximo (NIR) e infravermelho médio (MID). Adaptado de Viscarra Rossel et. al., (2006).

De acordo com Hunt (1980), as bandas de absorção ocorrem devido a processos eletrônicos e vibracionais. No processo eletrônico, as transições entre os níveis de energia a nível orbital são responsáveis pelas características de absorções no espectro. Este processo ocorre principalmente na faixa do visível e infravermelho próximo. O processo de vibração, que é devido a vibrações de ligações inter e intra moleculares resultantes da absorção de energia e ocorre predominantemente na região do infravermelho. Como cada solo apresenta uma configuração diferente, a curva terá diferentes bandas de absorção espectral.

Absorções na região do visível (400-780 nm) ocorrem principalmente devido a excitações eletrônicas e estão sobretudo relacionadas com os minerais que contêm ferro e a matéria orgânica do solo, devido à cor escura dos ácidos húmicos. Absorções no NIR (780-2500 nm) resultam de tons de OH, SO₄ e grupos CO₃, bem como combinações de características fundamentais do H₂O e CO₂. A matéria orgânica do solo (MOS) pode ter um efeito sobre a absorção na faixa do NIR resultante do alongamento e dobramento dos fundamentos de N-H, C-H e grupos C-O no infravermelho médio (Stenberg & Viscarra Rossel, 2008).

A tecnologia de sensores ópticos próximos tem um potencial significativo para o mapeamento de C e N. A reflectância do infravermelho é altamente influenciada por moléculas com ligações fortes entre os átomos relativamente leves. Estes vínculos tendem a absorver energia em sobreposições e combinações de frequências vibracionais fundamentais do infravermelho médio. Os absorvantes predominantes na região do infravermelho próximo são o CH, NH e grupos OH funcionais, tornando esta região ideal para a quantificação das formas de carbono, nitrogênio e água, respectivamente.

Considerando que a umidade em amostras de solo pode impedir a eficácia da espectroscopia no infravermelho médio (MID) por causa do excesso de absorção óptica, a absorção mais fraca do infravermelho próximo (NIR) permite medições de amostras úmidas no campo. Porque as medições NIR não necessitam de preparação da amostra, o desenvolvimento de espectrofotômetros próximos tem se concentrado nesta região (Lund et al., 2008).

Embora o espectro visível seja apenas uma pequena porção do espectro eletromagnético, ele tem uma grande importância para a classificação de solos. A reflectância na faixa do visível ou a cor do solo é uma característica importante para diferenciar classes de solos em quase todos os sistemas de classificação modernos e é uma parte importante para a definição de horizontes diagnósticos de superfície e sub superfície (Baumgardner, et al., 1985). No trabalho de Islan et al., (2003) VIS-NIR previu algumas características do solo, por exemplo, carbono e CTC melhor do NIR sozinho. A região visível mostrou boas correlações com o nível de matéria orgânica do solo (Stoner, 1979), e goethita e hematita (Sherman & Waite, 1985). Krishnan et al. (1980) constataram que a região VIS oferece uma melhor previsão do que o infravermelho para determinar matéria orgânica do solo.

Em um estudo conduzido por Islan et al. (2003), os autores utilizaram espectroscopia nas faixas UV-VIS-NIR para prever diversas propriedades do solo. O coeficiente de correlação (r) para as propriedades do solo são plotados contra vários comprimentos de onda na figura 2. A maior correlação de Fe livre foi encontrado na região UV, para carbono orgânico na região do VIS e para argila na região NIR. A região do NIR foi mais útil para prever o pH, o teor de água, CTC e Ca e Mg trocáveis.

Viscarra Rossel et al. (2006) também demonstraram o potencial para o uso de diferentes bandas espectrais; os resultados são apresentados na Tabela 1.

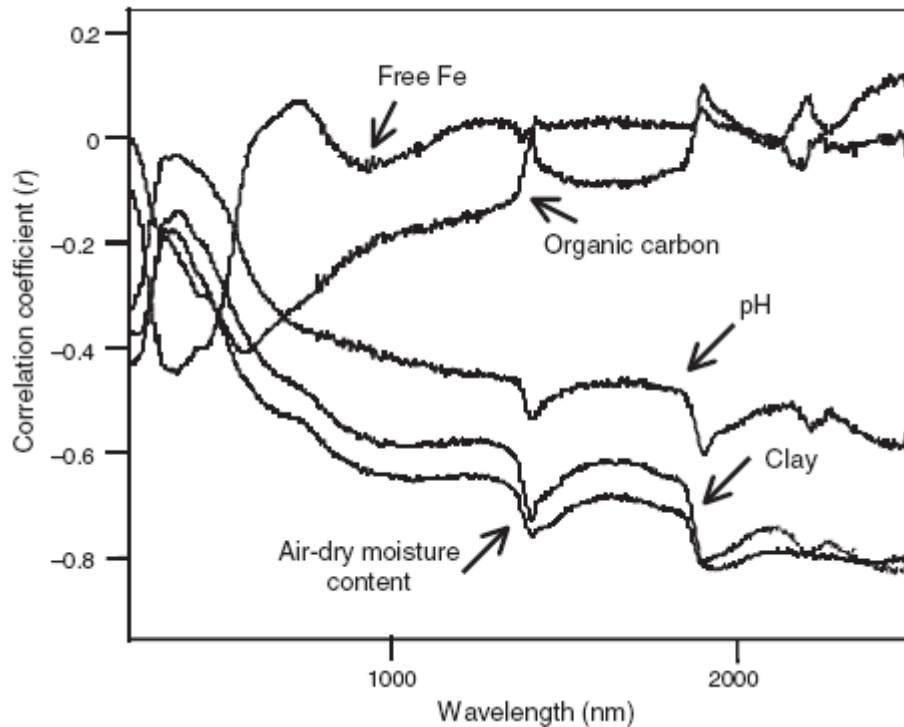


Figura 2: Coeficiente de correlação (r) para as propriedades do solo plotados contra vários comprimentos de onda dentro das regiões UV-VIS-NIR (Islam et al., 2003).
Tabela 1: Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}) no procedimento de validação cruzada para vários atributos do solo utilizando regressão de mínimos quadrados parciais (Partial least square regression - PLSR) para a resposta espectral na faixa do visível, (VIS), infravermelho próximo (NIR), infravermelho médio (MIR) e a combinação de VIS-NIR-MIR. Adaptado de Viscarra Rossel et al., (2006)

Atributo do solo	R^2_{ADJ}			
	VIS	NIR	MIR	VIS-NIR-MIR
pH _{Ca}	0,36	0,57	0,86	0,85
pH _w	0,36	0,54	0,75	0,73
pH _b	0,24	0,53	0,74	0,73
LR	0,25	0,5	0,75	0,74
CO	0,6	0,6	0,73	0,72
Argila	0,43	0,6	0,67	0,67
Silte	0,31	0,41	0,49	0,52
Areia	0,47	0,59	0,74	0,75
CTC	0,16	0,13	0,34	0,09
Ca	0,31	0,07	0,38	0,37
Al	0,01	0,61	0,43	0,37
NO ₃ -N	0,00	0,02	0,01	0,02
PCol	0,06	0,01	0,2	0,07
K	0,29	0,47	0,38	0,46
CE	0,05	0,04	0,38	0,29

De acordo com Stenberg & Viscarra Rossel (2008), ambos VIS-NIR e MIR têm bom potencial para análises proximais de solo. No entanto, as técnicas ainda não são amplamente utilizadas. A razão mais provável é que apesar dos resultados "promissores", calibrações ainda são pouco confiáveis ou complicadas de estabelecer.

Processamento e Calibração do espectro

O pré-processamento do espectro usando funções matemáticas é comumente usado para corrigir a não linearidade, variações na medição e amostragem e espectros ruidosos causados por propriedades estruturais da amostra, tais como distribuição granulométrica, o que provoca efeitos não lineares de espalhamento da luz. Para melhorar os picos de absorção mais quimicamente relevantes no espectro e reduzir os efeitos tais como mudanças de base e curvatura total existem várias técnicas de pré-processamento utilizadas. Para a análise do solo, a primeira e segunda derivativas calculadas pela diferença são de longe as mais populares (Stenberg & Viscarra Rossel, 2008).

A espectroscopia da reflectância do visível e infravermelho é não-específica, devido à sobreposição das bandas de constituintes do solo que são eles próprios variados e inter-relacionados, exigindo técnicas estatísticas sofisticadas para discernir a resposta dos atributos do solo a partir das características espectrais. Vários métodos têm sido utilizados para relacionar espectros de solo e atributos do solo como a análise de regressão múltipla (multiple regression analysis - MRA) (Ben-Dor & Banin, 1995); regressão linear múltipla por passos (stepwise multiple linear regression - SMLR) (Shibusawa et al, 2001); regressão adaptativa multivariada por splines (Multiple Adaptive regression Splines - MARS) (Shepherd & Walsh, 2002), redes de funções de base radial (Radial Basis Function Network - RBFN) (Fidêncio et al, 2002); e redes neurais artificiais (Daniel et al, 2003). No entanto, a regressão de componentes principais (Partial Components Regression - PCR) (Chang et al., 2001) e, regressão de quadrados mínimos parciais (Partial Least Square Regression - PLSR) (McCarty et al., 2002) são as técnicas mais comuns para a calibração e previsões espectrais.

PLSR é muitas vezes preferido pelos analistas, porque relaciona a resposta espectral e os valores preditos de modo que os modelos expliquem mais sobre variação da resposta com menos componentes, os modelos são mais interpretáveis e o algoritmo é computacionalmente mais rápido (Stenberg & Viscarra Rossel, 2008). PLSR aproveita a correlação que existe entre os espectros e do solo, assim os vetores espectrais resultantes estão diretamente relacionados com o atributo do solo (Geladi e Kowalski, 1986).

Uso de espectrometria da reflectancia para sensoriamento de solos

Zanoza et al. (2008) demonstraram o potencial da espectroscopia no infravermelho próximo para a determinação de várias características físicas, químicas e propriedades bioquímicas em solo Mediterrâneo. Eles mostraram que é um método rápido e não-destrutivo, que requer um mínimo de pré-tratamento das amostras (somente secagem ao ar e peneiramento), é altamente preciso e livre de reagentes químicos e produção de resíduos nocivos.

Medições de infravermelho próximo foram utilizadas para melhorar o mapeamento de solos a nível de fazenda por Wetterlind al. al. (2008), demonstrando o

potencial para desenvolver uma estratégia para mapeamento eficiente e barato para matéria orgânica do solo e teor de argila a partir de calibrações com NIR. Shepherd & Walsh (2002) conseguiram uma ampla base de dados de reflectância espectral de solos e Stoner & Baugardner (1981) definiram cinco tipos de curvas espectrais de solos de acordo com o teor de matéria orgânica, óxidos de ferro e mineralogia.

Cozzolino & Morón (2006) avaliaram o potencial da espectroscopia de reflectância do infravermelho próximo e quimiometria para prever carbono orgânico do solo em diferentes frações de partículas, encontrando coeficientes de calibração superior a 0,9 para todos os tamanhos de partículas avaliados; no entanto, as calibrações foram pobres em a relação C / N ($R^2_{CAL} < 0,65$).

Por outro lado, os resultados obtidos por Chang & Laird, (2002) indicam que espectros de reflectância de infravermelho próximo dos solos respondem de forma independente para C orgânico, C inorgânico, N total no solo. Os autores obtiveram valores de R^2 superiores a 0,85 entre os valores medidos e previstos de C orgânico, C inorgânico, C total, N total e relação C: N. Barthes, et al. (2008), utilizaram a reflectância do infravermelho próximo de amostras do solo para determinar a distribuição de C e N no solo em frações de tamanho de partícula, concluindo que o NIR pode ser considerado promissor para facilitar a determinação da matéria orgânica do solo em frações de distribuição granulométrica. Ludwig et al. (2002) indicaram que o NIR é um método útil para prever C e N em solos florestais.

He et al. (2007) utilizaram a espectroscopia do NIR para estimar nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), matéria orgânica (MO) e o teor de pH em um solo argiloso misto. O coeficiente de correlação para N, MO e pH foi superior a 0,91, mas para P e K foi 0,47 e 0,68, respectivamente.

Rossel et al. (2009) utilizaram um espectrofotômetro portátil ligado a um amostrador de contato (Agrispec - ASD), que tem uma faixa espectral entre 350-2500 nm para as medições de cor do solo, composição mineral e teor de argila, no campo e em laboratório. Eles identificaram os comprimentos de onda, onde houve diferenças significativas entre os espectros coletados "in situ", em condições de campo, e os espectros coletados no laboratório de 2 mm de solo seco. Em sua maioria, as diferenças ocorreram próximo aos comprimentos de onda que estão relacionados com a água do solo e aqueles que não são utilizados principalmente para caracterizar a composição mineral do solo. As previsões do teor de argila utilizando os espectros coletados no campo (RMSE% = 7,9) foram ligeiramente mais precisas do que aqueles que utilizaram espectros coletados em laboratório (RMSE% = 8,3).

O mesmo sensor foi utilizado por Wetterlind, et al. (2008) para mostrar que a estimativa da variação dentro de campo para absorção de N em cereais pode ser melhorada através da espectroscopia da reflexão no infravermelho próximo em vez de usar a argila do solo e do teor de matéria orgânica. Hummel et al., (2001) utilizaram um sensor de infravermelho próximo, com bandas de 1600 a 2600nm para prever o conteúdo de matéria orgânica e umidade do solo.

As tabelas 2 e 3 apresentam uma revisão do trabalho de Viscarra Rossel et al. (2006), que compara as previsões quantitativas de vários atributos do solo através da análise multivariada tabulada com as bandas espectrais nas faixas do ultravioleta (UV), visível (VIS), infravermelho próximo (NIR) e infravermelho médio (MIR) mostrando o

leque de possibilidades da utilização de espectrometria para medição de atributos químicos, (Tabela 2) físicos e biológicos (Tabela 3) do solo.

Tabela 2: Revisão da literatura comparando as previsões quantitativas dos atributos químicos do solo, usando técnicas estatísticas multivariadas e resposta espectral nas regiões do ultravioleta (UV), visível (VIS), infravermelho próximo (NIR) e infravermelho médio (MIR) do espectro eletromagnético. Adaptado de Viscarra Rossel et al. (2006).

Soil attribute	Spectral region	Spectral range (nm)	Multivariate method ⁽¹⁾	R ²	Authors
Acid (exch.); cmol/kg	VIS–NIR	400–2498	PCR (11)	0,65	Chang et al. (2001)
Al (exch.); cmol/kg	MIR	2500–25,000	PLSR	0,64	Janik et al. (1998)
Ca; cmol/kg	MIR	2500–25,000	PLSR	0,89	Janik et al. (1998)
Ca; mmol(+)/kg	NIR	700–2500	PCR	0,72	Islam et al. (2003)
Ca; g/kg	VIS–NIR	400–2500	PLRS modified	0,9	Cozzolino & Moron (2003)
Ca (exch.); cmol(+)/kg	VIS–NIR	350–2500	MARS	0,88	Shepherd & Walsh (2002)
Ca (exch.); cmol(+)/kg	VIS–NIR	400–2498	PCR (12)	0,75	Chang et al. (2001)
Ca; mmol(+)/kg	UV–VIS–NIR	250–2500	PCR	0,67	Islam et al. (2003)
Cu; mg/kg	VIS–NIR	400–2500	PLRS modified	0,82	Cozzolino & Moron (2003)
Cu (Mehlich III); mg/kg	VIS–NIR	400–2498	PCR (14)	0,25	Chang et al. (2001)
Fe (DTPA); mg/kg	MIR	2500–25,000	PLSR	0,55	Janik et al. (1998)
Fe (free); %	NIR	700–2500	PCR	0,49	Islam et al. (2003)
Fe; mg/kg	VIS–NIR	400–2500	PLRS modified	0,9	Cozzolino & Moron (2003)
Fe (Mehlich III); mg/kg	VIS–NIR	400–2498	PCR (9)	0,64	Chang et al. (2001)
Fe (free); %	UV–VIS–NIR	250–2500	PCR	0,52	Islam et al. (2003)
K; g/kg	VIS–NIR	400–2500	PLRS modified	0,72	Cozzolino & Moron (2003)
K; mmol(+)/kg	UV–VIS–NIR	250–2500	PCR	0	Islam et al. (2003)
K (exch.); mg/kg	MIR	2500–25,000	PLSR	0,33	Janik et al. (1998)
K (avail.); mg/kg	VIS–NIR	400–1100	NN	0,8	Daniel et al. (2003)
K (exch.); cmol/kg	VIS–NIR	400–2498	PCR (13)	0,55	Chang et al. (2001)

LR; t/ha	MIR	2500–25,000	PLSR	0,86	Janik et al. (1998)
LR; t/ha	NIR	700–2500	PLSR	0,73	Janik et al. (1998)
Mg (exch.); cmol/kg	MIR	2500–25,000	PLSR	0,76	Janik et al. (1998)
Mg; mmol(+)/kg	NIR	700–2500	PCR	0,59	Islam et al. (2003)
Mg; g/kg	VIS–NIR	400–2500	PLRS modified	0,9	Cozzolino & Moron (2003)
Mg (exch.); cmol(+)/kg	VIS–NIR	350–2500	MARS	0,81	Shepherd & Walsh (2002)
Mg (exch.); mg/kg	VIS–NIR	400–2498	PCR (9)	0,68	Chang et al. (2001)
Mg; mmol(+)/kg	UV–VIS– NIR	250–2500	PCR	0,63	Islam et al. (2003)
Mn (DTPA); mg/kg	MIR	2500–25,000	PLSR	0,57	Janik et al. (1998)
Mn (exch.); cmol/kg	MIR	2500–25,000	PLSR	0,66	Janik et al. (1998)
Mn (Mehlich III); mg/kg	VIS–NIR	400–2498	PCR (12)	0,7	Chang et al. (2001)
N; %	MIR	2500–20,000	PLSR	0,88	Janik & Skjemstad (1995)
N; %	UV–VIS– NIR	250–2450	PLSR (11)	0,007	Walvoort & McBratney (2001)
N (NO ₃); mg/100g	VIS–NIR	400–2400	SMLR(589, 1014)	0,54	Shibusawa et al. (2001)
N (miner.); mg/kg	NIR	1100–2498	PLSR (1)	0,08	Reeves et al. (1999)
N (pot. min); mg N/kg	VIS–NIR	400–2498	PCR (8)	0,72	Chang et al. (2001)
N (active); mg/kg	NIR	1100–2300	PLSR (8)	0,84	Reeves & McCarty (2001)
N (active); mg/kg	NIR	1100–2498	PLSR (9)	0,92	Reeves et al. (1999)
N organic (total); %	MIR	2500–25000	PLSR	0,86	Janik et al. (1998)
N (total); %	NIR	1100–2500	MLR (1702,1870, 2052)	0,92	Dalal & Henry (1986)
N (total); mg/kg	NIR	1100–2300	PLSR (10)	0,94	Reeves & McCarty (2001)
N (total); mg/kg	NIR	1100–2498	PLSR (8)	0,95	Reeves et al. (1999)
N (total); g/kg	VIS–NIR	400–2498	PLSR (7)	0,86	Chang & Laird (2002)
N (total); g/kg	VIS–NIR	400–2498	PCR (7)	0,85	Chang et al. (2001)
Na (exch.); cmol/kg	MIR	2500–25000	PLSR	0,33	Janik et al. (1998)

Na (exch.); cmol/kg	VIS–NIR	400–2498	PCR (7)	0,09	Chang et al. (2001)
Na; mmol(+)/kg	UV–VIS– NIR	250–2500	PCR	0,34	Islam et al. (2003)
P (avail.); mg/kg	MIR	2500–25,000	PLSR	0,07	Janik et al. (1998)
P (avail.); mg/kg	VIS–NIR	400–1100	NN	0,81	Daniel et al. (2003)
pH	MIR	2500–20000	PLSR	0,72	Janik & Skjemstad (1995)
pH	NIR	1100–2300	PLSR (8)	0,74	Reeves & McCarty (2001)
pH	NIR	1100–2498	PLSR (11)	0,73	Reeves et al. (1999)
pH	VIS–NIR	350–2500	MARS	0,7	Shepherd & Walsh (2002)
pHCa	MIR	2500–25000	PLSR	0,67	Janik et al. (1998)
pHCa	VIS–NIR	400–2498	PCR (13)	0,56	Chang et al. (2001)
pHw	MIR	2500–25000	PLSR	0,56	Janik et al. (1998)
pHw	NIR	700–2500	PCR	0,7	Islam et al. (2003)
pHw	VIS–NIR	400–2400	SMLR(959, 1214)	0,54	Shibusawa et al. (2001)
pHw	VIS–NIR	400–2498	PCR (13)	0,57	Chang et al. (2001)
pHw	UV–VIS– NIR	250–2500	PCR	0,71	Islam et al. (2003)
Zn (Mehlich III); mg/kg	VIS–NIR	400–2498	PCR (13)	0,44	Chang et al. (2001)

Tabela 3: Revisão da literatura comparando as previsões quantitativas dos atributos físicos e biológicos do solo, usando técnicas estatísticas multivariadas e resposta espectral nas regiões do ultravioleta (UV), visível (VIS), infravermelho próximo (NIR) e infravermelho médio (MIR) do espectro eletromagnético. Adaptado de Viscarra Rossel et al. (2006).

Soil attribute	Spectral region	Spectral range (nm)	Multivariate method ⁽¹⁾	R ²	Authors
Biomass (N); mg/kg	NIR	1100–2300	PLSR (8)	0,71	Reeves & McCarty (2001)
Biomass (N); mg/kg	NIR	1100–2498	PLSR (6)	0,79	Reeves et al. (1999)
Biomass; g/kg	MIR	2500–25000	PLSR	0,69	Janik et al. (1998)
Biomass; mg/kg	VIS–NIR	400–2498	PCR (9)	0,6	Chang et al. (2001)
C (inorg.); g/kg	MIR	2500–25,000	PLSR (16)	0,98	McCarty et al. (2002)

C (inorg.) g/kg	NIR	1100–2498	PLSR (19)	0,87	McCarty et al. (2002)
C (inorg.); g/kg	VIS–NIR	400–2498	PLSR (6)	0,96	Chang & Laird (2002)
C (total); g/kg	MIR	2500–25,000	PLSR (17)	0,95	McCarty et al. (2002)
C (total); g/kg	NIR	1100–2498	PLSR (16)	0,86	McCarty et al. (2002)
C (total); g/kg	NIR	1100–2498	PLSR (7)	0,96	Reeves et al. (1999)
C (total); g/kg	VIS–NIR	400–2498	PLSR (5)	0,91	Chang & Laird (2002)
C (total); g/kg	VIS–NIR	400–2498	PCR (7)	0,87	Chang et al. (2001)
C; %	UV–VIS– NIR	250–2450	PLSR (6)	0,06	Walvoort & McBratney (2001)
C:N ratio	VIS–NIR	400–2498	PLSR (6)	0,88	Chang & Laird (2002)
CEC; cmol(+)/kg	MIR	2500–25,000	PLSR	0,88	Janik et al. (1998)
CEC; cmol(+)/kg	NIR	1000–2500	MRA (63 bands)	0,64	Ben-Dor & Banin (1995)
CEC; mmol(+)/kg	NIR	700–2500	PCR	0,67	Islam et al. (2003)
CEC; cmol(+)/kg	VIS–NIR	400–2498	PCR (8)	0,81	Chang et al. (2001)
CEC; cmol(+)/kg	VIS–NIR	350–2500	MARS	0,88	Shepherd & Walsh (2002)
CEC; mmol(+)/kg	UV–VIS– NIR	250–2500	PCR	0,64	Islam et al. (2003)
A cations exch.; cmol(+)/kg	MIR	2500–20,000	PLSR	0,84	Janik & Skjemstad (1995)
Carbonate; %	MIR	2500–20,000	PLSR	0,95	Janik & Skjemstad (1995)
Carbonate; %	NIR	1000–2500	MRA (25–3113 bands)	0,69	Ben-Dor & Banin (1995)
EC; dS/m	MIR	2500–25,000	PLSR	0,23	Janik et al. (1998)
EC; AS/cm	VIS–NIR	400–2400	SMLR (456,984, 1014)	0,65	Shibusawa et al. (2001)
EC; mS/cm	UV–VIS– NIR	250–2500	PCR	0,1	Islam et al. (2003)
OC; %	MIR	2500–20,000	PLSR	0,92	Janik & Skjemstad (1995)
OC; %	MIR	2500–25,000	PLSR	0,93	Janik et al. (1998)
OC; g/kg	MIR	2500–25,000	PLSR (17)	0,94	McCarty et al. (2002)
OC; (acidified soil) g/kg	MIR	2500–25,000	PLSR (19)	0,97	McCarty et al. (2002)

OC; %	NIR	1100–2500	MLR (1744,1870, 2052)	0,93	Dalal & Henry (1986)
OC; %	NIR	1100–2500	RBFN	0,96	Fidêncio et al. (2002)
OC; %	NIR	700–2500	PCR	0,68	Islam et al. (2003)
OC; g/kg	NIR	1100–2498	PLSR (18)	0,82	McCarty et al. (2002)
OC; mg/kg	NIR	1100–2300	PLSR (8)	0,94	Reeves & McCarty (2001)
OC (acidified soil); g/kg	NIR	1100–2498	PLSR (17)	0,8	McCarty et al. (2002)
OC; g/kg	VIS–NIR	400–2498	PLSR (6)	0,89	Chang & Laird (2002)
OC; g/kg	VIS–NIR	350–2500	MARS	0,8	Shepherd & Walsh (2002)
OC; dag/kg	VIS–NIR	350–1050	PLSR (5)	0,36	Viscarra Rossel et al. (2003)
OC; %	UV–VIS– NIR	250–2500	PCR	0,76	Islam et al. (2003)
OM; %	MIR	2500–25,000	PLSR (4)	0,98	Masserschmidt et al. (1999)
OM; %	NIR	1000–2500	MRA (30 bands)	0,55	Ben–Dor & Banin (1995)
OM; %	VIS–NIR	400–1100	NN	0,86	Daniel et al. (2003)
OM; %	VIS–NIR	400–2400	SMLR (606,1311, 1238)	0,65	Shibusawa et al. (2001)
Clay; %	MIR	2500–20,000	PLSR	0,87	Janik & Skjemstad (1995)
Clay; %	MIR	2500–25,000	PLSR	0,79	Janik et al. (1998)
Clay; %	NIR	1000–2500	MRA (63 bands)	0,56	Ben-Dor & Banin (1995)
Clay; %	NIR	700–2500	PCR	0,75	Islam et al. (2003)
Clay; %	VIS–NIR	400–2498	PCR (12)	0,67	Chang et al. (2001)
Clay; g/kg	VIS–NIR	350–2500	MARS	0,78	Shepherd & Walsh (2002)
Clay; %	VIS–NIR	400–2500	PLRS modified	0,86	Cozzolino & Moron (2003)
Clay; %	UV–VIS– NIR	250–2450	PLSR (5)		Walvoort & McBratney (2001)
Clay; %	UV–VIS– NIR	250–2500	PCR	0,72	Islam et al. (2003)
Sand; %	MIR	2500–25,000	PLSR	0,94	Janik et al. (1998)
Sand; %	VIS–NIR	400–2498	PCR (8)	0,82	Chang et al. (2001)

Sand; %	VIS–NIR	400–2500	PLRS modified	0,7	Cozzolino & Moron (2003)
Sand; g/kg	VIS–NIR	350–2500	MARS	0,76	Shepherd & Walsh (2002)
Sand; %	UV–VIS–NIR	250–2500	PCR	0,53	Islam et al. (2003)
Silt; %	MIR	2500–25,000	PLSR	0,84	Janik et al. (1998)
Silt; %	VIS–NIR	400–2498	PCR (8)	0,84	Chang et al. (2001)
Silt; %	VIS–NIR	400–2500	PLRS modified	0,8	Cozzolino & Moron (2003)
Silt; g/kg	VIS–NIR	350–2500	MARS	0,67	Shepherd & Walsh (2002)
Silt; %	UV–VIS–NIR	250–2500	PCR	0,05	Islam et al. (2003)
Resp. rate; CO ₂ –C/kg/day	VIS–NIR	400–2498	PCR (9)	0,66	Chang et al. (2001)
Specific surface area; m ² /g	NIR	1000–2500	MRA (63 bands)	0,7	Ben-Dor & Banin (1995)
w 10 kPa; %	MIR	2500–25,000	PLSR	0,83	Janik et al. (1998)
w 30 kPa; %	MIR	2500–25,000	PLSR	0,9	Janik et al. (1998)
w (air dry); %	MIR	2500–25,000	PLSR	0,7	Janik et al. (1998)
w (air dry); g/g	NIR	700–2500	PCR	0,8	Islam et al. (2003)
w (air dry); %	NIR	1000–2500	MRA (25 bands)	0,62	Ben-Dor & Banin (1995)
w (air dry); %	NIR	1100–2500	MLR (1926,1954, 2150)	0,97	Dalal & Henry (1986)
w (oven dry); %	VIS–NIR	400–2400	SMLR (606,1329, 1499)	0,66	Shibusawa et al. (2001)
w; kg/kg	VIS–NIR	400–2498	PCR (8)	0,84	Chang et al. (2001)
w(air dry); g/g	UV–VIS–NIR	250–2500	PCR	0,85	Islam et al. (2003)

⁽¹⁾ Técnicas de análises multivariadas incluindo Análise de regressões múltiplas (MRA), regressão linear múltipla por passos (SMLR), regressão adaptativa multivariada (MARS), redes com função de base radial (RBFN), regressão de componentes principais (PCR), regressões de mínimos quadrados parciais (PLSR). Entre os parênteses é mostrado as bandas espectrais utilizadas ou o número de bandas ou o número de componentes do PCR ou o número de fatores do PLSR utilizados nas predições.

Uso de espectrofotômetros no campo

Vários estudos têm demonstrado a eficácia do infravermelho próximo para as análises quantitativas do solo, e muitos pesquisadores estão propondo e testando espectrofotômetros de campo para medições de refletância em tempo real (Kweon al. Al., 2008).

Chang et al. 2005 testaram o potencial da aplicação da espectroscopia do NIR para análise de solos úmidos no campo. Eles avaliaram a influência da umidade do solo sobre a precisão das previsões do NIR das propriedades do solo e avaliaram a robustez de uma técnica de calibração multivariada do NIR. NIRS-PLSR foi capaz de prever com razoável precisão C total, C orgânico, C inorgânico, N total, umidade, CTC, e argila% tanto para solos secos ao ar quanto úmidos. Os autores concluíram que a necessidade de analisar solos úmidos no campo não é o grande impedimento para a implantação comercial da tecnologia de análise de solo através de espectroscopia do NIR. É o desenvolvimento de modelos de calibração robustos nos quais diversas amostras de solo devem ser incluídos para um banco de dados de calibração.

Um sensor de infravermelho próximo, em tempo real, foi utilizado por Malek et al., (2007) para otimizar a aplicação de fósforo em diferentes taxas, mostrando que com a disponibilidade dos dados do sensor, as desvantagens dos métodos atuais de amostragem do solo podem ser superadas.

Um penetrômetro equipado com um sensor de refletância do infravermelho próximo, utilizado por Nunes & Hummel (1999), mediu a resistência à penetração, bem como a umidade e o teor de matéria orgânica. Shibusawa et al. (2000) utilizaram um espectrofotômetro para medir em tempo real, a refletância espectral do solo nas faixas do visível e infravermelho próximo, a uma velocidade de 3,6 km/h. Testes de campo mostraram uma relação linear entre a refletância em alguns comprimentos de onda e diversas propriedades do solo, incluindo a matéria orgânica e umidade.

Mouazen & Ramon (2006) desenvolveram um sistema de medição em tempo real de densidade do solo utilizando uma simples célula de carga no final de uma haste de cisalhamento para medir a resistência do solo ao corte lateral, uma roda de metal equipada com sensor de variação linear para medir a profundidade, e um espectrofotômetro de infravermelho próximo para medir a umidade do solo.

Uma sonda de contato construída para a aquisição da refletância espectral a campo foi desenvolvida por Kasumo al. al. (2008) para investigar o potencial do uso de refletância difusa para análise de C e N a campo em solos de pasto. Os dados foram obtidos a partir da superfície do solo horizontal plana seccionada de um núcleo do solo. O estudo indica que a avaliação in situ de C e N do solo por espectroscopia de campo tem um potencial considerável para mapeamento rápido de C e N do solo através da paisagem.

Lund et al. (2008) testaram equipamentos comerciais de VIS-NIR (Veris Technologies, Inc., E.U.A.) usando tanto o módulo de haste como o de sonda para, avaliar a sua eficácia para medir determinadas propriedades do solo próximas à superfície.

Sensores de solo em tempo real a ser desenvolvidos podem fornecer informações de alta densidade sobre a variabilidade do solo, e a combinação de diferentes sensores

pode ser benéfica para separar os efeitos individuais das propriedades do solo e para fornecer dados suficientes para a tomada de decisão (Adamchuck, 2008).

Usando o sensor VIS-NIR-Force CE-P4000 Probe, Kweon et al. (2008) coletaram dados de VIS-NIR e avaliaram a sua eficácia na mensuração de determinadas propriedades do solo. Nesta pesquisa, regressão de quadrados mínimos parciais (PLSR) foi utilizada para a calibração, a qual se adéqua ao problema de previsão impostos pelas medições em tempo real. O sistema foi capaz de prever carbono com um R^2 de 0,69 a 0,89 e nitrogênio com um R^2 de 0,7 ou mais. O trabalho também mostrou que, com a combinação do diferentes sensores utilizados no VIS-NIR-Force CE-P4000 Probe que são normalmente relacionados com a umidade, textura e resistência do solo, é possível estimar a densidade do solo, um fator extremamente importante para medir a mudança de carbono. Embora os resultados tenham sido variados, as estimativas de densidade do solo foram satisfatórias em três dos seis campos de estudo (Tabela 3).

Tabela 3: Estatística de validação cruzada para carbono, nitrogênio e densidade a partir do VIS-NIR probe. Adaptado de Kweon et al., 2008.

PONTOS PARA VIRGULAS

Campo	Carbono (%)				Densidade g/cm ³				Nitrogênio			
	RPD	R ²	RMSE	SD	RPD	R ²	RMSE	SD	RPD	R ²	RMSE	SD
1	1,81	0,69	0,22	0,4	1,11	0,21	0,12	0,14	1,84	0,7	0,02	0,03
2	3,06	0,89	0,17	0,51	1,28	0,4	0,13	0,17	3,39	0,91	0,01	0,04
3	2,89	0,88	0,08	0,22	2,09	0,76	0,07	0,14	2,75	0,87	0,01	0,02
4	2,09	0,77	0,2	0,42	2,16	0,78	0,08	0,18	2,09	0,77	0,2	0,42
5	2,52	0,84	0,14	0,35	1,95	0,73	0,1	0,19	2,17	0,78	0,01	0,03
6	1,97	0,74	0,16	0,31	1,59	0,61	0,11	0,17	2,38	0,82	0,01	0,03

O mapeamento da variabilidade de carbono do solo através de VIS-NIR é uma tecnologia promissora para ajudar a reduzir a incerteza em carbono do solo e as estimativas de troca de carbono, e pode ter um papel em outras iniciativas de mapeamento de solos (Lund et al. , 2008). No futuro, o uso de espectrofotômetros de infravermelho próximo (NIR) para uso em campo será disponível. Com funções pedotransferências adequadas para calibração, as estimativas de muitas propriedades dos solos será melhorada, e outras (como CTC e C orgânico) serão estimadas no campo pela primeira vez (Budiman al. Al., 2003). Uma biblioteca de espectros de infravermelho do solo com muitas amostras deve ser construída, o que, combinado com modelos matemáticos adequados, será um sistema de informação útil na avaliação da fertilidade do solo. Este sistema de informação espectral irá fornecer rapidamente avaliações in situ da fertilidade do solo, beneficiando a agricultura sustentável (Du & Zhou, 2009).

A importância de mensurações de Carbono

A quantidade de carbono no solo é um indicador de degradação devido à sua influência sobre numerosas propriedades físicas, químicas e biológicas e processos que afetam a capacidade do solo para desempenhar as suas funções (Lal, 1997).

O Protocolo de Kyoto (Oberthür & Ott, 2000) tem uma previsão de atribuição de créditos de carbono (C) seqüestro em solos florestais (artigo 3.3) e agrícolas (artigo 3.4). Assim, o aumento de C verificável em ecossistemas terrestres (solos e vegetação) e aquáticos (áreas úmidas) pode ter os dois benefícios, econômicos e ambientais. Semelhante a outros produtos agrícolas (por exemplo, milho, trigo, leite, madeira), C cultivado em fazendas e florestas também pode ser tratado como um bem comercializável (commodities). A mercantilização do C exige criação de um banco de dados para taxas credíveis e verificáveis de seqüestro de C em relação aos diversos usos da terra e do solo / práticas de manejo da vegetação, e a identificação de tecnologias que possam melhorar seqüestro de C no solo, biota, e áreas úmidas.

Embora o potencial de seqüestro de C no solo seja finito, sendo apenas uma solução a curto prazo enquanto as outras alternativas estão sendo desenvolvidas, ele também conduz a uma melhoria na qualidade do solo. Assim, é verdadeiramente uma estratégia de ganho dobrado (Lal, 2003).

De acordo com Lund et al (2008) os três objetivos principais da medição de carbono são a possibilidade de identificações precisas de níveis de seqüestro de carbono do solo para pagamentos de créditos de carbono, criar recomendações de taxa variável para o nitrogênio e determinar os impactos da remoção total de culturas sobre a qualidade do solo. O primeiro diz respeito à necessidade de redução de carbono na atmosfera, aumentando a quantidade de carbono estocado no solo. Isso envolveria contratos com produtores para seqüestrar carbono em seus solos, e exigiria medições precisas para verificar a quantidade de carbono armazenado. O que faz medição de alterações nos níveis de carbono no solo difícil é que o aumento esperado de carbono é pequeno em relação à variabilidade espacial do carbono dentro de muitos campos.

Embora o seqüestro de carbono e os bicomcombustíveis deixem a agricultura em uma posição para ajudar na redução de gases do efeito estufa, emissões de óxido nitroso devido ao excesso de nitrogênio aplicado na produção agrícola, posiciona a agricultura como uma contribuinte significativa para com as emissões de gases com efeito de estufa. Mapas de campo altamente detalhados de carbono orgânico e nitrogênio ajudariam a melhorar as estimativas de N, que serão disponibilizados durante a safra. Isto proporcionaria uma base racional para que produtores reduzissem a quantidade de N aplicado, e considerar a sua aplicação localizada.

Finalmente, há um considerável interesse na utilização de material vegetal (celulose) para produção de etanol e energia. Uma preocupação importante é quanto resíduo de cultura pode ser removido sem diminuir a matéria orgânica e afetar a saúde do solo. A fim de avaliar com precisão esses efeitos, medições de carbono no solo e monitoramento serão necessários.

Andrews (2006) recomenda que os campos devam ser cuidadosamente monitorados para sinais visuais de erosão ou encrostamento e também verificações periódicas de carbono do solo devem ser parte dos testes de fertilidade quando as práticas de remoção total de culturas são utilizadas. As taxas de remoção devem ser ajustadas em resposta a mudanças adversas: se a erosão aumentar ou o carbono diminuir, as taxas de remoção de cultura devem ser reduzidas para manter a qualidade do solo.

Seqüestro de C no solo também é uma estratégia para alcançar segurança na produção de alimentos através da melhoria da qualidade do solo. Enquanto reduz o aumento da concentração atmosférica de CO₂, o seqüestro de C no solo melhora e

mantém a biomassa / produtividade agronômica. O carbono orgânico do solo é um recurso natural extremamente valioso, e independentemente do debate sobre o clima, o estoque de carbono orgânico no solo deve ser restaurado e melhorado. Uma política de manejo de carbono deve ser desenvolvida e aprovada pelos agricultores nos trópicos. A estreita ligação entre o seqüestro de C do solo e a segurança na produção de alimentos no mundo, de um lado e as alterações climáticas do outro, não pode ser subestimada, nem ignorada (Lal, 2004).

TRABALHO EXPERIMENTAL

P4000 VIS-NIR-EC-Force Probe

O P4000 VIS-NIR-EC-Force Probe é um instrumento comercial desenvolvido pela Veris[®] Technologies para coletar medições de condutividade elétrica, resistência à penetração e espectros na região VIS-NIR ao longo do perfil do solo. O equipamento também tem um modo para recolher amostras de solo utilizando o mesmo sistema hidráulico. O sistema é montado em um caminhão de quatro rodas motrizes, tornando possível viajar, em estradas ou dentro das lavouras (Figura3).



Figura 3: O equipamento montado no caminhão

Os sensores VIS-NIR-EC-Force fornece informações independentes do perfil do solo. O VIS-NIR espectrômetro coleta medições ópticas através de uma janela de safira ao lado da sonda, na medida em que penetra no perfil do solo. Na parte inferior da sonda há uma ponta de cone com sensor de contato para coletar informação de condutividade elétrica dipolar. Uma célula de carga mede a força necessária para a penetração da sonda no solo. Todas as informações são georreferenciadas e a profundidade é registrada para cada medição em incrementos de centímetro por um medidor de altura (stirplot).

O software do equipamento abrange controle de instrumentos, calibração, registro de dados e funções de normalização de dados. O sistema deve ser calibrado com referências externas a cada nova operação e com uma referência escura a cada dez minutos (Figura 4).

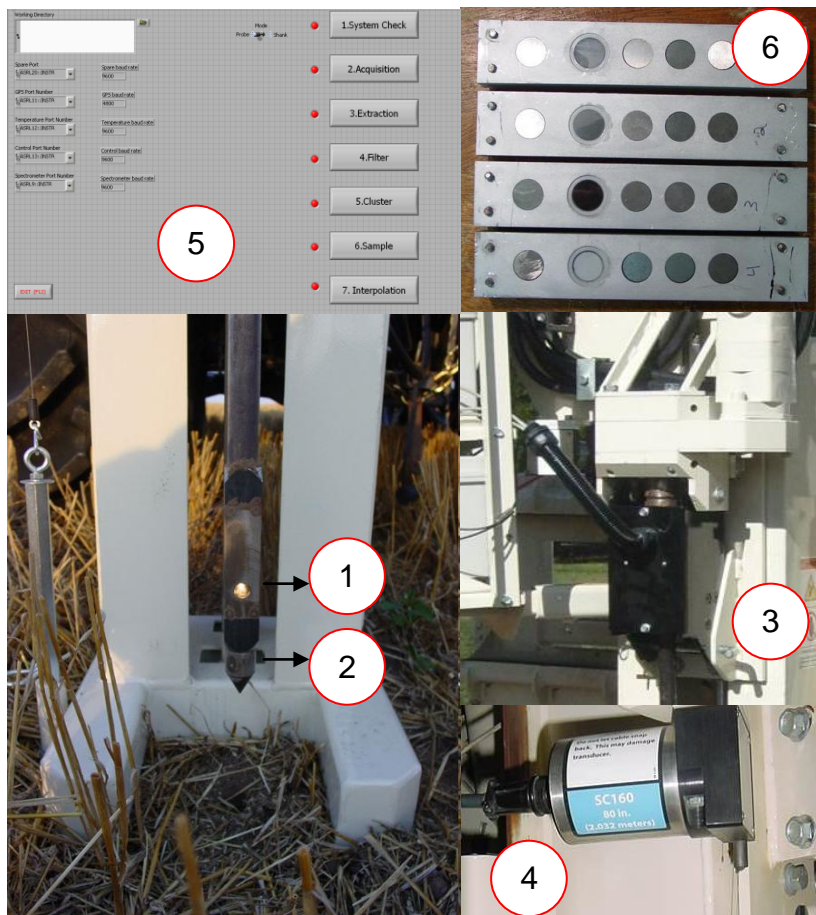


Figura 4: ¹⁻ Janela de safira para coletar as medidas óticas; ²⁻ Sensor de contato para Condutividade elétrica; ³⁻ Célula de carga; ⁴⁻ Stringpot; ⁵⁻ Software; ⁶⁻ Referências externas.

O sistema hidráulico possui um motor independente e fornece diferentes tipos de movimentos para várias inserções em um determinado local. O “side shift” e o “extend control” permite o controle lateral, para frente e para trás proporcionando várias inserções em um determinado local, “fold control” e também “extend” são usados para mover da posição de transporte para posição de campo, o “foot control” levanta e abaixa o a base para ajustar o sensor ao solo, o “probe control” move a sonda e também comandos de rotação e opções de martelo são usados para amostras de solo (Figura 5).



Figura 5: À esquerda os controles hidráulicos e à direita o martelo hidráulico.

O modo de amostrador de solo utiliza a tecnologia fornecidos pela empresa-irmã da Veris Technologies, GeoProbe ®. O equipamento para retirada do solo consiste em um forro de PETG com um retentor de solo instalado em uma sapata de corte e colocado dentro de um tubo de amostragem (Figura 6).

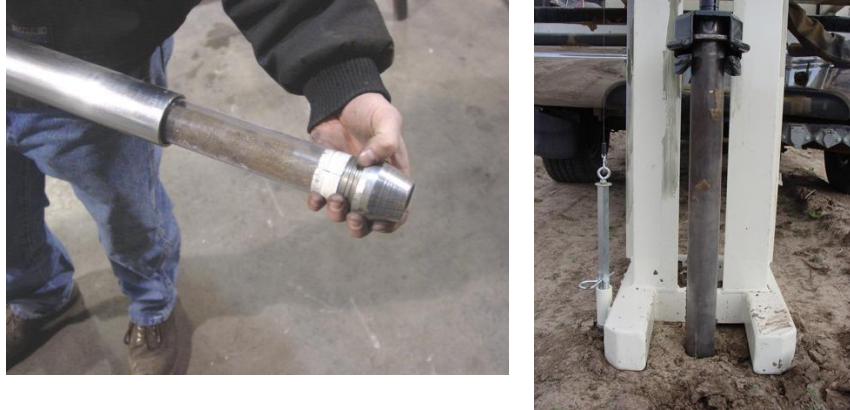


Figura 6: À esquerda o tubo amostrador mostrando o forro de PETG e a sapata de corte, à direita o sistema em uso.

A ACPA adquiriu o equipamento, principalmente para análise de carbono, mas este também pode ser usado para medir outras propriedades como a textura, umidade, matéria orgânica, CTC, densidade e características químicas, tais como nitrogênio, cálcio, magnésio e potássio.

OBJETIVOS

O objetivo principal deste projeto é fazer com que o sistema entre em funcionamento e iniciar a calibração para carbono do solo em massa volumétrica - de modo que não há necessidade de ter uma amostra de solo para a densidade do solo. O projecto envolveu:

- a compreensão dos equipamentos e dos espectros;
- a análise os efeitos externos que podem influenciar as previsões em condições de campo;
- o planejamento e construção de um processo robusto de amostragem;
- o começo da construção de uma biblioteca de espectros para iniciar a calibração para solos Australianos.

EFEITOS EXTERNOS DE UMIDADE E COMPRESSÃO NA ANÁLISES DE ESPECTROSCOPIA A CAMPO:

Espectroscopia do visível e infravermelho próximo tem sido usada para medidas diretas das propriedades do solo no campo, embora a fraca absorção na região do infravermelho permitir a medição de amostras úmidas no campo (Lund et al., 2008) o teor de água ainda é uma importante causa de mudanças no formato dos espectros do solo. Essa mudança é atribuída às modificações na cor do solo e nas bandas de absorção de com a evolução do teor de água. O aumento da reflectância é uma indicação de diminuição da umidade e vice-versa (Mouazen et al., 2006). Tal fato implica que os efeitos da umidade na forma do espectros devem ser removidos, a fim de aumentar a precisão ao quantificar as propriedades do solo (Whiting et al., 2004). Este, e também o efeito da compactação, podem ser chamados de "parâmetros externos", que são propriedades diferentes daqueles a serem estudados, mas que afetam o resultado da uma medição. Considerando que os parâmetros externos são bem controlados em amostras preparadas para laboratório, eles podem variar muito em outras condições e alterar os espectros medidos. Se o efeito do parâmetro externo é conhecido e pode ser modelado de forma linear, é possível remover os seus efeitos sobre a previsão das propriedades do solo (Roger et al., 2003).

Em condições de campo, a variabilidade da umidade é inevitável, e também o efeito da compactação provocada pela inserção da sonda no solo é algo que precisa ser compreendido. Com o objetivo de quantificar essas influências nas análises de espectroscopia, dois experimentos de laboratório foram desenvolvidos.

Experimento 1: Avaliação da umidade em amostras de solo solto usando um espectrômetro de VIS-NIR (ASD)

Material e Métodos

Tres tipos de solo foram utilizados para medir a habilidade da espectroscopia de VIS-NIR para medir a umidade no solo. Uma amostra seca de solo foi sendo molhada e homogenizada gradativamente e uma amostra era retirada em um recipiente de aluminio a cada vez que era adicionada água ao solo, dessa maneira foram obtidas 7 amostras para cada solo, com teores crescentes de umidade (Figura 7).



Figura 7: Os solos utilizados no estudo (esquerda); solo sendo umidecido (centro); as amostras obtidas (direita).

O espectrofotometro utilizado para as medicoes in situ foi o espectrofotometro portatil Agrispec ligado um amostrador de contato (Analytical spectral Devices, Boulder Colorado – ASD – Figura 8). O instrumento tem uma faixa espectral entre 350 – 2500 nm. O espectrofotometro foi calibrado com uma referencia branca antes das medicoes. Foi utilizado a absorbancia (Log(1/reflectancia) e a primeira derivativa da absorbancia de cada espectro.



Figura 8: À esquerda o espectrômetro ASD, à direita as medições espectrais

Depois das medicoes espectrais as amostras foram pesadas e colocadas para secar em uma estufa a 105°C por 24 horas. As amostras foram entao pesadas novamente e os recipientes foram pesados sem o solo. A umidade gravimétrica foi calculada pela formula (Black, 1965):

$$Umidade (g/g) = (peso da agua (g) / peso do solo (g)) * 100$$

Tabela 4: Umidades calculadas para cada amostra

Amostra	Umidade (%)		
	Solo 1	Solo 2	Solo 3
A	6,29	4,86	2,96
B	6,95	6,03	4,88
C	8,28	8,04	10,13
D	9,61	10,70	10,58
E	10,52	16,00	18,03
F	12,37	19,07	19,32
G	15,49	29,57	21,69

Os dados dos comprimentos de onda entre 470 e 2440nm foram analisados para cada solo separadamente.

Resultados e Discussão

A Figura 9 mostra os gráficos da absorbância em todos os comprimentos de onda para as diferentes umidades do solo, para cada solo estudado. Mostra também alguns picos de absorcao em certos comprimentos de onda na região entre 1300 e 1700nm e entre 1800 e 2200nm. Nestes picos a diferença entre as diferentes umidades são mais claras. Na figura 10 a absorbância nestes picos é relacionada com a umidade mostrando a relação entre eles. A diferença de absorção de cada pico para a base da linha (altura) também foi calculada pela subtração da absorbância maior no pico pela a media da

absorbância no começo e no final do pico; os resultados foram plotados contra a umidade na Figura 11.

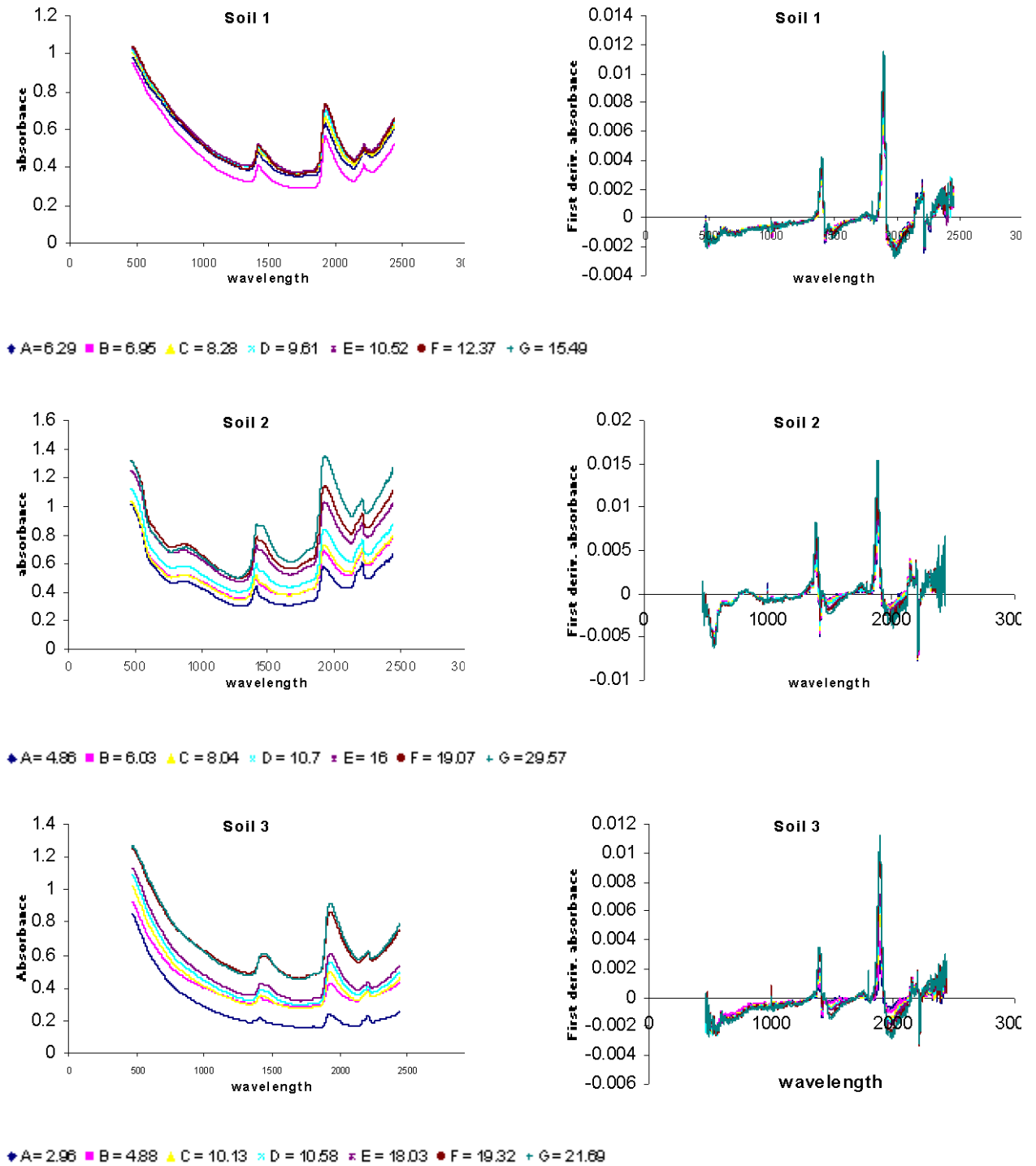
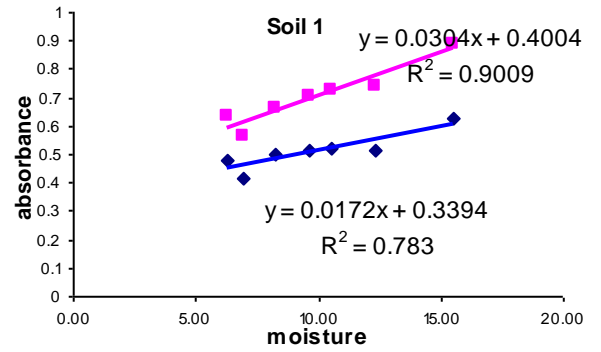
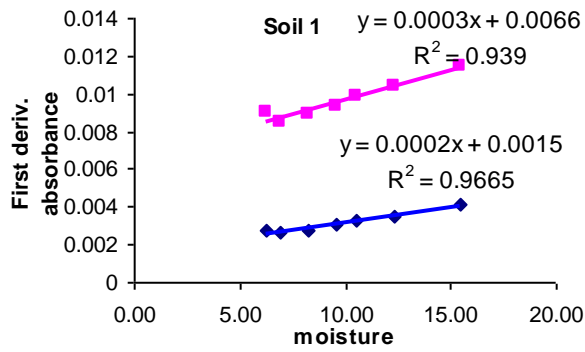
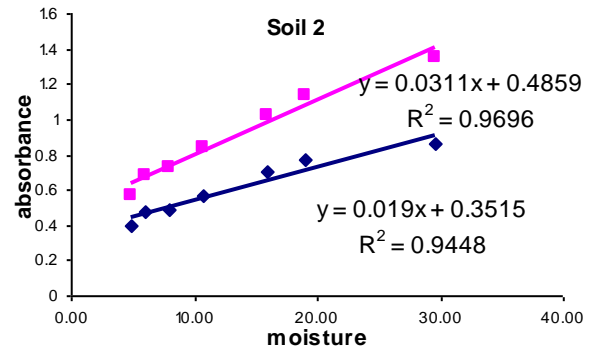
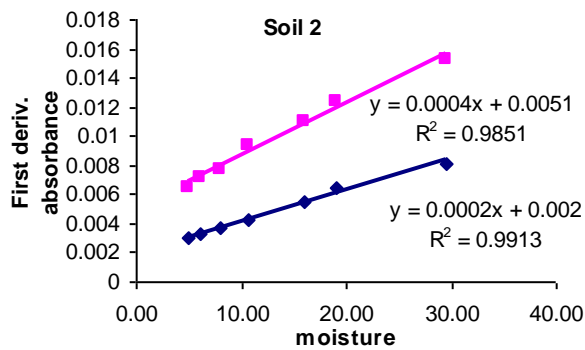


Figura 9: Absorbância (a esquerda) e a primeira derivativa da absorbancia (a direita) em todos comprimentos de onda, para cada umidade, em cada solo estudado.



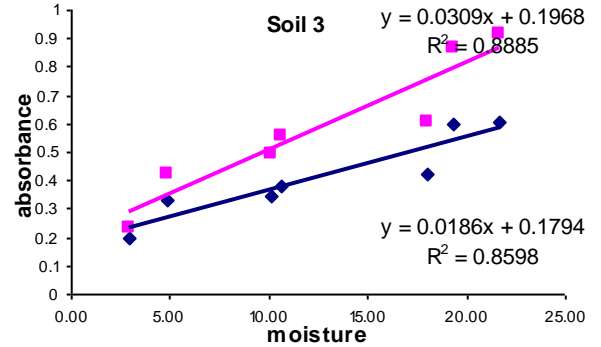
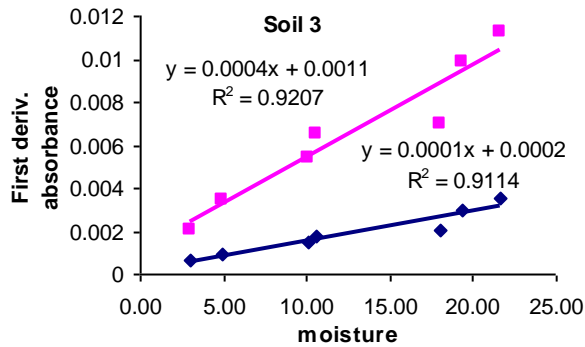
◆ 1417nm ■ 1920nm — Linear(1920nm) — Linear(1417nm)

◆ 1400nm ■ 1894nm — Linear(1894nm) — Linear(1400nm)



◆ 1426nm ■ 1927nm — Linear(1927nm) — Linear(1426nm)

◆ 1394nm ■ 1892nm — Linear(1892nm) — Linear(1394nm)



◆ 1431nm ■ 1936nm — Linear(1936nm) — Linear(1431nm)

◆ 1395nm ■ 1890nm — Linear(1890nm) — Linear(1395nm)

Figura 10: Relação entre a umidade e a absorvância (Direita) e a primeira derivativa da absorvância (Esquerda) em certos comprimentos de onda para cada solo estudado.

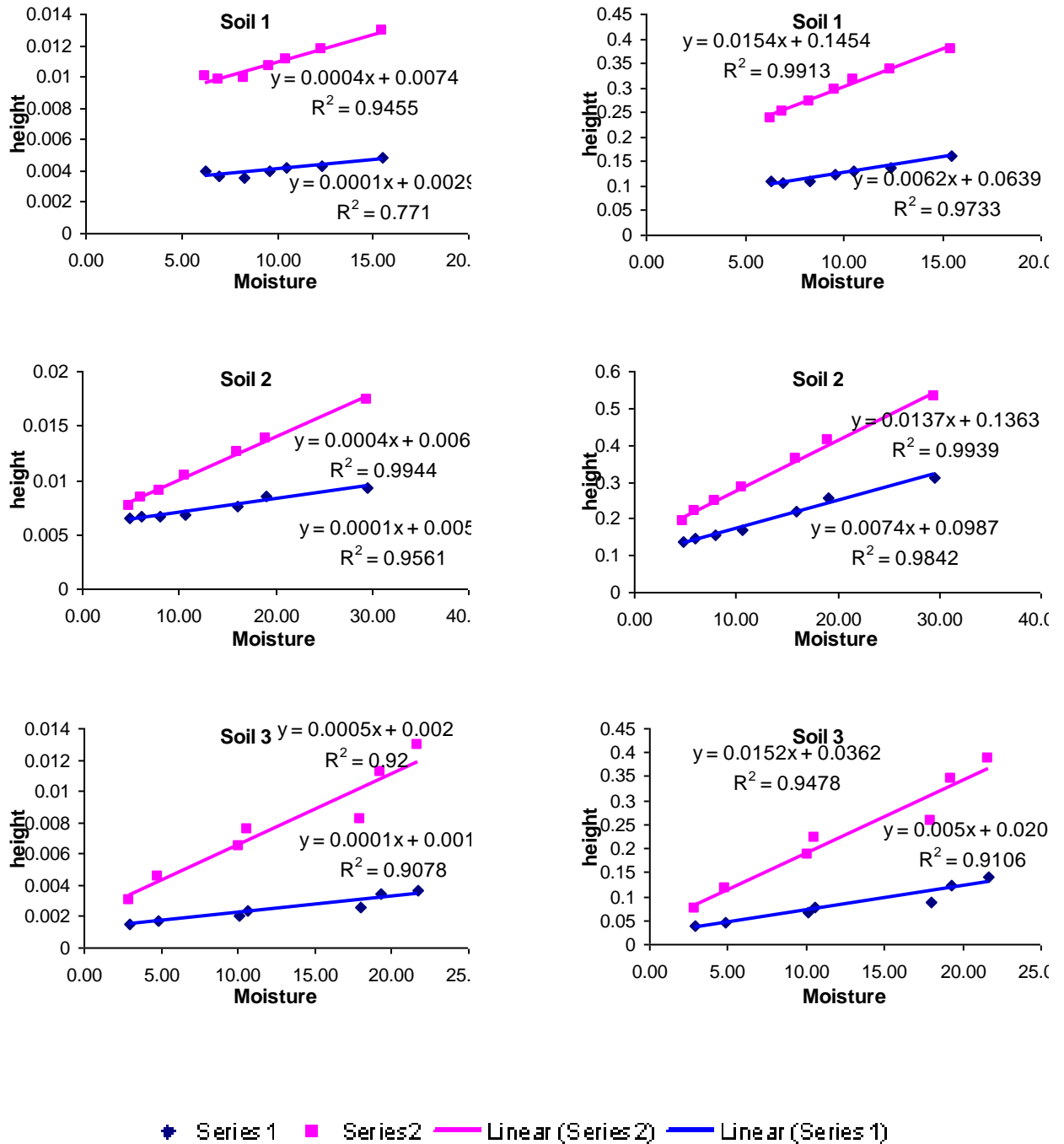


Figura 11: Relação entre a altura dos picos entre 1300 e 1700nm (Series 1) e entre 1800 e 2200nm (Series 2), para absorvância (Esquerda) e primeira derivativa da absorvância (Direita) com a umidade para cada solo em estudo.

Os gráficos mostram bons resultados de R² utilizando, tanto a altura dos picos quanto o valor de absorvância nos mesmos. As melhores correlações foram encontradas para os comprimentos de onda entre 1800 e 2200nm, mostrando que esta região tem bom potencial para medir a umidade nos solos estudados.

Utilizando certos comprimentos de onda (Figura 10) a primeira derivada apresentou melhores resultados, pois parece resolver os erros, trazendo as curvas para o mesmo nível e enfatizando as diferenças entre as alturas dos picos.

A espectroscopia de VIS –NIR foi eficiente em distinguir diferenças de umidade em todos os solos estudados. No entanto os resultados foram diferentes para cada solo, o que pode ser atribuído pela grande variação de textura, cor e origem dos solos investigados. Portanto calibrações devem ser específicas para cada tipo de solo e uma única calibração pode diminuir o sucesso da predição (Mouazen et al., 2006).

Este experimento mostra que é possível filtrar o efeito da umidade no espectro para que outras características do solo sejam estimadas a campo sem a necessidade de secagem das amostras.

Experimento 2: Efeito da umidade e compactação na análise de espectroscopia

Material e métodos

Dois solos diferentes foram usados para preparar amostras com diferentes níveis de umidade (4 para cada solo). A partir de uma amostra seca de solo com um peso conhecido, quantidades conhecidas de água foram adicionadas e o solo foi homogenizado de modo que quatro diferentes níveis de umidade foram obtidos para cada solo. 3 repetições (a mesma quantidade de solo e a mesma quantidade de água) foram realizadas para cada tratamento.

A Tabela 5 mostra o nível de umidade obtido para os dois tipos de solo utilizados; no solo argiloso mais água poder ser acrescentada devido à maior capacidade de retenção de água.

Tabela 5: Umidade volumétrica para os dois tipos de solo.

Umidade	Solo 893	Solo 891
1	1,07%	2,54%
2	7,99%	8,55%
3	16,22%	14,05%
4	21,95%	20,05%

As amostras foram então comprimidas para quatro níveis de densidade diferentes. Densidade 1 corresponde a uma amostra de solo solto, densidades de 2, 3 e 4 envolvem compressões crescentes nas amostras. O solo foi homogêneamente compactado em um tubo de PVC e a altura foi medida de modo que o volume pode ser calculado. O solo foi compactado para o mesmo nível nas amostras de repetição, mas a níveis diferentes para as diferentes umidades, devido ao fato de que um solo molhado é mais fácil para compactar do que um solo seco. Os volumes obtidos em cada amostra são mostrados na tabela 6. A Figura 12 mostra o diagrama que descreve como as amostras foram preparadas.

Tabela 6: Densidades obtidas com as compressões para cada solo.

Solo	Umidade	Densidade 1	Densidade 2	Densidade 3	Densidade 4
Densidade (g cm^{-3})					
Black 891	1	0,85	0,98	1,06	1,15
	2	0,73	0,93	1,06	1,15
	3	0,69	0,86	1,06	1,25
	4	0,66	0,86	1,15	1,38
Red 893	1	0,91	0,99	1,04	1,17
	2	0,82	0,94	1,03	1,17
	3	0,71	0,85	0,97	1,20
	4	0,71	0,91	1,23	1,37

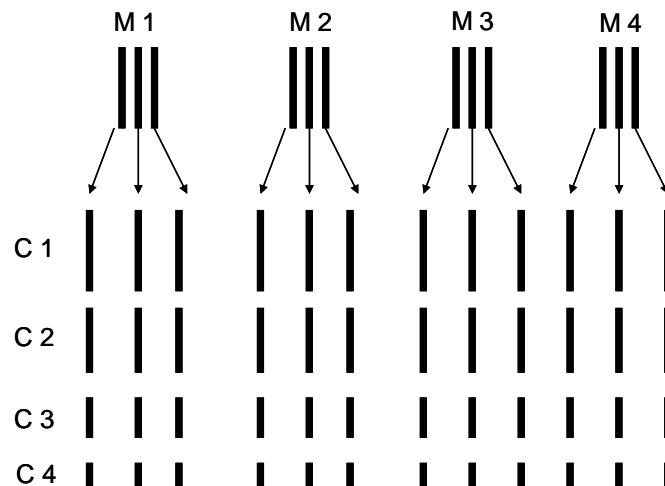


Figura 12: Diagrama de como as amostras foram preparadas.

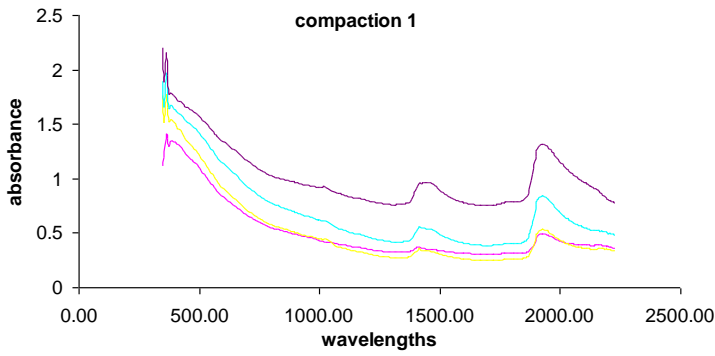
Para cada densidade o solo foi escaneado com o Veris P400 e com o espectrofotômetro ASD. Para ambos os solos, três medições foram feitas em cada uma das três repetições, de modo que 9 espectros foram obtidos para cada tratamento umidade X compactação.

Os resultados da média dos 9 espectros de cada tratamento de umidade X compactação são então relatados.

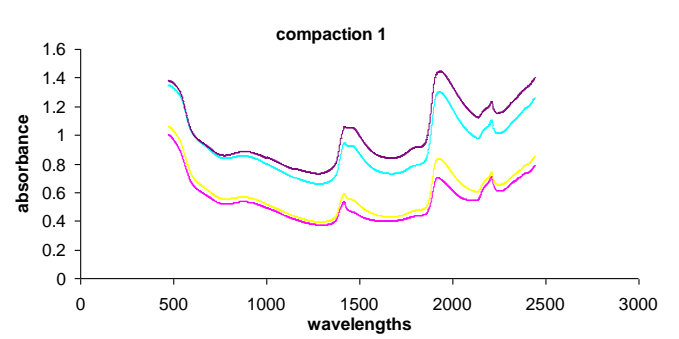
Resultados e discussão

Em relação à umidade, o resultado se assemelha ao experimento anterior, com mais umidade, o solo fica mais escuro e a absorvância é maior, e também os picos de absorvância perto de 1500 e 2000nm são mais relacionadas com a umidade. Mesmo em solos compactados o efeito da umidade parece ser o mesmo. A Figura 13 mostra o efeito da umidade em todos os níveis de compactação para dois diferentes solos (Soil 891 é representado pelos dados do Veris do Solo e 893 com os dados do ASD).

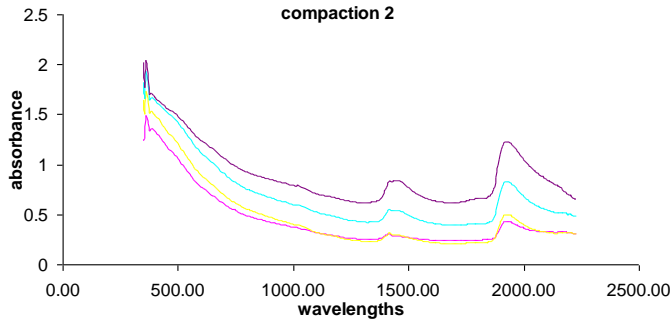
Solo 891 - Veris



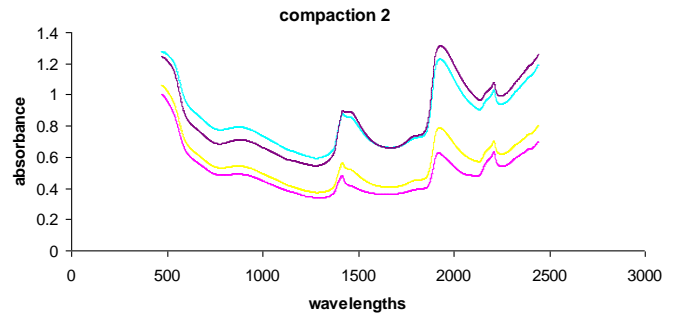
Solo 893 - ASD



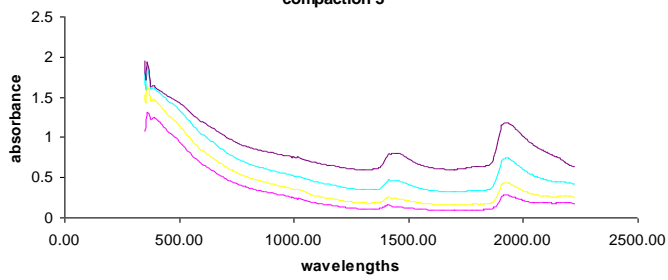
compaction 2



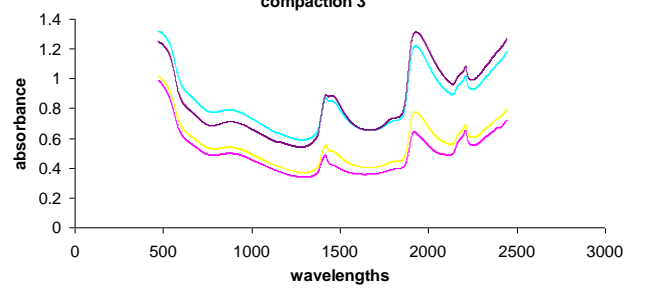
compaction 2



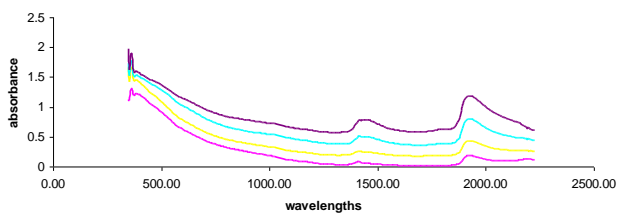
compaction 3



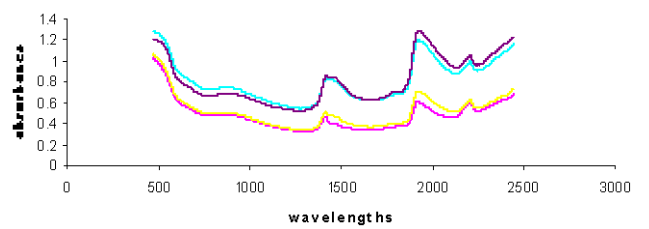
compaction 3



compaction 4



compaction 4



— moisture 1 = 2.5%

— moisture 2 = 8.5%

— moisture 3 = 14%

— moisture 4 = 20%

— moisture 1 = 1.06%

— moisture 2 = 8%

— moisture 3 = 16.2%

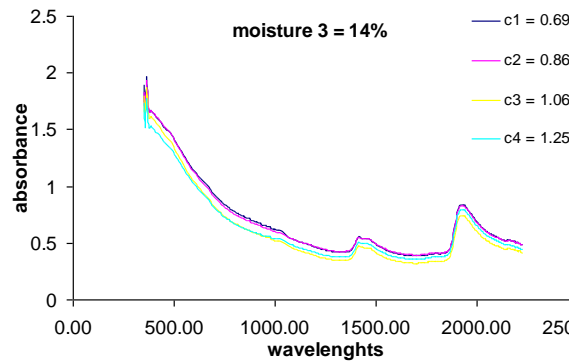
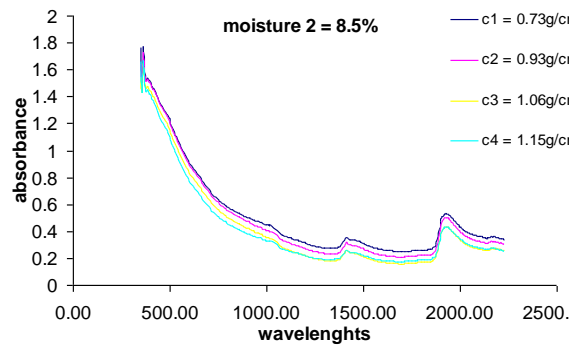
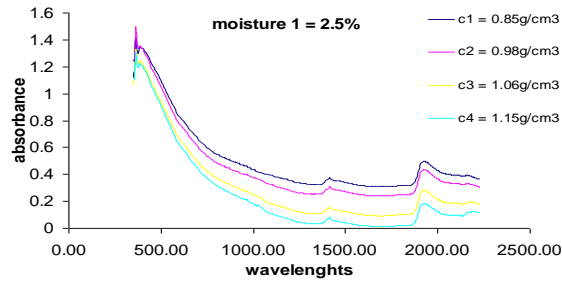
— moisture 4 = 22%

Figura 13: Efeito da umidade sobre os diferentes níveis de compactação

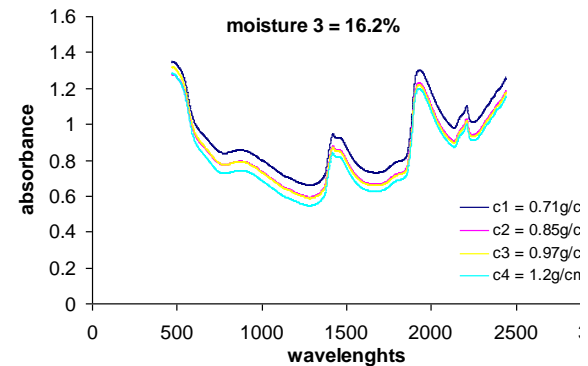
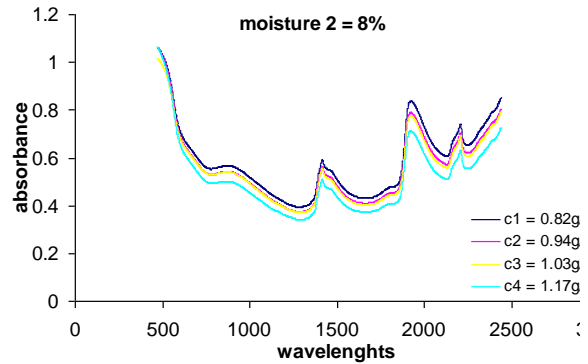
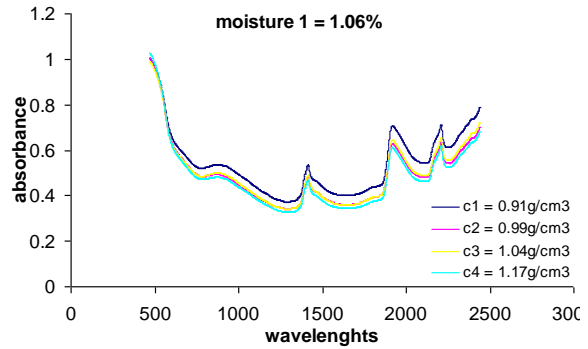
Para cada teor de umidade, a média da absorvância nas nove repetições para cada compactação foi plotada contra os comprimentos de onda para mostrar o efeito da compressão e como este muda com a umidade, alguns exemplos são mostrados na Figura 14.

A absorvância tende a ser menor quando o solo está compactado, o que mostra que mais se reflete quando o solo está compactado.

Solo 891 - Veris



Solo 893 - ASD



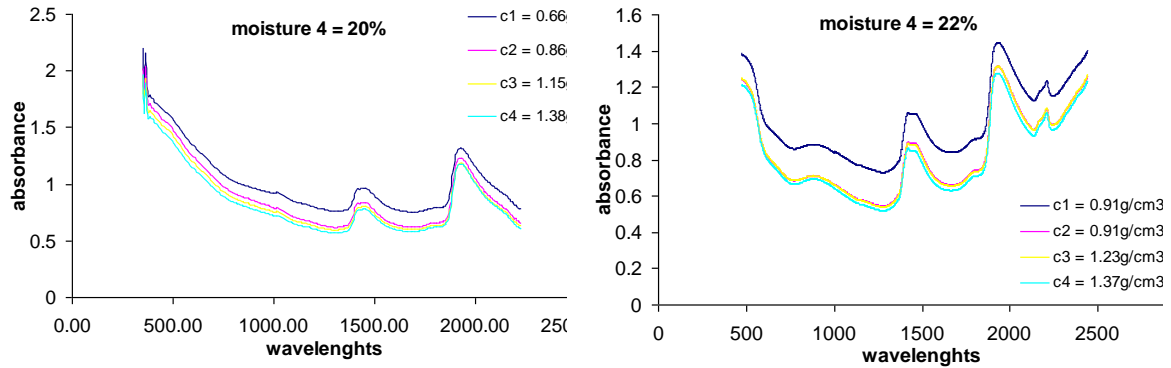
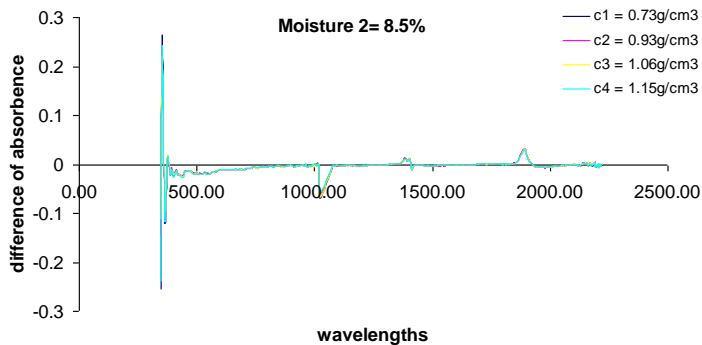
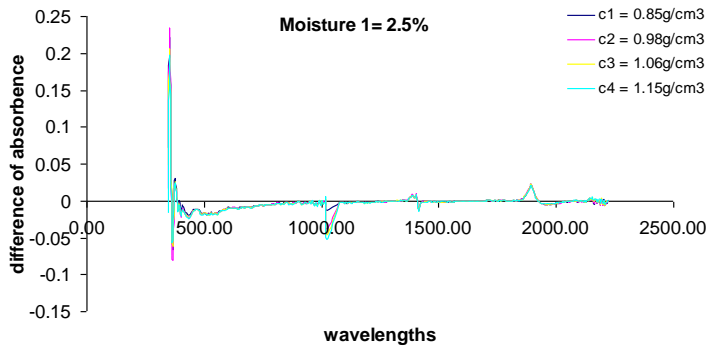


Figura 14: Efeito da compactação, sob diferentes níveis de umidade.

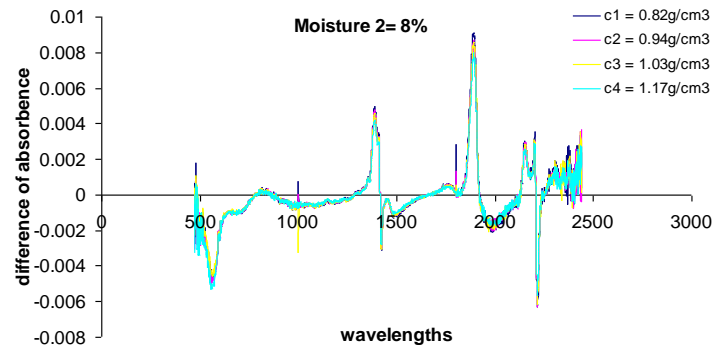
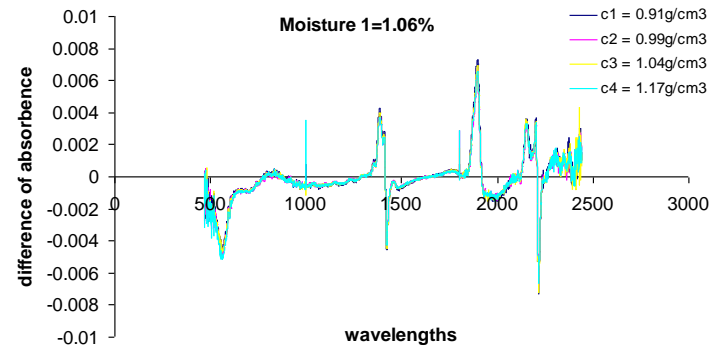
O efeito da compactação, diferente do efeito da umidade, parece ser muito pequeno e não há comprimentos de onda específicos onde o efeito é maior, ou seja, a forma da curva do espectro não muda por causa da compressão e derivativas devem eliminar esse efeito.

Para ver se o efeito da compactação pode ser eliminado com derivativas, a Figura 15 mostra a primeira derivada dos espectros mostrados na Figura 14.

Solo 891 - Veris



Solo 893 - ASD



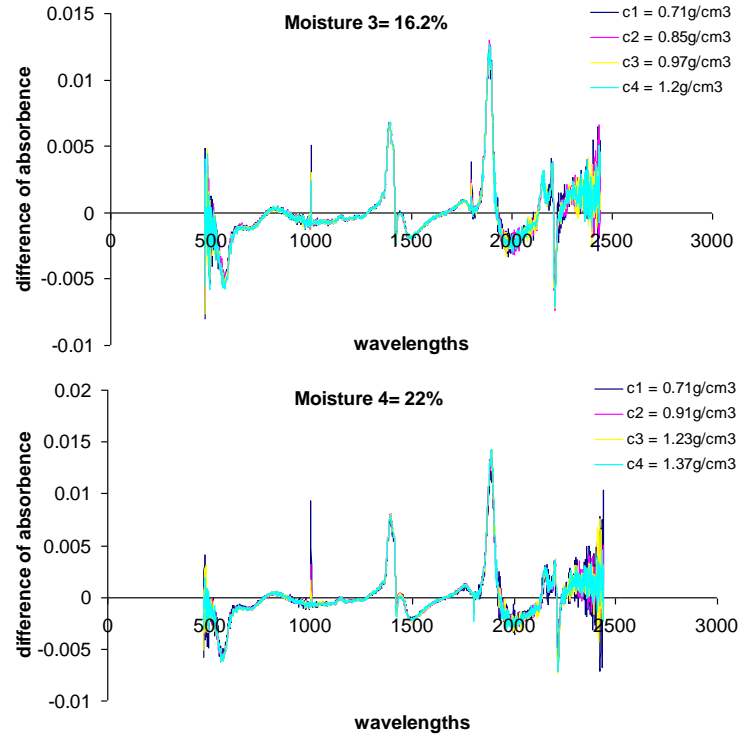
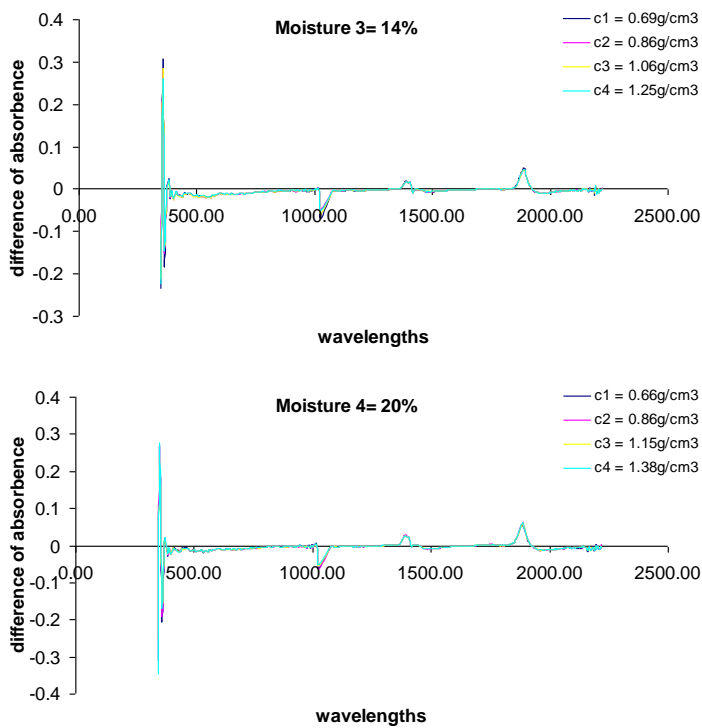


Figura 15: Efeito da compactação na derivativa da absorbância, sobre os diferentes níveis de umidade.

Os resultados mostram que o efeito da compactação pode ser facilmente removido com derivativas, que é uma técnica muito popular em análises de solo (Stenberg & Viscarra Rossel, 2008). Portanto a compactação que o equipamento pode causar ao solo não parece ser um problema para os espectros de medições em campo.

CONCLUSÕES

Os efeitos externos da umidade e compactação que a análise de espectroscopia a campo terá que lidar pode ser facilmente removido com pré-processamento. Um pré-tratamento simples usando de derivativas é capaz de remover o efeito da compactação e da umidade afeta o espectro em comprimentos de onda identificáveis, podendo ser removido com filtragem.

AVALIACAO DA REPETIBILIDADE DAS LEITURAS ESPECTRAIS COM O SENSOR P4000 VIS-NIR-EC-FORCE PROBE E COMPARACAO COM AS AMOSTRAS ESCANEADAS EM LABORATORIO

Para se realizar uma boa calibração para carbono em massa volumétrica utilizando o sensor P4000 VIS-NIR-EC-Force Probe e necessário a obtenção de amostras indeformadas para a mensuração da densidade.

Um problema com o sensor em questão é que as leituras espectrais não são realizadas exatamente no mesmo solo amostrado para as análises laboratoriais e o procedimento padrão não leva em conta repetibilidade exatamente no mesmo local, visto que a primeira leitura pode deformar o solo para as próximas subseqüentes.

Com o objetivo geral de definir um procedimento de calibração adequado para o aparelho foi realizado um teste para observar o comportamento do espectro sob diferentes situações.

MATERIAL E MÉTODOS

Teste 1

A sonda espectral foi inserida no solo 5 vezes exatamente no mesmo local (Figura 16: 3). Este teste fornece informações sobre a repetibilidade das medições no mesmo local. Estas cinco medições serão referidas como "quintuples".

Teste 2

A sonda espectral foi inserida no solo em quatro locais (Figura 16: 1, 2, 3 e 4) dentro de uma área de aproximadamente $0.15m^2$. Estas quatro medidas serão referidas como "cousins". Estes foram usados para testar a repetibilidade dos espectros em uma área pequena.

Teste 3

Uma amostra de solo foi retirada em 3 lugares cada uma cerca de 10 cm das medições espectrais utilizadas no teste 2. Estas amostras foram examinadas em laboratório, utilizando-se o espectrômetro portátil ASD e o espectrômetro Veris. Estes foram usados para observar as diferenças entre os espectros "in situ" e aqueles obtidos a partir de amostras de solo adjacentes como recomendado no protocolo de amostragem padrão (Figura 17).

Teste 4

Em cada buraco deixado pelo tubo amostrador, uma medição no interior do buraco foi realizada (Figura 16: 5, 6 e 7), de modo que o solo da parede interna do buraco fosse escaneado. Isto poderia ser usado para realizar a leitura a campo de um solo muito próximo da amostra que será analisada em laboratório ou para fazer leituras em solos extremamente duros em que a sonda não pode ser inserida independentemente.

Teste 5

As amostras escaneadas no laboratório foram escaneadas primeiramente no interior do tubo de PVC (de modo que é possível obter a menor deformação) e então o

PVC foi cortado (figura 17) e o solo foi escaneado novamente. Este teste mediu o efeito do PVC e a possibilidade de manter o solo nos tubos para análise futuras. Os espectros medidos com o 2 sensores foram comparados.

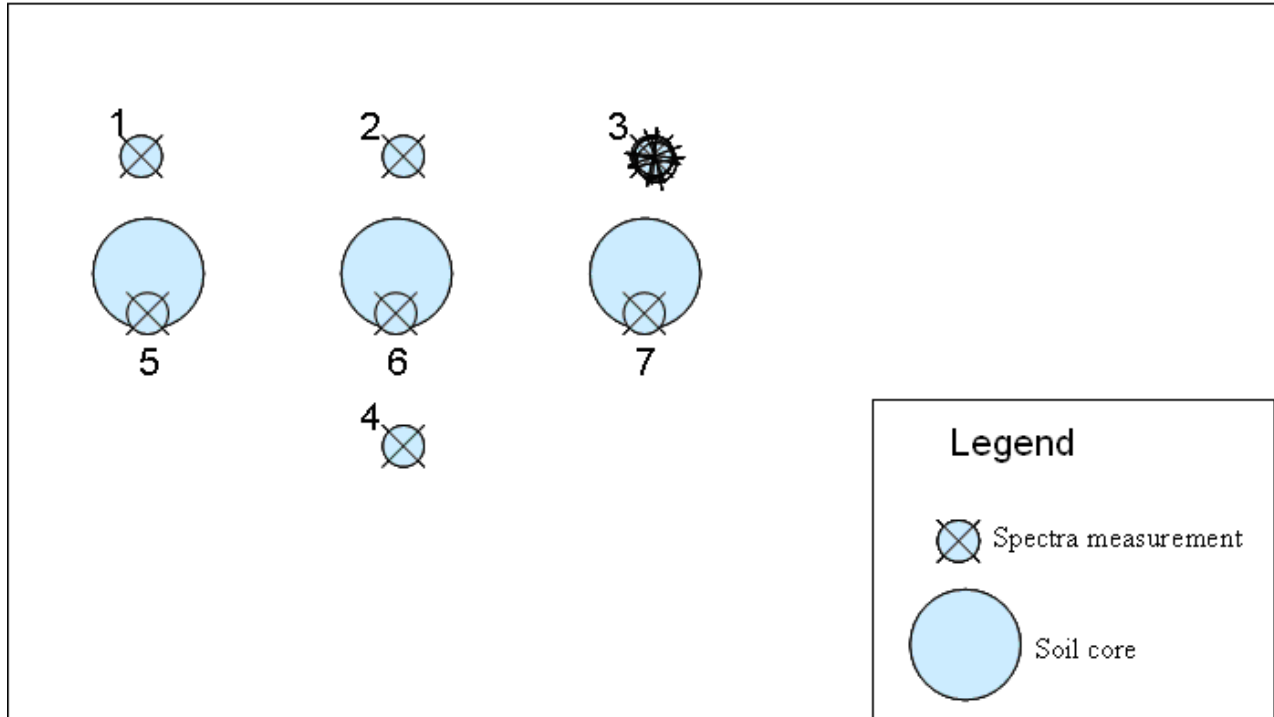


Figura 16: Diagrama do procedimento de amostragem a campo para os testes.

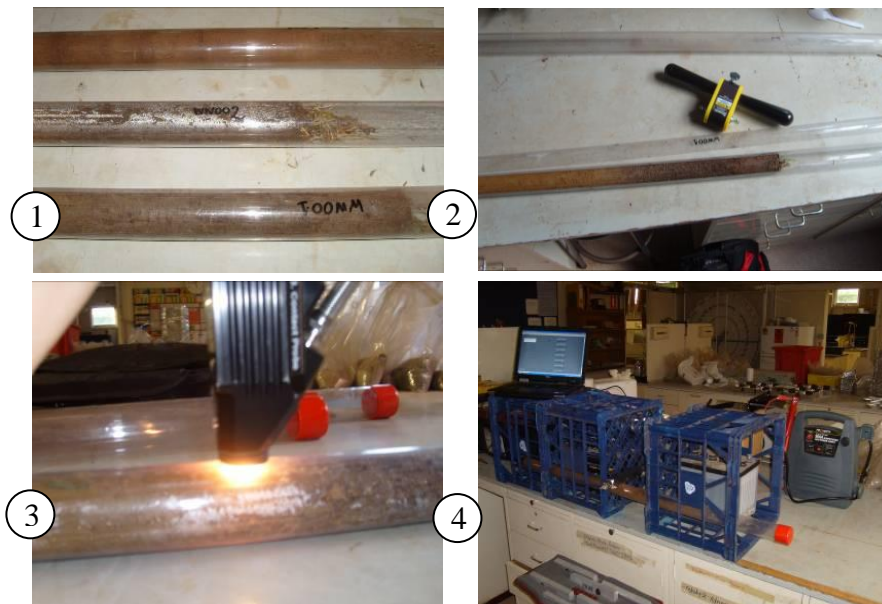


Figura 17: 1- Amostras no tubo de PVC; 2- Amostra sem o tubo de PVC; 3- Leitura com a ASD; 4- Leitura com a Veris

Resultados e Discussão

Teste 1:

A Figura 18 mostra os espectros obtidos no mesmo local para as três diferentes profundidades, bem como o desvio padrão entre eles.

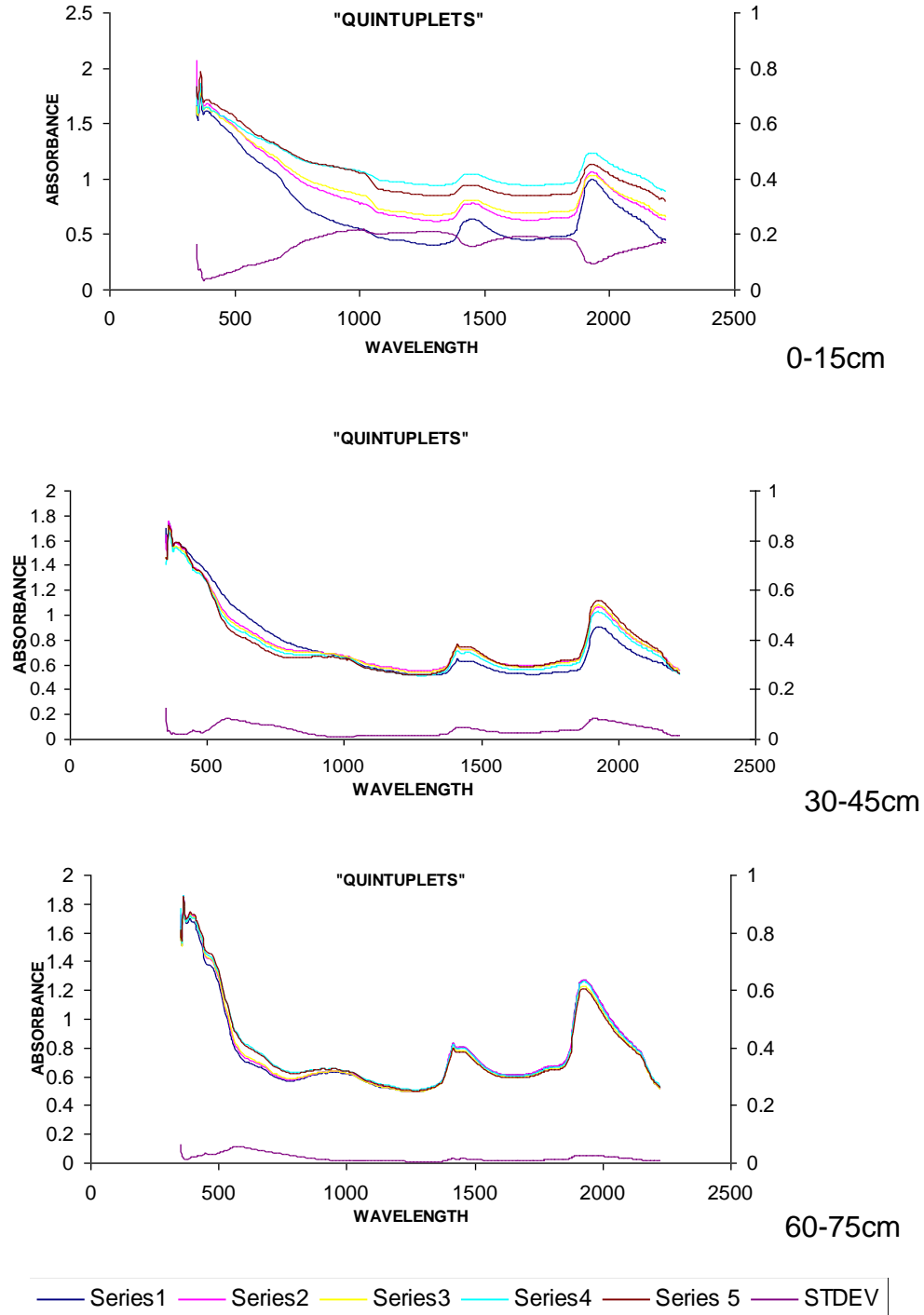


Figura 18: Espectros obtidos no mesmo local, em três profundidades diferentes.

Teste 2:

A Figura 19 mostra os espectros obtidos próximos uns aos outros, bem como o desvio padrão entre eles, também para 3 profundidades diferentes.

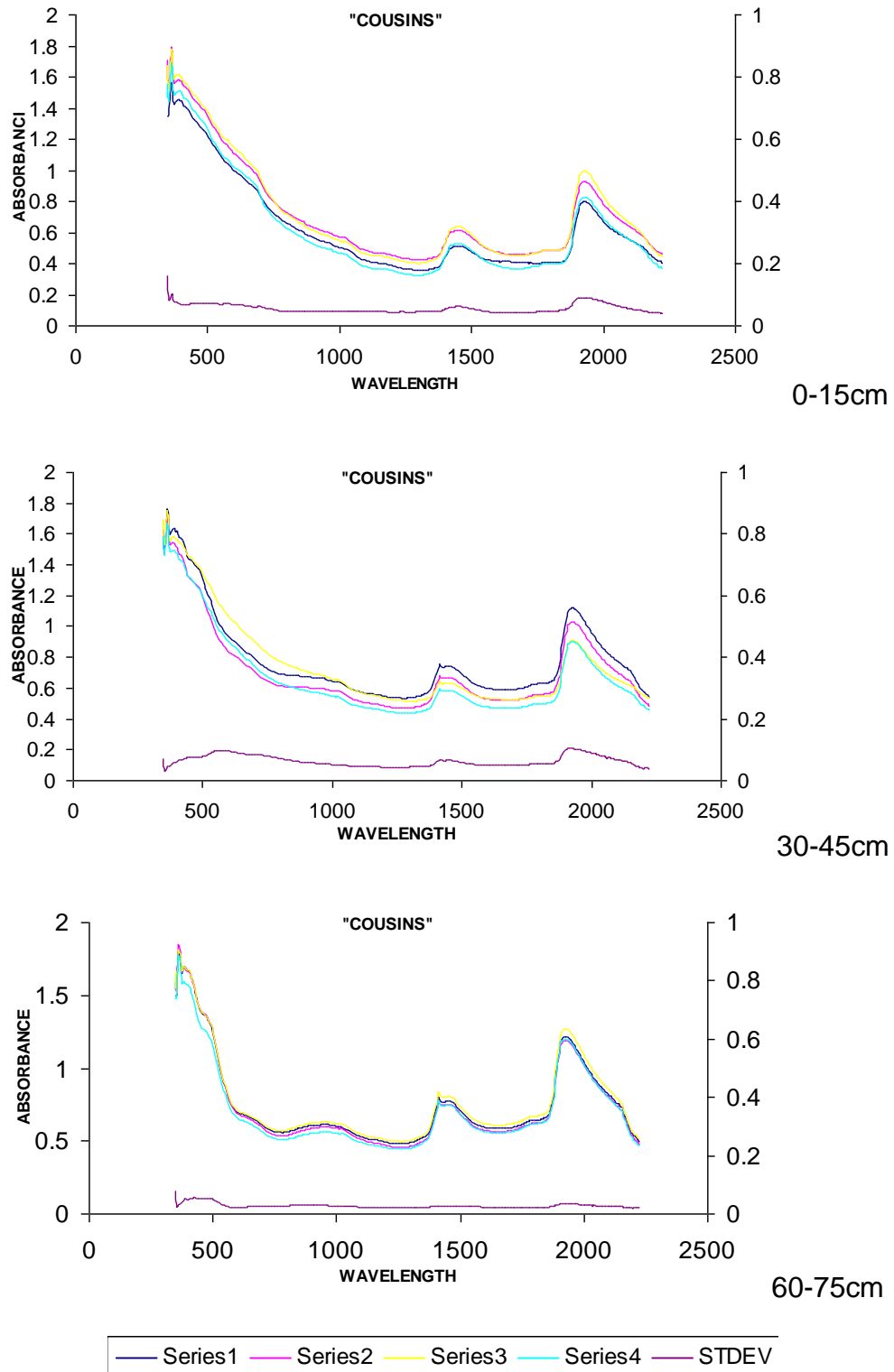
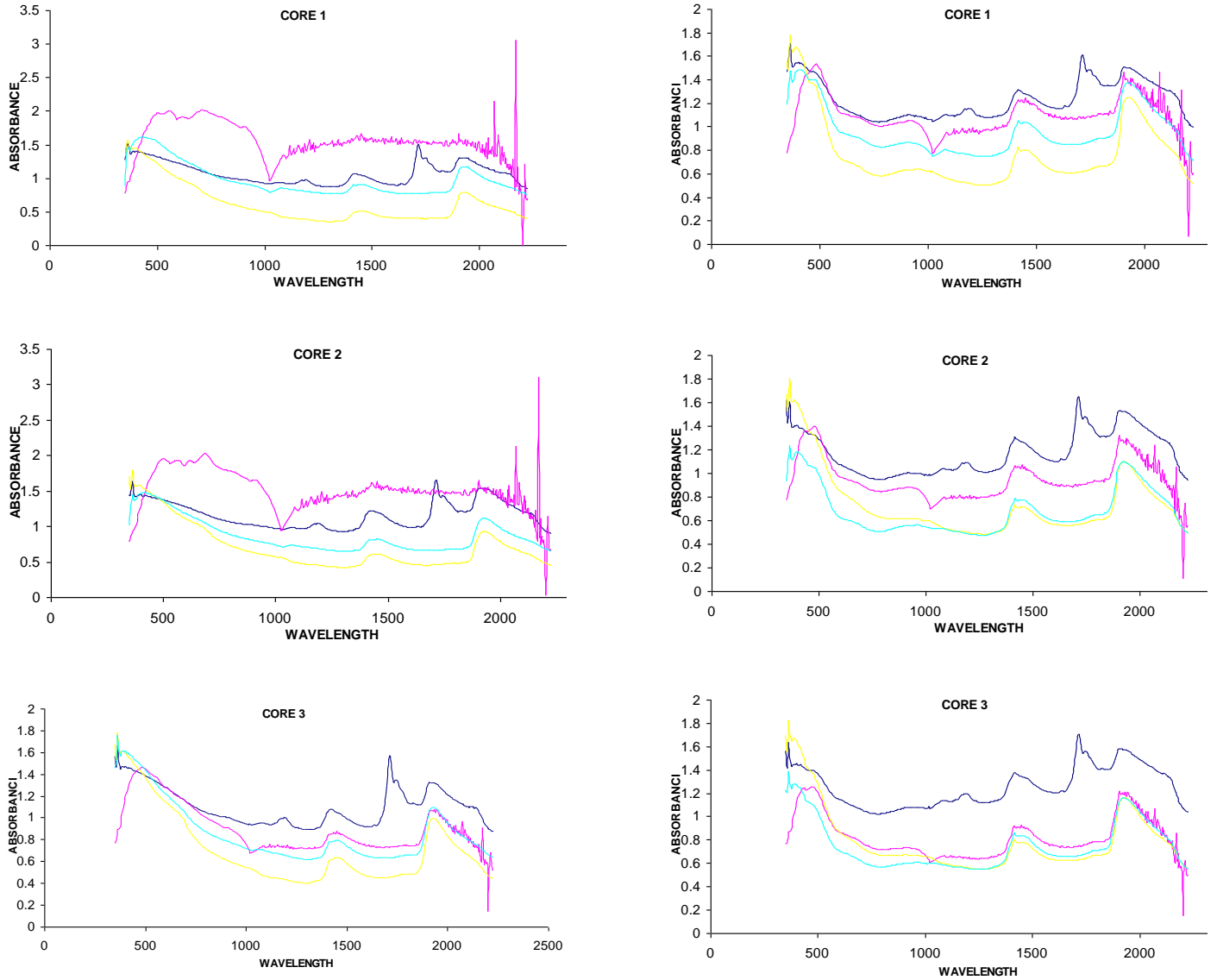


Figura 19: Espectros obtidos próximos uns aos outros, para tres profundidades diferentes.

Teste 3, 4 e 5:

Para analisar a possibilidade de adquirir medições espectrais exatamente no mesmo solo que é levado para o laboratório, a figura 20 mostra uma comparação entre os espectros obtidos dentro do buraco deixado pelo amostrador, os espectros obtidos junto a ele, e as medidas obtidas a partir das amostras levadas para o laboratório, com e sem o tubo de PVC, todos com o Veris P400.



0-15cm

60-75cm

— VERIS_LAB_PVC — IN THE HOLE — CLOSE TO THE HOLE — VERIS_LAB_NO_PVC

Figura 20: Espectros obtidos dentro do buraco do amostrados (“in the hole”), perto dele (“close to the hole”) e em laboratório com PVC (Veris_lab_pvc) e sem PVC (Veris_lab_no_pvc).

Há pouca diferença nas medições de espectros em uma pequena área ("cousins") e, portanto, as leituras próximas ao buraco de amostragem ("close to the hole") são um bom representante do que queremos analisar e parece muito semelhante às amostras escaneadas em laboratório sem o PVC. Os espectros obtidos do interior do buraco é mais ruidoso e parece ser bom apenas na amostra 3 ("core 3"). O procedimento mostra possibilidades, mas precisa de mais exploração no refino da técnica.

Escanear as amostras dentro do PVC pode ser uma boa alternativa para os solos que tendem a sofrer deformações, como solos arenosos. Os dados parecem diferentes, mas o formato dos espectros só realmente muda em certos comprimentos de onda, os quais estão relacionados com a absorção do PVC. Para ilustrar a absorbâncias em PVC, um tubo foi escaneado com NaCl no interior (Figura 21).

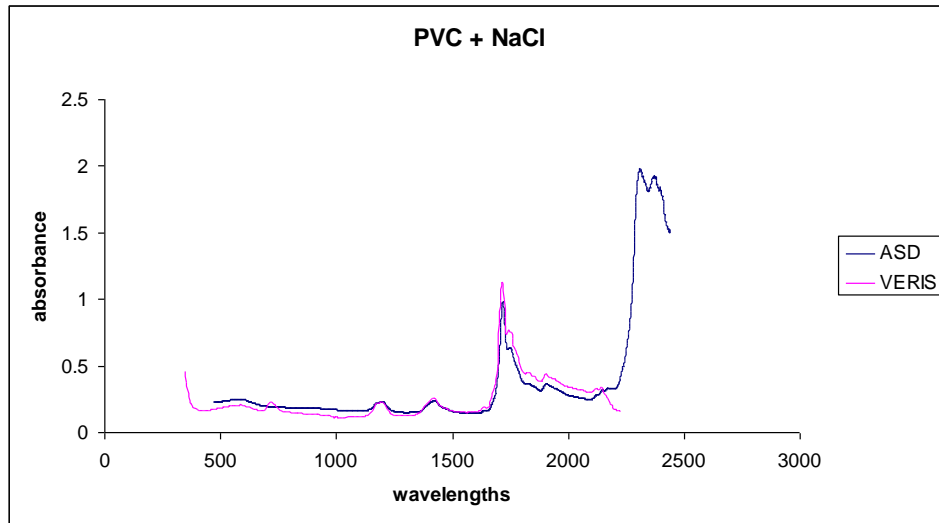


Figura 21: Absorbância do tubo PVC.

Para comparar os dois sensores, a Figura 22 mostra os espectros obtidos a partir das amostras escaneadas em laboratório sem o tubo de PVC com o ASD e com o Veris P400, para duas profundidades diferentes.

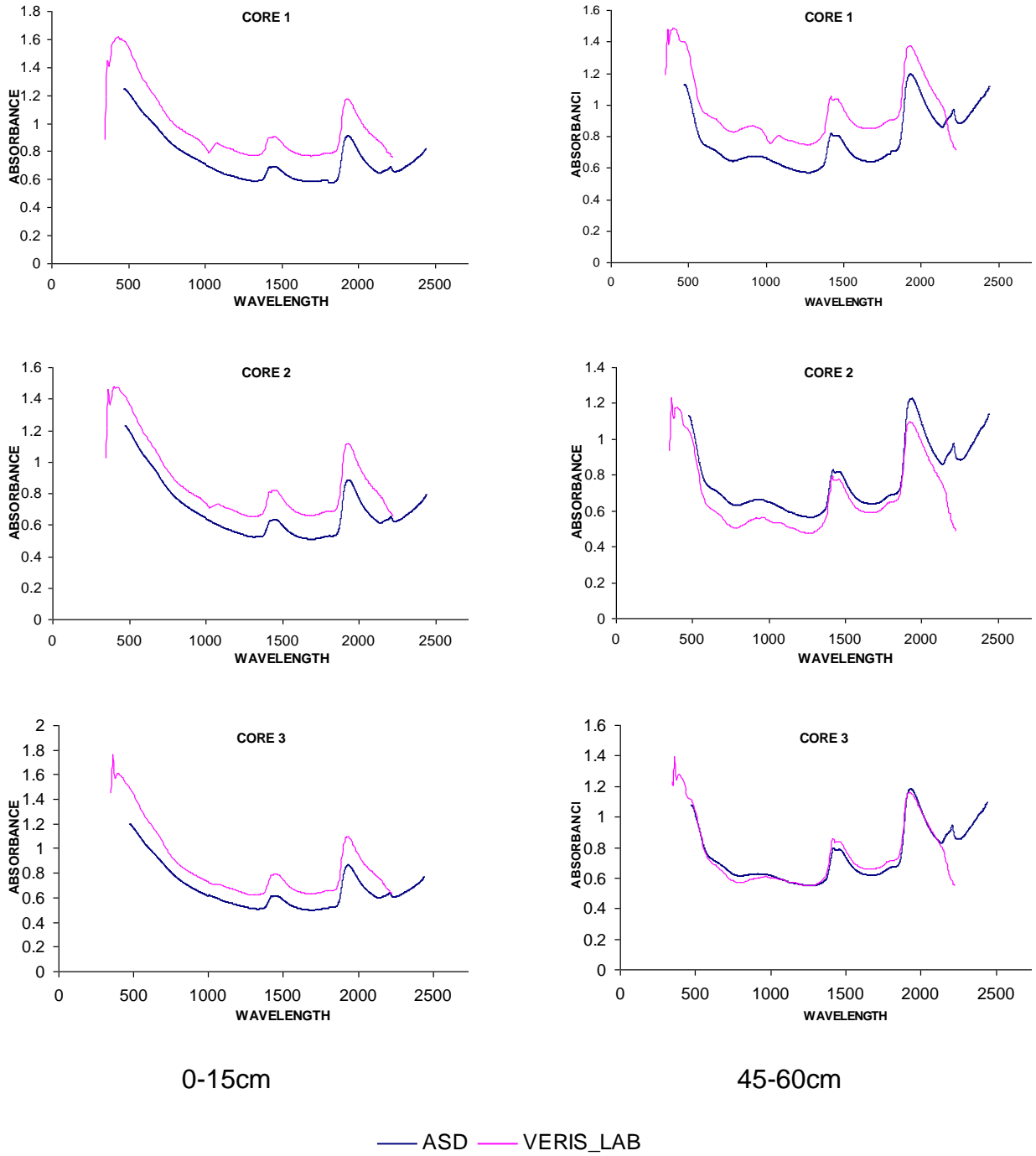


Figura 22: Comparação entre os espectros adquiridos com os dois sensores.

CONCLUSÕES

Os dados adquiridos próximos uns aos outros (“cousins”) foram muito semelhantes, mostrando que o equipamento tem pouco ruído nas medições (dados de boa qualidade).

Os obtidos exatamente no mesmo local (“quintuplets”) são também semelhantes, portanto há a possibilidade de solicitar a repetição no mesmo local. No entanto, a medição mais rasa mostrou maior variabilidade provavelmente devido ao efeito de luz ou devido ao movimento do solo.

Em profundidade, as medições próximas (“cousins”) são também mais semelhantes, mostrando que o solo pode ser mais homogêneo em profundidade no perfil.

As medições dentro do buraco de amostragem são bastante diferentes das próximas ao buraco, mas esta melhora nas medidas mais profundas (efeito de luz) e ele foi melhor em uma das amostras (3). Com cuidado nas medidas, este procedimento pode ser possível.

Os dados adquiridos a partir das amostras em laboratório foram muito semelhantes aos adquiridos no campo ao lado do buraco de amostragem. A capacidade de adquirir espectros de exatamente o mesmo solo e levado para análise laboratorial, não é um grande impedimento para a calibração.

Também é possível obter espectros do solo no interior do tubo de PVC, os núcleos escaneadas com o PVC, apesar de alguns desvios em determinados comprimentos de onda, apresentaram espectros semelhantes às medições sem PVC. Um processo de filtragem é necessário, mas o procedimento é possível. A utilização do espectro com o ASD também pode ser aplicado para analisar as amostras de solo, a diferença entre a forma dos espectros dos dois sensores são muito pequenas e os ASD trabalha com mais comprimentos de onda.

ESTIMATIVA DE CARBONO E NITROGENIO UTILIZANDO ESPECTROSCOPIA VIS –NIR

Dentro do objetivo principal para calibrar o equipamento para carbono e nitrogênio do solo um experimento foi desenvolvido para iniciar a construção de uma biblioteca espectral e a calibração.

MATERIAL E MÉTODOS

Amostragem de solo

Nove amostras de solo foram retiradas de uma fazenda em Bathurst - NSW. A fazenda foi dividida em 6 diferentes estratos utilizando dados sobre tipo de solo, uso da terra, informações de elevação e radiação gama para fazer uma previsão do provável teor de carbono e dividido (cluster) em 6 diferentes estratos. Imagem da fazenda e os locais amostrados são apresentados na Figura 23.

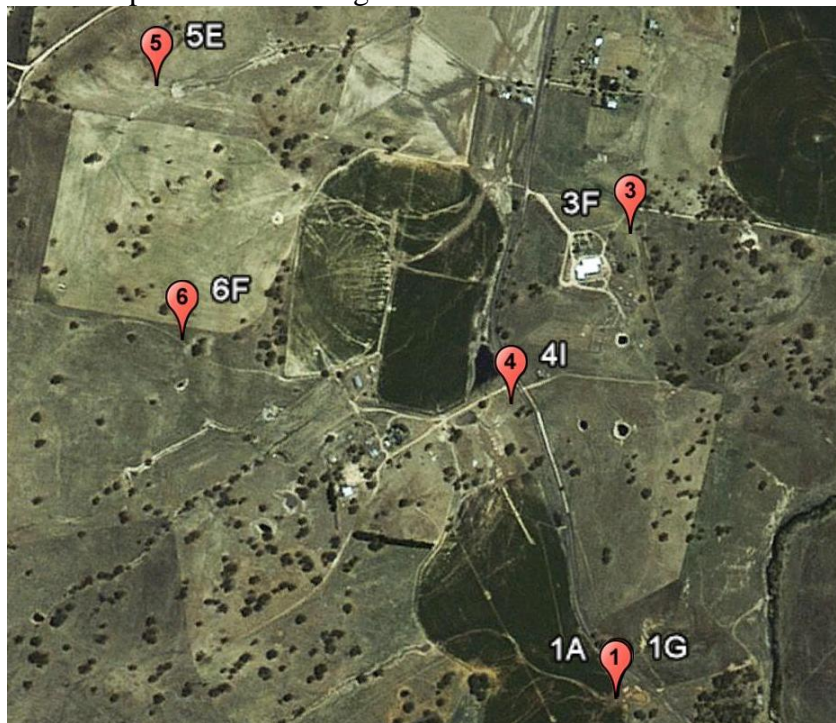


Figura 23: Lugares amostrados

Para cada estrato uma amostra de solo foi retirada. Adicionalmente, três amostras de solo foram retiradas próximas uma da outra no estrato 1, mas em outro local e também três medidas espectrais foram realizadas com o espectrômetro Veris.

Os comprimentos das amostras foram medidos no campo e também a profundidade do buraco e do quanto que o tubo amostrador penetrou no solo, de modo que foi possível relacionar o comprimento da amostra com a verdadeira profundidade no solo amostrado (in situ), eliminando um possível efeito de compressão nas amostras (Figura 24).



Figura 24: Amostragem, medições de comprimento e peso, calibração e medições espectrais a campo.

As amostras foram então escaneadas em laboratório, tanto pelo Veris e pelo ASD. Um espectro foi obtido a cada 2 centímetros na amostra. As amostras foram então cortadas considerando alterações na cor e estrutura do perfil (Figura 25).

Análise de laboratório

Cada pedaço das amostra foi pesado, seco “ao ar” em uma de 40 ° C por 48 horas e pesados novamente. As amostras secas “ao ar” foram moídas com uma máquina de moagem (Figura 25), homogeneizadas e uma sub-amostra foi tomada para a análise de carbono e nitrogênio e o resto foi pesado e colocado para secar em estufa a 110 ° C por 24 horas. Após a secagem, as amostras foram pesadas para que o índice de umidade pudesse ser calculado e extrapolado para toda a amostra. A densidade foi calculada pela fórmula:

$$B.D = W / (L * (D / 2 * PI)^2)$$

Onde:

B.D = densidade do solo (t / m³)

W = peso do solo seco (g)

L = comprimento Core (cm)

D = Diâmetro da sapata de corte (3,8 cm)

PI = 3,14

As sub amostras para C e N foram moídas até passar por uma peneira de 53 microns, as amostras foram peneiradas em seguida, levadas para análise de carbono e nitrogênio (Figura 26). Com os resultados de Carbono (%) e da densidade do solo foi possível calcular a densidade de carbono (t / ha) pela fórmula:

$$C.D = L * C * B.D$$

Onde:

C.D = Densidade de Carbono (t / ha)

C = Carbono (%)

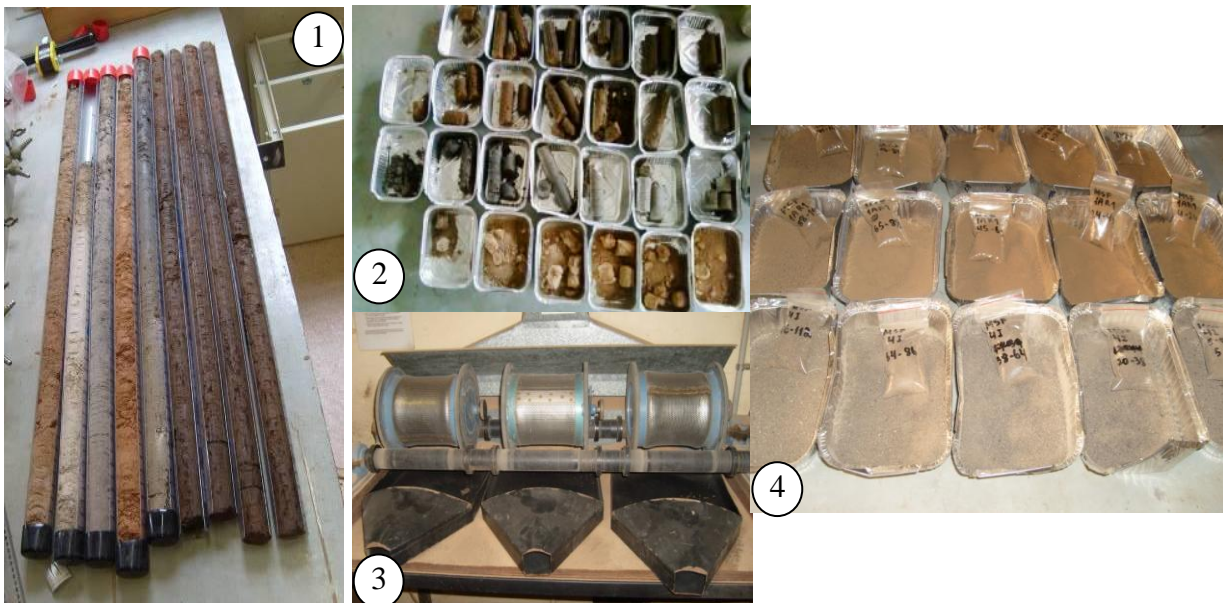


Figura 25: 1- amostras de solo, 2- amostras cortadas, 3- moedor, 4- amostras moídas com as sub amostras para C e N no saco plástico.



Figura 26: Equipamento para as análises de C e N

Pré-processamento e calibração do espectro

A absorvância foi pré-processada usando uma suavização (tamanho das janelas de suavização: 11) e primeira derivativa calculada utilizando o software Matlab[®]. As absorvâncias nos comprimentos de onda inferior a 390nm (para o veris) e 470 (para o ASD) e superior 2440nm foram removidos para evitar ruído (Figura 27). A média da primeira derivativa dos espectros suavizados na mesma profundidade dos segmentos das amostras foi utilizada para a previsão.

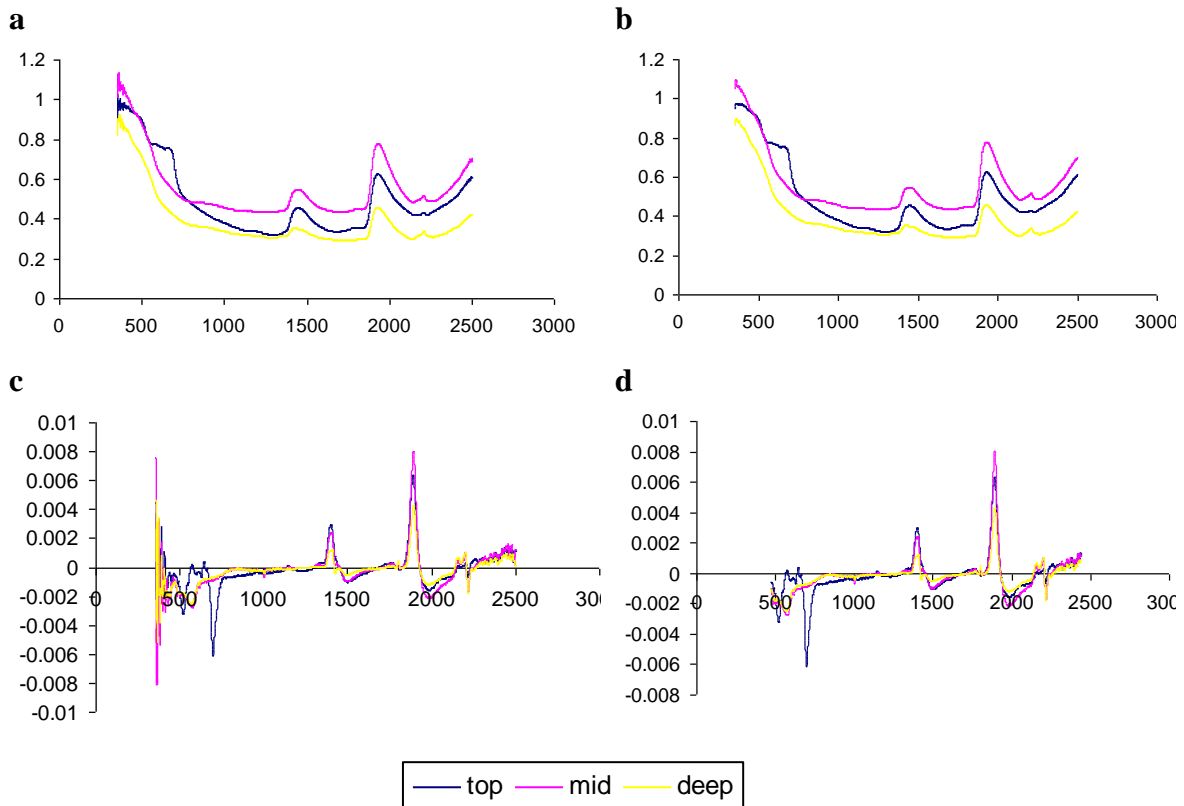


Figura 27: A- Espectro original, B- espectro suavizado, C- primeira derivativa suavizada, D- com os extremos removidos.

As previsões para o carbono (%), nitrogênio (%), relação C / N, e Densidade de Carbono (t/ha) foram calculadas. Utilizando o software JMP, a análise multivariada PLSR (Partial Least Square Regression) com validação cruzada foi utilizada para a previsão.

As observações foram randomizadas e divididas em teste (“test”) e calibragem (“calibration”), definidas de modo que houvesse uma boa distribuição de carbono nas amostras para calibragem. Todas as amostras com zero de carbono e uma medição muito elevada foram retirados da análise. A previsão foi feita usando as amostras de calibragem e, em seguida, a fórmula foi aplicada para as amostras de teste. A Tabela 7 mostra os resultados de carbono (%), densidade de carbono (t / ha), nitrogênio (%), relação C / N, e também o status da amostra (“calibração”, “teste” ou “removido”).

Tabela 7: Informações das amostras e resultados dos testes laboratoriais.

ID	Profundidade	N%	C%	Relação C/N	Densidade de Carbono (t/ha)	Estatus
lar1	0-4,5	0,11765	1,243465	10,56920052	6,939621685	calibração
lar1	4,5-24	0,096971	1,074655	11,08227539	33,80029031	calibração
lar1	24-45	0,09266	1,050577	11,33797169	32,58492029	calibração
lar1	45-65	0,068029	0,849221	12,48321629	23,64788121	teste
lar1	65-88	0,057605	0,502254	8,71898365	18,25939491	calibração
lar1	88-116	0,054944	0,392979	7,152300835	18,079559	teste
lar2	0-5	0,10663	1,038117	9,735695839	7,992471606	calibração
lar2	5-26	0,113372	1,22751	10,82731056	39,12014435	calibração
lar2	26-56	0,088757	1,084288	12,21635342	47,62027017	calibração
lar2	56-81	0,055791	0,556987	9,983383179	20,94857022	teste
lar2	81-116	0,061315	0,499634	8,148633957	28,51116069	calibração
lar3	0-5	0,12	1,196626	9,971880913	8,441344472	calibração
lar3	5-35	0,124747	1,207684	9,681049347	56,24970896	calibração
lar3	35-61	0,073797	0,974668	13,20734596	38,30945431	calibração
lar3	61-81	0,05784	0,809298	13,99190903	25,29322568	calibração
lar3	81-102	0,062235	0,829543	13,32911968	29,10415336	teste
lar3	102-112	0,059559	0,914076	15,34748745	15,37257718	teste
1g	0-5	0,806266	1,274685	1,580972672	8,018895332	calibração
1g	5-25	0,109883	1,124342	10,23220348	34,54937557	teste
1g	25-42	0,116533	1,263888	10,84570503	35,04463417	teste
1g	42-67	0,081405	1,798401	22,09209633	63,18087204	teste
1g	67-89	0,055678	0,128411	2,306313992	4,409459495	calibração
1g	89-104	0,058534	1,497072	25,57632256	38,17038752	teste
1g	104-114	0,061352	0,012887	0,210058421	0,220866054	teste
2g	0-6	0,18732	1,141998	6,096507549	7,373471853	teste
2g	6-23	0,117745	0,174421	1,481346607	4,161526677	calibração
2g	23-47	0,104794	0,090154	0,860297441	3,206237309	teste
2g	47-68	0,056774	0	0	0	removido
2g	68-83	0,039463	2,120242	53,72732162	48,22280902	teste
2g	83-103	0,039505	0	0	0	removido
2g	103-115	0,044369	1,98054	44,63816071	38,52465382	teste
3f	0-6	4,554821	2,733122	0,60005039	16,83207477	calibração
3f	6-26	0,076577	0	0	0	removido
3f	26-46	0,0701	0	0	0	removido
3f	46-64	0,050221	2,582908	51,4309845	86,03186668	calibração
3f	64-84	0,038321	0	0	0	removido
3f	84-113	0,040152	2,626333	65,40910339	131,3213011	teste
4i	0-5	6,011632	3,597281	0,598386705	17,47485954	teste
4i	5-20	5,49886	1,385431	0,251948774	22,97245488	calibração
4i	20-38	4,890987	0,644709	0,131815732	17,02023222	teste
4i	38-64	0,074637	0	0	0	removido
4i	64-87	0,059549	0	0	0	removido
4i	87-114	0,060744	0	0	0	removido
5e	0-5,5	7,029517	2,2104	0,314445555	16,48340212	teste
5e	5,5-13,5	0,087921	0	0	0	removido
5e	13,5-44	0,044188	3,279746	74,22253418	191,727782	removido
5e	44--59	0,035633	0	0	0	removido
5e	59-77	0,040743	2,706496	66,42879486	84,33019589	teste
6f	0-5	6,585191	2,433694	0,369570792	13,89560315	calibração
6f	5-25	6,271765	1,165577	0,185845181	36,74912708	teste
6f	25-50,5	0,049808	0	0	0	removido
6f	50,5-66	0,039741	2,981223	75,01704407	86,24233297	calibração
6f	66-91	0,038083	0	0	0	removido
6f	91-106	0,041824	0	0	0	removido

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores previstos para os atributos no estudo foram plotados contra os valores laboratoriais das amostras utilizadas no modelo de calibração e para as amostras testadas. Os valores de R^2 são mostrados na Figura 28 (ASD) e na Figura 29 (Veris).

Os resultados mostram que é possível fazer uma boa calibração utilizando os solos em estudo, mas, a calibração não é robusta o suficiente para aplicar em amostras diferentes. Portanto um maior número de solos deve ser usado para construir uma boa calibração.

Os dois sensores tiveram comportamento semelhante, um bom modelo de calibração para a densidade de carbono foi obtido com o ASD ($R^2 = 0,99$), mas quando aplicado às amostras de teste as previsões foram mais pobres ($R^2 = 0,33$). O Veris produziu uma pior calibração ($R^2 = 0,46$), mas foi mais robusto quando aplicado nas amostras de teste ($R^2 = 0,43$).

Ambos os sensores obtiveram R^2 bom para C% no modelo de calibração (0,81 para o ASD e 0,95 para o Veris), mas mais uma vez mostraram uma capacidade de previsão reduzida sobre as amostras de teste (0,26 para o ASD e 0,35 para o Veris).

A melhor correlação foi obtida para N%, onde os valores de R^2 no modelo de calibração foram 0,96 para o ASD e 0,78 para o Veris e nas amostras teste os valores de R^2 foram 0,71 para o ASD e 0,74 para o Veris. Novamente, o Veris teve uma pior calibração, mas foi mais robusto. O problema, porém, é que a distribuição do valor de N% foi restrito, portanto os resultados devem ser considerados com cautela.

Para a relação C / N a distribuição dos valores foi melhor e a previsão também foi boa. Os modelos de calibração obtiveram R^2 de 0,82 para o ASD e 0,77 para o Veris e as amostras de teste tiveram uma correlação com R^2 de 0,71 para o ASD e 0,59 para o Veris.

Em geral, o Veris forneceu um modelo de calibração mais pobre, mas mostrou-se mais robusto na previsão com as amostras de teste. Isto pode ser devido ao fato de que existem mais comprimentos de onda no ASD (1970) do que no Veris (377), portanto é mais fácil para o software encontrar um bom modelo de calibração com o ASD, mas esta calibração não é suficientemente robusta quando aplicada a outras amostras. Para o Veris o software tem menos comprimentos de onda para usar no modelo de calibração, mas quando aplicado nas amostras de teste, a previsão foi semelhante (ou melhor) em relação com o ASD. Portanto, os comprimentos de onda utilizados no Veris são suficientes para a previsão de carbono e nitrogênio.

Com mais solos e diferentes níveis de teor de carbono, deve ser possível realizar um modelo de calibração robusto e uma boa predição poderá então ser aplicada para diferentes solos na Austrália.

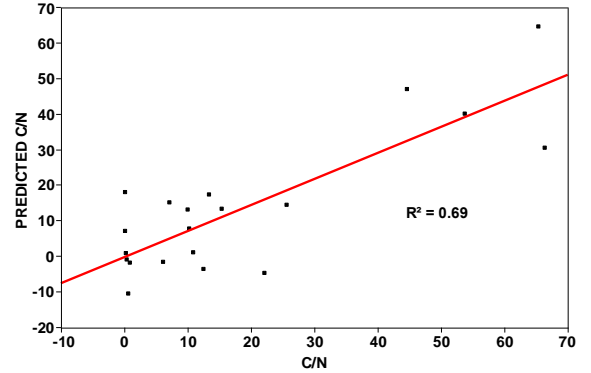
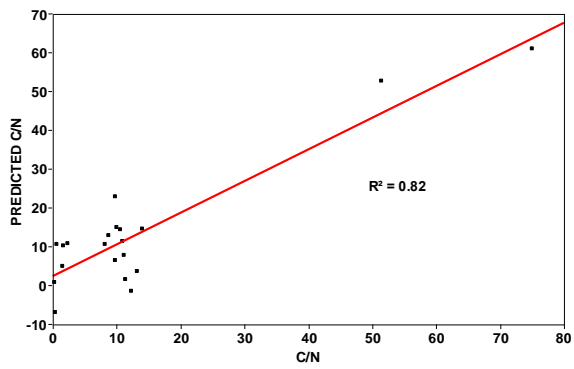
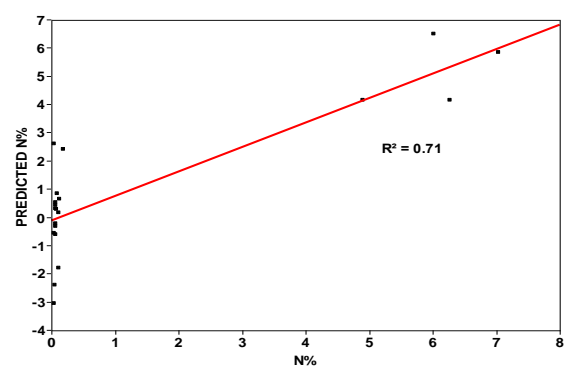
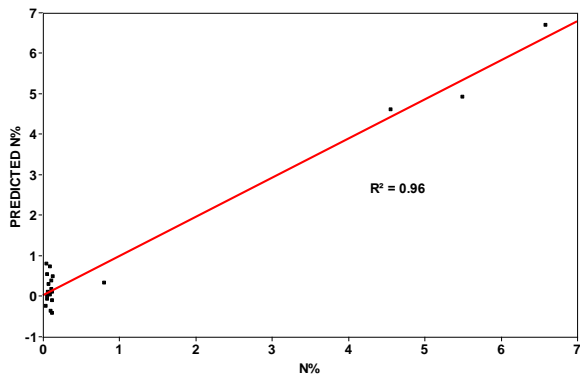
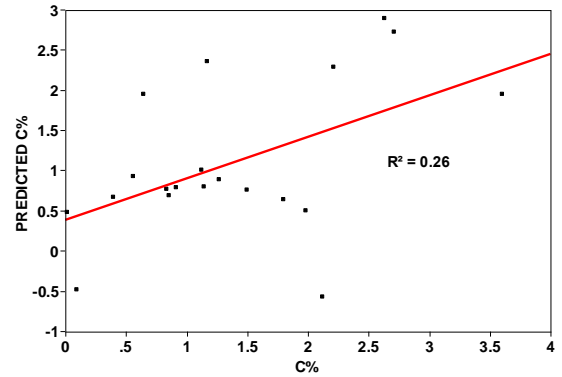
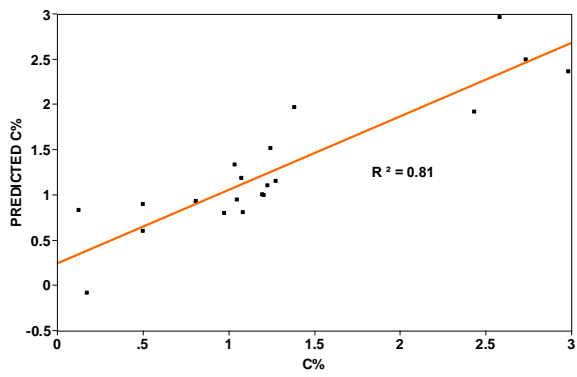
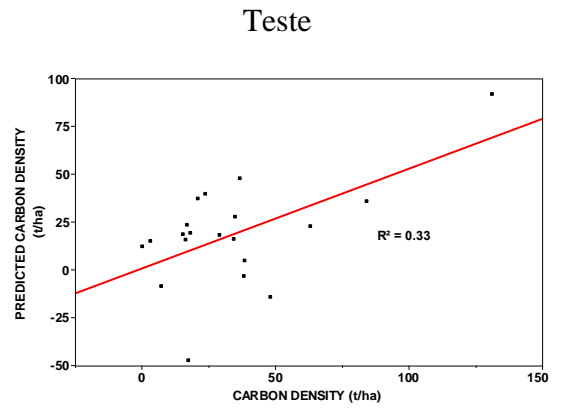
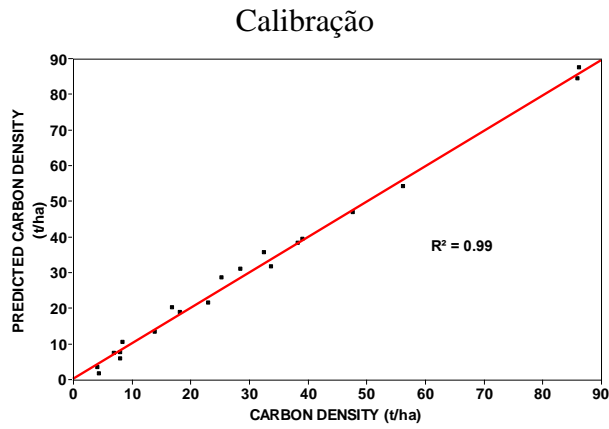


Figura 28: Predições para C, N, CD e C/N, com o ASD, para as amostras “teste” e “calibração”.

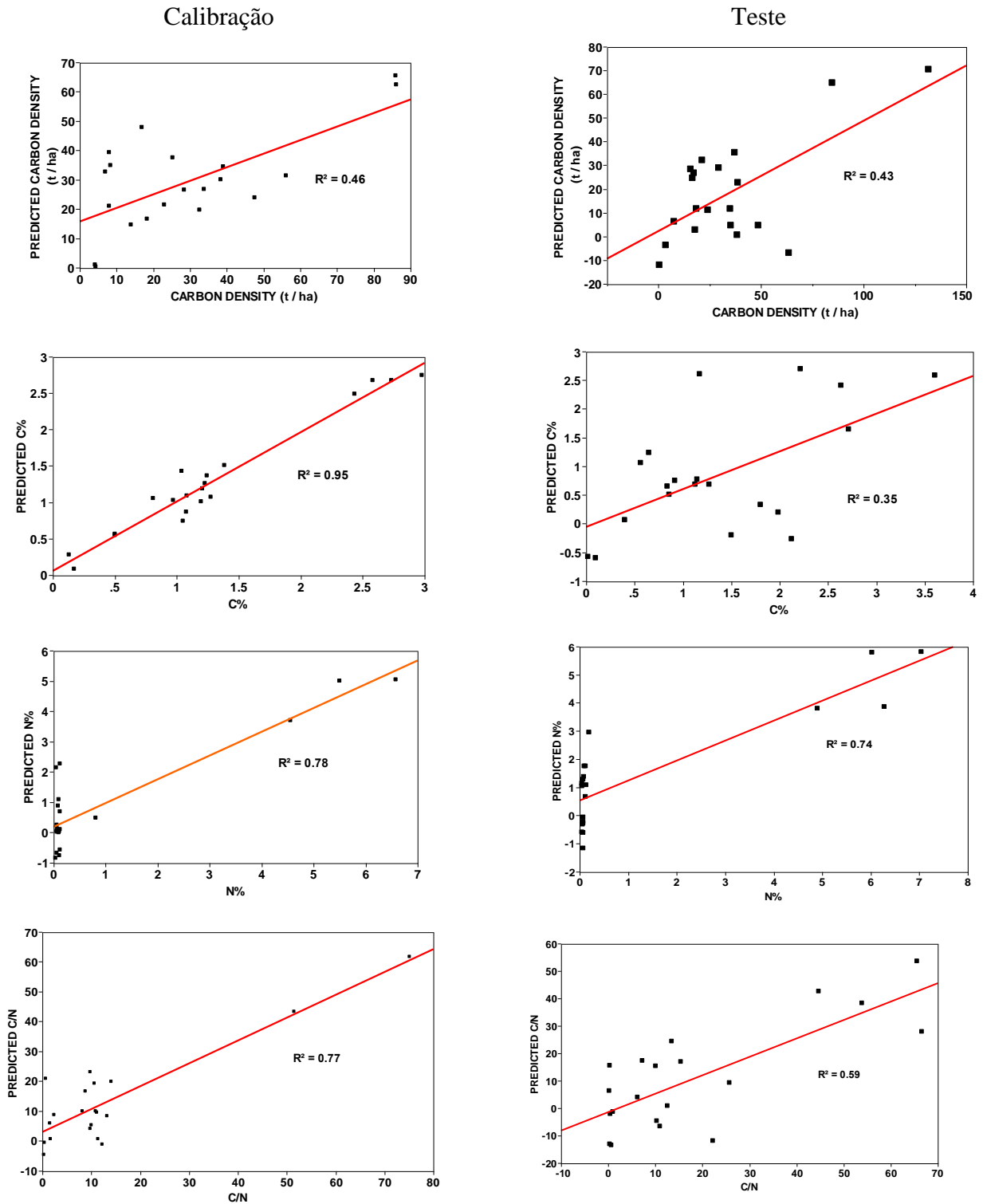
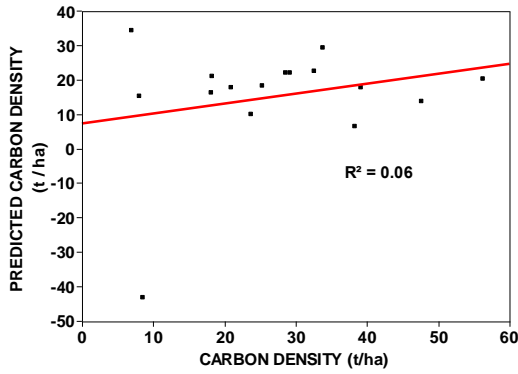


Figura 29: Predições para C, N, CD e C/N, com o Veris, para as amostras “teste” e “calibração”.

Modelo de calibração utilizando todos os solos



Modelo de calibração com os mesmos solos

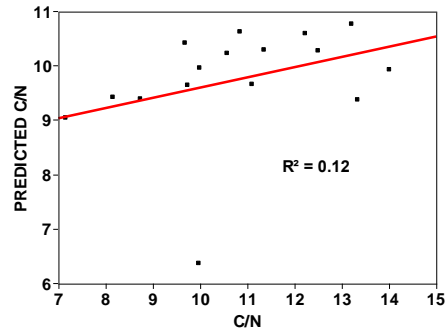
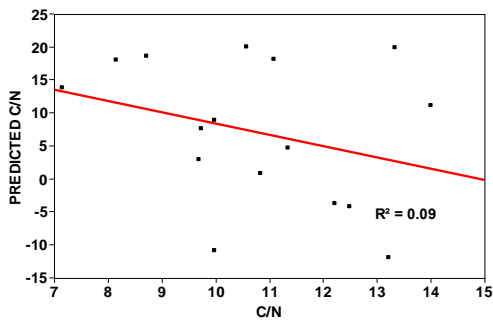
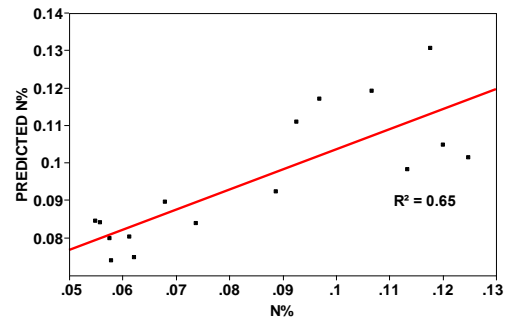
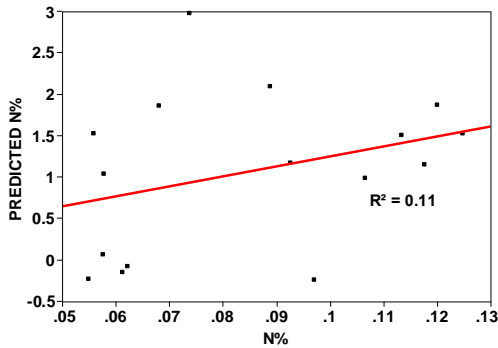
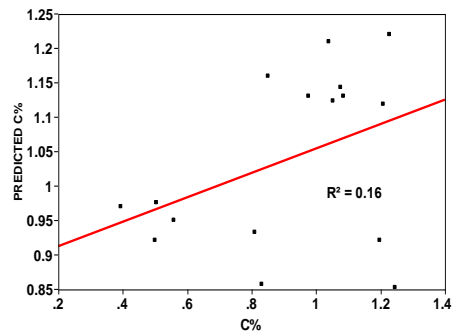
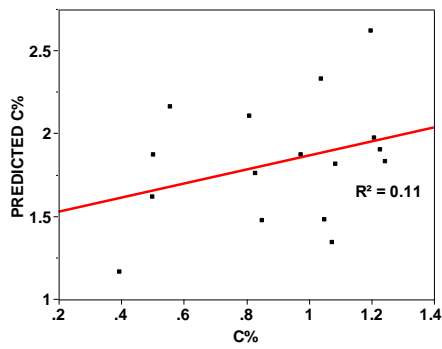
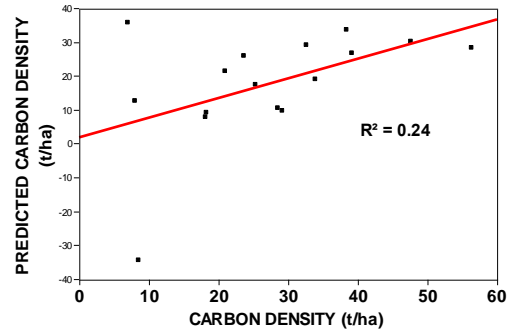


Figura 30: À esquerda predição utilizando todas as amostras no modelo de calibração; à direita predição utilizando apenas as amostras do local amostrado com o espectrômetro.

Os 3 espectros obtidos no campo com o espectrômetro Veris foram utilizados para prever os atributos de C e N utilizando o modelo de calibração criado utilizando as medições em laboratório. Além disso, outro modelo de calibração foi criado usando apenas as amostras onde as medições a campo foram realizadas. A Figura 30 mostra a relação entre os resultados laboratoriais das amostras relacionadas com as medições de campo e a previsão utilizando as medições de campo e os dois modelos de calibração diferentes.

Os resultados mostram que o modelo calibração do laboratório, como visto antes, não é suficientemente robusto para ser aplicado em diferentes situações. A previsão foi melhorada quando a calibração foi construída a partir de apenas as amostras do mesmo solo, mostrando que calibrações específicas “in situ” podem ser uma boa alternativa quando nenhuma calibração robusta está disponível.

CONCLUSÕES

O espectrômetro Veris proporciona informações suficientes para a construção de um bom modelo de calibração para o carbono e nitrogênio do solo. Apesar de que, uma biblioteca de espectros de boa qualidade deve ser construída utilizando diferentes tipos de solos e diferentes níveis de carbono para que a calibração seja robustamente aplicada para todos os solos australianos.

Os resultados sugerem que a realização de medições a campo em tempo real para carbono e nitrogênio é possível.

BIBLIOGRAFIA

- ADAMCHUCK, V.I., Development of On-the-Go soil Sensor Systems, first Global Workshop on high resolution soil sensing & mapping, February 2008, Sydney, Australia.
- ANDREWS, S. S., Ph.D. Leader, Soil Quality National Technology Development Team USDA-Natural Resource Conservation Service, February 22, 2006
- BARTHÈS, B. G., BRUNETTA, D., HIENB, E., ENJALRICC, F., CONCHEA, S., FRESCHETA, T. G., D'ANNUNZIOD, R., TOUCET-LOURIA, J. Determining the distributions of soil carbon and nitrogen in particle size fractions using near-infrared reflectance spectrum of bulk soil samples, *Soil Biology & Biochemistry* 40 (2008) 1533–1537
- BAUMGARDNER, M.F., SILVA, L. F., BIEHL, L. L., STONER, E. R., (1985), Reflectance properties of soils, *Advances in Agronomy*, 38, 1-44
- BEN-DOR, E., BANIN, A., 1995. Near-infrared analysis as a rapid method to simultaneously evaluate several soil properties. *Soil Science Society of America Journal* 59, 364– 372.
- BLACK C.A. 1965. “Methods of Soil Analysis: Part I Physical and mineralogical properties”. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
- BUDIMAN, M., MC BRATNEY, A. B., MENDONÇA-SANTOS, M. L., DOS SANTOS, H. G., Revisão sobre Funções de Pedotransferência (PTFs) e Novos Métodos de Predição de Classes e Atributos do Solo, Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2003. 50 p.. - (Embrapa Solos. Documentos; n. 45)
- CHANG, C. W. & LAIRD, D. A., Near-Infrared Reflectance Spectroscopic Analysis Of Soil C And N, *Soil Science* 2002;167:110–116
- CHANG, C. W., LAIRD, D. A., HUBURGH JR, C. R., Influence of soil moisture on near-infrared reflectance spectroscopic measurement of soil properties, *Soil Science*, 170, 244-255, 2005.
- CHANG, C.-W., LAIRD, D.A., Mausbach, M.J., Hurburgh Jr., C.R., 2001. Near-infrared reflectance spectroscopy—principal components regression analysis of soil properties. *Soil Science Society of America Journal* 65, 480– 490.
- COZZOLINO, D. & MORÓN, A. Potential Of Near-Infrared Reflectance Spectroscopy And Chemometrics To Predict Soil Organic Carbon Fractions, *Soil & Tillage Research* 85 (2006) 78–85
- DANIEL, K.W., TRIPATHI, N.K., HONDA, K., 2003. Artificial neural network analysis of laboratory and in situ spectra for the estimation of macronutrients in soils of Lop Buri (Thailand). *Australian Journal of Soil Research* 41, 47–59.
- DRUMMOND, P.E., CHRISTY, C.D., LUND, E.D., 2000. Using an automated penetrometer and soil EC probe to characterize the rooting zone. *Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)*, July 16_/19, 2000. Bloomington, MN, USA.
- DU, C., ZHOU, J., Evaluation of soil fertility using infrared spectroscopy: a review, *Environ Chem Lett* (2009) 7:97–113
- GELADI, P., KOWALSKI, B.R., 1986. Partial least-squares regression: a tutorial. *Analytica Chimica Acta* 185, 1– 17.

- HEA, Y., HUANGA, M., GARCÍA, A., HERNÁNDEZ, A., SONGA, H. Prediction of soil macronutrients content using near-infrared spectroscopy, *Computers and Electronics in Agriculture* 58 (2007) 144–153
- HUMMEL, J.W., SUDDUTH, K.A., HOLLINGER, S.E., 2001. Soil moisture and organic matter prediction of surface and subsurface soils using a NIR sensor. *Computers and Electronics in Agriculture* 32 (2001), 149_/165.
- ISLAN, K., SINGH, B., Mc Bratney. A., Simultaneous estimation of several soil properties by ultra-violet, visible, and near-infrared reflectance spectroscopy. *Australian Journal of Soil Research*, 41 (2006): 1101-1114
- KASUMO, B. H., HEDLEY, C. B., HEDLEY, M. J., HUENI, A., TUOHY, M. P., The use of diffuse reflectance spectroscopy for in situ carbon and nitrogen analysis of pastoral soils, *Australian Journal of Soil Research*, 2008, 46, 623-635.
- KITCHEN, N. R., Emerging technologies for real-time and integrated agriculture decisions, *Computers and Electronics in Agriculture* 61(2008) 1–3
- KRISHNAN, P., ALEXANDER, J. D., BUTLER, D. J., HUMMEL, J. W. Reflectance technique for predicting soil organic matter. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.44, p.1282-1285, 1980.
- KWEON, G., LUND, E., MAXTON, C., DRUMMOND, P., JENSEN, K., In Situ Measurement of Soil Properties Using a Probe- Based VIS- NIR Spectrophotometer, 2008 ASABE Annual International Meeting Sponsored by ASABE Rhode Island Convention Center Providence, Rhode Island, June 29 – July 2, 2008
- LAL, R. (1997). Degradation and resilience of soils. *Phil. Trans. Royal Soc. London B*. 352: 957–1010.
- LAL, R.(2003) Global Potential of Soil Carbon Sequestration to Mitigate the Greenhouse Effect', *Critical Reviews in Plant Sciences*,22:2,151 — 184
- LAL, R.(2004) Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security, *Science* 304, 1623
- LUND, E., KWEON, G., MAXTON, C., DRUMMOND, P., JENSEN, K., Near-infrared Soil Spectroscopy: Results from Field Trials Using a Commercially Available Spectrophotometer, first Global Workshop on high resolution soil sensing & mapping, February 2008, Sydney, Australia.
- LUND, E.D., CHRISTY, C.D., DRUMMOND, P.E., 2000. Using yield and soil electrical conductivity (EC) maps to derive crop production performance information. *Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD)*, July 16_/19, 2000. Bloomington, MN, USA.
- LUND, E.D., G. KWEON, C. R. MAXTON, P.E. DRUMMOND. 2008. Soil Carbon and Nitrogen Mapping: How These Relate To New Markets And Public Policy. *Proceedings of 9th International Conference on Precision Agriculture*. Paper 251
- LUNDWING, B., KHANNA, P.K., BAUHUS, J., HOPMANS, P. Near Infrared Spectroscopy For Forest Soils To Determine Chemical And Biological Properties Related To Sustainability, *Forest Ecology And Management*, 171, (2002), 121-132
- MALEKI, M.R., MOUAZEN, A.M., RAMON H., DE BAERDEMAEKER, J., Optimisation of soil VIS–NIR sensor-based variable rate application system of soil phosphorus, *Soil & Tillage Research* 94 (2007) 239–250.

- MCBRATNEY, A., MINASNY, B. Soil Inference Systems, Developments In Soil Science, 2004, Elsevier B.V. volume 30, chapter 18, 323-348
- MCCARTY, G.W., REEVES III, J.B., REEVES, V.B., FOLLETT, R.F., KIMBLE, J.M., 2002. Mid-infrared and near-infrared diffuse reflectance spectroscopy for soil carbon measurements. *Soil Science Society of America Journal* 66, 640– 646.
- MOUAZEN, A. M., KAROUI, R., DE BAERDEMAEKER, J., RAMON, H. Characterization of Soil Water Content Using Measured Visible and Near Infrared Spectra, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:1295–1302 (2006).
- MOUAZEN, A. M., RAMON, H. Development of on-line measurement system of bulk density based on on-line measured draught, depth and soil moisture content, *Soil & Tillage Research* 86 (2006) 218–229
- NEWMAN, S.C., HUMMEL, J. W., 1999. Soil penetration resistance with moisture correction. ASAE Paper No. 99-3028, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, USA
- OBERTHÜR, S. AND OTT, H.E. 2000. The Kyoto Protocol: International Climate Policy for the 21st Century. Springer- Verlag, Berlin.
- PARISH, R., A Chert Sourcing Study Using Visible\Near-Infrared Reflectance Spectroscopy At The Dover Quarry Sites, Tennessee. 2009, 170p, Thesis (Degree of Master of Science), Murray State University
- ROGER, J.M., CHAUCHARD, F., BELLON-MAUREL, V. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems 66 (2003) 191–204
- SHEPHERD, K.D., WALSH, M.G., 2002. Development of reflectance spectral libraries for characterization of soil properties. *Soil Science Society of America Journal* 66, 988– 998.
- SHEPHERD, K.D.; WALSH, M.G. Development of reflectance spectral libraries v.66, p. 988-998, 2002.
- SHERMAN, D.M. & WAITE, T.D. Electronic spectra of Fe oxides and oxide hydroxides in the near IR to near UV. *American Mineralogist*, Washington, v.70, p.1262-1269, 1985.
- SHIBUSAWA, S., ANOM, W.S., SATO, H., SASAO, A., 2000. On-line real-time soil spectrophotometer. Proceedings of Fifth International Conference on Precision Agriculture (CD), July 16 _/19, 2000. Bloomington, MN, USA.
- SHIBUSAWA, S., IMADE ANOM, S.W., SATO, S., SASAO, A., HIRAKO, S., 2001. Soil mapping using the real-time soil spectrophotometer. In: Grenier, G., Blackmore, S. (Eds.), ECPA 2001, Third European Conference on Precision Agriculture, vol. 1. Agro Montpellier, pp. 497– 508.
- STENBERG, B. & VISCARRA ROSSEL, R. Diffuse reflectance spectroscopy for high resolution soil sensing, first Global Workshop on high resolution soil sensing & mapping, February 2008, Sydney, Australia.
- STENBERG, B. VISCARRA ROSSEL,R., Diffuse spectroscopy for high resolution soil sensing, first Global Workshop on high resolution soil sensing & mapping, February 2008, Sydney, Australia.
- STONER, E.R. Physicochemical, site and bi-directional reflectance factor characteristics of uniformly moist soils. 1979. 132f. Thesis (PhD in Soil Science) - Purdue University.

- STONER, E.R.; BAUMGARDNER, M.F. Characteristic variations in reflectance of surface soils. *Soil Science Society America Journal*, Madison, v.45, p.1161-1165, 1981.
- VISCARRA ROSSEL R. A., MCBRATNEY A. B. (1998) Soil chemical analytical accuracy and costs: implications from precision agriculture. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 38, 765–775.
- VISCARRA ROSSEL RA, WALVOORT DJ, MCBRATNEY AB, JANICK LJ, SKJEMSTAD JO (2006) Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. *Geoderma* 131:59–75
- VISCARRA ROSSEL, R.A., CATTLE, S.R., ORTEGA, A., FOUAD, Y. In situ measurements of soil colour, mineral composition and clay content by vis–NIR spectroscopy, *Geoderma* 150 (2009) 253–266
- WETTERLIND, J., STENBERG B., SO‘DERSTRO‘M, M., The use of near infrared (NIR) spectroscopy to improve soil mapping at the farm scale, *Precision Agric* (2008) 9:57–69
- WHITING, M.L., LI, L., USTIN, S.L. Predicting water content using Gaussian model on soil spectra. *Remote Sens. Environ.* 89:535–552 (2004).
- ZORNOZA, R., GUERRERO, C., MATAIX-SOLERA, J., SCOWB, K.M., ARCENEGUI, V., MATAIX-BENEYTO, J. Near infrared spectroscopy for determination of various physical, chemical and biochemical properties in Mediterranean soils, *Soil Biology & Biochemistry* 40 (2008) 1923–1930

AGRICULTURA DE PRECISÃO NA AUSTRALIA

Agricultura de precisão é um sistema agrícola baseado na integração de informação e produção destinada a aumentar, em longo prazo, localizadamente e em toda a área, a eficiência, produtividade e rentabilidade do sistema, enquanto minimiza os impactos ao meio ambiente. Narrando essa filosofia para sua implantação em sistemas de culturas, agricultura de precisão pode ser definida como uma maneira de gerenciamento onde as decisões sobre aplicação de recursos e de práticas de manejo são improvisadas para melhor atender aos requisitos do solo e das culturas, do modo que elas variam no campo.

A Austrália tem clima relativamente seco, solos encharcados, grandes propriedades e poucos subsídios para agricultura, se adequando perfeitamente a incorporação da agricultura de precisão no manejo agrícola. Um esquema generalizado de como a agricultura de precisão está sendo introduzida aos sistemas de cultivo agrícola australianos é mostrado abaixo:

Passos	Ferramentas e técnicas que a AP pode oferecer
<ul style="list-style-type: none">• Passo 1: Otimização do manejo uniforme	Monitoramento das culturas, ferramentas de amostragem de solo, sistemas de orientação (barras de luz e piloto automático), ferramentas de experimentação em talhões simples
<ul style="list-style-type: none">• Passo 2: Determinar a magnitude, extensão e capacidade de resposta da variabilidade espacial e temporal.	Monitoramento das culturas, ferramentas de amostragem de solo, monitores de produtividade, sensores de solo e sensoriamento remoto, experimentações mais avançadas, ferramentas analíticas e de modelagem.
<ul style="list-style-type: none">• Passo 3: otimizar a relação de entradas e saídas da produção para quantidade e qualidade.	Monitoramento das culturas, ferramentas de amostragem de solo, monitores de produtividade, sensores de solo e sensoriamento remoto, barras de luz e piloto automático experimentações mais avançadas, ferramentas analíticas, de modelagem, de suporte para decisões, controladores de taxa variável.
<ul style="list-style-type: none">• Passo 4: controle de qualidade de produção e comercialização do produto.	Monitores de qualidade e ferramentas de segregação, controladores de taxa variável, gravação mapa de aplicação, sistemas eletrônicos de marcação e gravação, tecnologia de controle de processos.
<ul style="list-style-type: none">• Passo 5: Manter os recursos bases e as informações de operações.	Monitoramento das culturas, ferramentas de amostragem de solo recursos de mapeamento e software de armazenamento especializado

Estes passos são normalmente considerados em ordem numérica, de maneira que o maior benefício seja obtido com o menor custo adicional. Isso não significa que eles não possam ser aplicados em conjunto, mas cada passo adicional neste processo requer novas ferramentas ou técnicas a serem adquiridas e aplicadas. O primeiro passo exige que todas as alterações sejam implementadas para otimizar o manejo uniforme, ou “agricultura pela média” em uma fazenda. Melhorar o manejo de plantas daninhas, garantir uma taxa “uniforme” correta de fertilizantes e reduzir a sobreposição na aplicação de produtos químicos utilizando instrumentos de navegação em veículos.

Instrumentos de navegação é a ferramenta que tem tido o maior impacto até agora no manejo agrícola australiano. Avanços na tecnologia de sistemas de navegação via satélites (GNSS) desde 1999, abriram a porta para sistemas orientação e assistência de tráfego e piloto automático para uso em veículos agrícolas. Estes sistemas têm sido pioneiro na Austrália e amplamente adotado inicialmente para orientação de pulverização, e está cada vez mais sendo utilizado para o controle de tráfego (CTF). CTF é essencialmente baseado no processo de controle de taxa variável: controlar a quantidade de área trafegada em um talhão para adoção de um sistema de tráfego mínimo utilizando navegação por satélites.

Há cerca de 40% dos agricultores com algum tipo de sistema de orientação e 50% desses com piloto automático. CTF tem proporcionado benefícios de sustentabilidade (minimizando a compactação do solo e permitindo a semeadura e cultivo da entrelinha reduzindo o impacto com doenças e a dependência de herbicidas), econômicos (minimizando sobreposição de insumos, melhoria da gestão da água no solo e eficiência das operações) e sociais (como a redução da fadiga do motorista).

Primeiramente a nível nacional, uma rede de estações de referência contínuas (Continuously Operating Reference Stations - CORS) foi estabelecida no estado de Victoria para fornecer a cobertura do sinal diferencial RTK. Conhecido como 'GPSNet', o sistema está trabalhando para permitir grupos de agricultores locais aderir à rede e receber os sinais de correção.

O segundo e o terceiro passo e onde se concentra a maioria dos trabalhos de pesquisas na Austrália, visando identificar maneiras práticas de quantificar e responder a variabilidade observada, mas muito depende da escala e das causas da variabilidade local identificada.

O objetivo deve ser investigar relações de causas entre fatores do solo e da produtividade da cultura em escala de talhão, juntamente com a extensão que estas relações variam no campo. Esta informação deverá ser utilizada para determinar se a variabilidade observada justifica o uso de tratamento diferenciado e, se assim, traçar uma rota direta para o manejo localizado de culturas (site specific crop management - SSCM).

Os produtores australianos estão tentando compreender a variação espacial combinando dados de produtividade com dados do solo intensamente observados e informações de declividade. Na Austrália, é bem claro que as influências mais marcantes sobre a variação da produtividade (com exceção do clima e chuvas) são os fatores físicos do solo, como textura, estrutura, e níveis de matéria orgânica. Estes são conhecidos por contribuir indiretamente com o armazenamento de água, com a capacidade de troca catiônica e com a disponibilidade de nutrientes do solo.

A obtenção direta de dados sobre esses atributos em uma escala espacial é bem problemática, mas um número de atributos correlacionados podem ser obtidos de forma relativamente rápida. A condutividade elétrica aparente do solo (ECA) tem mostrado fornecer uma correlação com vários parâmetros físicos deterministas do solo e fornecer confirmação do padrão espacial da produtividade em muitos campos. Topografia do talhão também tem fornecido uma indicação indireta da variabilidade no movimento da água no solo e atributos físicos e químicos do solo - mais uma vez geralmente devido a uma alta correlação com um atributo determinista, como textura ou profundidade. Informações de topografia também fornecem informações indiretas sobre atributos do micro clima, influenciando no potencial de produção das culturas.

Estes atributos do solo são, no entanto, extremamente difíceis ou impraticáveis de alterar em curto prazo. No entanto, se estes fatores vão limitar a produção, então seria prudente permitir que esses influenciem nas taxas de aplicação de qualquer entrada e melhoria na lavoura. Intuitivamente, os fatores que contribuem para a variabilidade do regime de umidade do solo e propriedades físicas que controlam o movimento da água no solo e fornecimento de nutrientes pode ser o fator causal mais importante na variabilidade espacial da produtividade das culturas na maioria das regiões de cultivo de cereais na Austrália. Muitos dos fatores de solo mais facilmente ajustáveis, tais como níveis de nutrientes disponíveis e pH pode se esperar que variem de acordo com a variação das propriedades físicas do solo. Usar a variação dos indicadores de fatores - produtividade, condutividade elétrica do solo e elevação - como um conjunto de dados básicos para delimitar as áreas de potencial de produção homogênea pode ser útil. A resposta das entradas e melhorias a esses fatores serão, naturalmente, localizados, mas a significância de sua influência pode não ser. Logicamente outras camadas de dados que possam ser reunidos na mesma escala espacial justifica-se ser incluídos.

O ACPA desenvolveu um procedimento que tem sido adotado por grupos agrícolas ao redor da Austrália. Em geral, o processo consiste em:

- Medir a variabilidade espacial do potencial de produção no talhão (no presente melhor descrita por mapas de condutividade elétrica do solo, mapas de produtividade das culturas, e modelos digitais de elevação).
- Determinar o número e localização das classes de gerenciamento potencial (zonas de manejo) usando análises multivariadas de “clustering” se a variação é considerada adequada.
- Amostragem de solo e análise das culturas, dentro das classes de gestão para investigar as causas concretas de variação.
- Interpretar os resultados dos testes e tomar medidas corretivas se for o caso, ou realizar projetos de experimentação dentro do talhão para medição de entradas de respostas que poderá ser utilizado no futuro, com informações básicas de previsão sazonal.

Utilizando essa metodologia para delinear as unidades de gerenciamento o primeiro passo após a aquisição dos dados seria para interpolar os dados adquiridos em uma rede única utilizando krigagem em blocos com semivariogramas locais utilizando o programa Vésper.

Krigagem com variogramas locais envolve procurar os pontos de dados dentro de uma vizinhança definida em torno de cada unidade de previsão (pontos da grade final), estimar um variograma para a nuvem de pontos e fixar um modelo apropriado, em

seguida, prever um valor (e sua incerteza) para o atributo em questão em cada ponto da grade. Este método permite que alterações locais na variabilidade local sejam refletidas nos parâmetros do variograma para cada previsão oferecendo a capacidade de preservar a correta variabilidade espacial do local. Krigagem em blocos tenta prever a média ponderada de uma variável em um bloco de comprimento e largura específicos centrado sobre um ponto de previsão, resultando em um mapa esteticamente agradável e suave.

Com todos os atributos em uma grade comum, o método de análise multivariada de “K-means clustering” é usado para definir as classes de gerenciamento potencial. Este é um método iterativo que cria classes disjuntas estimando médias agrupadas, maximiza a diferença entre as médias das classes e minimiza a variação dentro dos grupos do “cluster”. Para garantir que as diferenças apresentadas em mapas de produtividade das culturas são genuínos, a variância da média da krigagem para o campo é utilizada para determinar o intervalo de confiança (95% CI) para a divisão de classes.

O próximo passo é a amostragem do solo nas classes de gestão e interrogar a variação da produção observada. Isso deve fornecer alguma explicação ou destacar o que é necessário analisar mais a fundo. Se um problema de melhoria surge (por exemplo, problema de pH ou sodicidade), em seguida, aplicação a taxa variável pode ser considerada com base nos resultados de teste de solo ou novos experimentos podem ser estabelecidos dentro das classes.

Depois que os principais motivos para a variabilidade espacial são encontrados, é hora de explorar mudanças para a gestão dos insumos. Atualmente, as 3 opções gerais para determinar alterações na taxa de entrada de insumos são baseadas em:

- Taxa de resposta em experimentos dentro de cada classe;
- Modificar metas de produtividade entre as classes;
- Substituição ou manutenção dos nutrientes removidos pela cultura anterior

O processo de experimentação fornece a análise mais completa, mas exige um maior tempo. Vale a pena prosseguir, porque fornece uma resposta concreta, que pode ser fixada como um recorde sazonal e armazenado para o futuro. O experimento também poderá ser monitorado em diferentes épocas e culturas fornecendo informações ainda mais valiosas sobre a propriedade.

O simples uso da reposição dos nutrientes removidos pode servir para qualquer cultura, mas é importante obter uma estimativa precisa da quantidade média e da concentração dos nutrientes de interesse na safra a ser colhida. No caso do nitrogênio, por exemplo, o uso do monitor de proteína tornaria o processo muito mais preciso.

Mas para um equilíbrio razoável entre precisão e coleta de dados, o uso de informações georreferenciadas específicas visando modificar as metas de produtividade entre as classes e em seguida, aplicar estimativas agronômicas locais para a aplicação dos insumos necessários ao longo da propriedade seria um bom sistema com o qual a começar. Experimentações em alguns de talhões pode ser implementadas para aprimorar os objetivos e as estimativas de entradas adicionais.

Bibliografia

- WHELAN, B.M., MCBRATNEY, A.B. & MINASNY, B. (2002). Vesper 1.5 – spatial prediction software for precision agriculture. In P.C. Robert, R.H. Rust & W.E. Larson (eds) Precision Agriculture, Proceedings of the 6th International Conference on Precision Agriculture, ASA/CSSA/SSSA, Madison, Wisconsin, 14p.
- WHELAN, B., TAYLOR, J. Practical Implementation of Site-Specific Crop Management in Australia. Australian Centre for Precision Agriculture, November 2007.
- WHELAN, B., TAYLOR, J. Incorporating Precision Agriculture into Australian farm Management. Australian Centre for Precision Agriculture, November 2007.
- WHELAN, B.M. (2007). Current status and future directions of PA in Australia. Proceedings of the 2nd Asian Conference on Precision Agriculture, Pyeongtaek, Korea, pp 60-71.