

## Satélite CBERS-2 na determinação de teores de atributos químicos e granulométricos de solos

Matheus Bayer Gonçalves<sup>1</sup>  
José Alexandre M. Demattê<sup>2</sup>  
Karen Nize Sobral de Lima<sup>1</sup>  
Aline Marques Genú<sup>3</sup>  
Rogério Costa Campos<sup>4</sup>  
Marco Antonio Melo Bortoletto<sup>2</sup>

<sup>(1)</sup> Acadêmicos em Iniciação Científica, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP Caixa Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba, SP

<sup>(2)</sup> Professor Associado Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, ESALQ/USP

<sup>(3)</sup> Pos Graduandos em Solos e Nutrição de Plantas, ESALQ/USP

<sup>(4)</sup> Doutorando Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos, SP

[matheusg@esalq.usp.br](mailto:matheusg@esalq.usp.br); [jamdemat@carpa.ciagri.usp.br](mailto:jamdemat@carpa.ciagri.usp.br); [knslima@esalq.usp.br](mailto:knslima@esalq.usp.br); [amgenu@esalq.usp.br](mailto:amgenu@esalq.usp.br);  
[rogerio@ltd.inpe.br](mailto:rogerio@ltd.inpe.br); [mamborto@yahoo.com.br](mailto:mamborto@yahoo.com.br)

**Abstract** - One of the main factors to be considered in relation to sustainable agriculture is the soil, therefore it is not renewable natural resources and its recovery represents high cost. Therefore, its rational use becomes necessary. The knowledge of soil physical and chemical attributes is only possible by traditional laboratory analysis, which are cost-effective and environmental polluter. The objective of this work was to evaluate the viability on the quantification granulometry and chemical attributes of soils, through satellite (CBERS-2) remote sensing techniques. Considering that the model was constructed with satellite data, attributes such as sand, silt, clay and CTC presented  $R^2 > 0,5$ . The validation reached a 0.79  $R^2$  for clay. This study demonstrated the possibility to use satellite image to obtain quantitative information of soils, mainly the physical ones. The development non-destructive technique is necessary to improve the use of soil analysis with environment quality.

**Keywords:** CBERS, remote sensing, image processing, sensoriamento remoto, processamento de imagens.

## 1. Introdução

Um dos principais fatores a ser considerado em relação agricultura sustentável é o solo, pois é um recurso natural não renovável e sua recuperação apresenta um alto custo, portanto, torna-se relevante o seu uso de forma racional. O conhecimento de seus atributos físicos e químicos e sua variabilidade espacial, só é possível através de levantamentos pedológicos, que são em sua maioria de alto custo econômico e ambiental.

É necessário o desenvolvimento de técnicas que melhorem os níveis de mapeamento que são a base para um adequado planejamento do uso da terra, justamente numa época que se predomina a conscientização ambiental.

O sensoriamento remoto tem sido considerado uma importante ferramenta nos mais diversos aspectos relacionados aos estudos de solos por sensores orbitais. Além disso, a utilização desse tipo de metodologia para quantificar atributos do solos, diminui o impacto ambiental pois não utiliza reagentes potencialmente tóxicos para obtenção de dados. É fato que a maioria dos reagentes utilizados em análises convencionais de solo, acabam tendo como destino final o meio ambiente, gerando uma contaminação que poderia, neste caso, ser evitada

Com o desenvolvimento de novos sensores e satélite, como o CBERS (satélite utilizado como fonte de dados), que possui carga útil de múltiplos sensores, com resoluções espaciais e frequências de observação variadas; permitindo a realização de diversos estudos envolvendo a caracterização física e química dos solos além de sua distribuição espacial com maior precisão. Suas bandas estão situadas na faixa espectral do visível e do infravermelho próximo, o que permite bons contrastes entre vegetação e outros tipos de objetos. O sensor CCD contribui no levantamentos de solos e levantamentos geológicos, mapeamento de uso do solo na identificação de campos agrícolas, quantificação de áreas, monitoramento do desenvolvimento e da expansão agrícola, quantificação de pivôs centrais, auxílio em previsão de safras, na identificação de áreas de florestas.

A reflectância espectral dos solos tem participação ativa na interpretação dos resultado da análise dados de sensoriamento remoto; essa característica é uma grandeza cumulativa que deriva do comportamento espectral devido as combinações de, textura (areia, silte e argila), matéria orgânica, umidade do solo, teor de óxidos de ferro e material mineral. Todos esses fatores interferem no comportamento espectral do solo.

O presente trabalho tem por objetivo avaliar a viabilidade da quantificação de atributos granulométricos e químicos dos solos da região de Valparaíso e Ipaussu, SP, através de técnicas de sensoriamento remoto e modelos estatísticos. Os objetivos são embasados na seguinte questão: Poderiam os sensores do satélite CBERS, determinar os teores de atributos do solo? Espera-se que os atributos físicos do solo como granulometria apresentem melhores correlações que os químicos, uma vez que atuam de maneira mais marcante na interação com a energia incidente. Resultados expressivos poderiam nortear a diminuição ou ate mesmo a substituição do métodos tradicionais de analises de solo.

## 2. Material e Métodos

As áreas se localizam à oeste-noroete do Estado de São Paulo e se apresentam nos municípios de Valparaíso e Ipaussu, sendo o primeiro delimitada pelas coordenadas geográficas: 21° 07' 45" - 21° 26' 55" latitude sul e 51° 06' 29" – 50° 47' 21", longitude oeste; e a segundo delimitada pelas coordenadas 22° 46' 56" – 23° 08' 44" latitude sul, 49° 48' 57" – 49° 23' 23" longitude oeste. Climaticamente as duas regiões possuem verão quente e úmido com precipitações maiores indo de novembro a março A área de Valparaiso tem 10.790,78ha cultivados com cana-de-açúcar e altitude de 450 metros. A área de Ipaussu tem 10.234,45ha cultivados com cana-de-açúcar e altitude de 477 metros. A litologia para as áreas é composta pelo grupo Bauru e pelo grupo São Bento.

Os dados de reflectância foram obtidos através de imagens obtidas pelo satélite CBERS, data de passagem 11 de outubro de 2003, sendo coletados 57 pontos dos quais: 35 pontos referentes a área de Valparaíso e 22 pontos referentes á área de Ipaussu. Os pontos escolhidos correspondem a tradagens georreferenciadas e analisadas quimicamente para determinar pH ( $\text{CaCl}_2$ ), teor de matéria orgânica, fósforo, potássio, magnésio, cálcio, alumínio e hidrogênio mais alumínio (Raij et al., 1987), areia, silte e argila (Camargo et al., 1986), sílica, a alumina e o ferro total (Camargo et al., 1986).

As imagens CBERS passaram por um processamento para correção atmosférica e transformação para reflectância. As imagens de satélite foram processadas e corrigidas atmosféricamente sendo transformadas em reflectância. Para a correção foi utilizado um programa referente ao modelo 5S de correção atmosférica aplicado aos dados CCD/CBERS-2. Esse programa é executado em ambiente DOS e inclui a elaboração (opção 1) de um arquivo txt com os dados que são utilizados pelo programa. Ainda por operar em ambiente DOS, os nomes dos arquivos (as imagens a serem corrigidas) são utilizados em formato raw e devem ser colocadas no mesmo diretório aonde se localiza o programa. Não foi necessária qualquer conversão prévia das imagens. Elas são submetidas ao programa no nível P2 (atualmente sendo adotado pelo INPE). O resultado do programa são imagens com reflectância da superfície. No computador foi montado um banco de dados com o software Spring (2004). Posteriormente ela foi georeferenciadas no programa Spring, assim como, importado os pontos georeferenciados em campo. Essa nova imagem serviu de plano de referencia para a coleta dos dados de reflectância.

A coleta dos dados baseou-se na identificação de pixels, onde foram realizadas as coletas de amostras de terra, e que estavam com solo exposto na imagem. Estas informações permitiram correlacionar com os dados de reflectância com os respectivos solos classificados no levantamento.

O trabalho teve três fases: (a) obtenção dos dados: Composições coloridas foram montadas e os locais das tradagens localizados. Para que o pixel fosse coletado e fizesse parte do trabalho, foi primeiramente avaliado quanto a ser de solo exposto. As informações das amostras foram obtidas utilizando-se as bandas espectrais (nm) B1 (450-520), B2 (520-590), B3 (630-690) e B4 (770-890) do satélite CBERS; (b) calibração: esta fase visa determinar os modelos de regressão múltipla. Os modelos foram gerados com 50% dos dados coletados, e foi realizada entre os dados de reflectância (variável independente) obtidos através de imagens de satélite, atributos físicos e químicos do solo (variável dependente) obtidos através de análises em laboratório (Statistical Analysis System, 1999); (c) validação: a fase de validação consistiu na determinação dos teores dos atributos dos solos das 50% amostras restantes que não participaram do modelo. Foi realizada a correlação entre os valores determinados em laboratório e os pelo modelo espectral orbital. Os modelos foram avaliados pelo índice  $R^2$  e  $C_p$ .

### 3. Resultados e discussão

Para a estimativa dos atributos dos solos através de resposta espectral obtida por imagens de satélite estabeleceram-se equações de regressão múltipla apresentadas na **Tabela 1**. As equações geradas pelo SAS (Statistical Analysis System, 1999) para os atributos químicos e granulométricos mostraram que coeficiente de determinação foi significativo para as variáveis de areia, silte, argila e CTC (capacidade de troca catiônica). Os atributos restantes obtiveram um  $R^2$  abaixo de 0,50, o que torna as equações menos significativas. Alias, todos os índices  $C_p$  indicam que as equações não foram tendenciosas e, portanto, significativas. As bandas mais significativas foram a B2 e B3, sendo eventualmente utilizadas nos modelos as B1 e B4. Isso ratifica as questões que envolvem a B1 que geralmente apresenta maior ruído e dificuldade de correção. Fato importante, e que modelos com poucas variáveis independentes

facilita para o usuário. No caso, de um total de 4 bandas, com duas bandas foi possível quantificar a maioria dos atributos dos solos.

Analisando-se a **Tabela 2** apresenta os resultados e suas variações pontuais. Verifica-se que os atributos estruturais do solo, como areia, silte e argila, apresentaram valores bem mais próximos entre os dois métodos de determinação. Por outro lado, alguns resultados apresentam grande diferença, levando o sensor a ter quantificado erradamente a amostra. Vale comentar que variações ocorrem em qualquer método de determinação (inclusive o tradicional), sendo importante portanto, a verificação destas variações, tanto das amostras analisadas em laboratório quanto das analisadas pelo sensor. Estes resultados indicam o grande potencial dados de reflectância obtidos pelo satélite CBERS na substituição (ou diminuição) dos dados de granulometria determinados em laboratório.

Os gráficos encontrados na **Figura 1** apresentam as correlações lineares entre os valores determinados em laboratório e os estimados pelas equações de regressão múltipla para os parâmetros areia, silte, argila e CTC.

A comparação dos atributos químicos determinados pelo modelo espectral e os determinados em laboratório (como cálcio, potássio e fósforo), mostram que ocorre baixa correlação. Alias, verifica-se na **Tabela 2** as grandes diferenças entre os dois métodos de determinação (laboratório e modelo espectral). Por outro lado, destaque-se a quantificação do pH que obteve seus resultados muito próximos ao determinado em laboratório. Este parâmetro do solo tem íntima relação com o processo de manejo químico, a calagem.

Thomasson et al. (2001) também observaram valores de  $R^2$  muito baixos para algumas bases como 0,04 para potássio, 0,15 para magnésio e 0,21 para cálcio porém, Chang et al. (2001) obteve altos valores para os mesmos elementos, 0,75 para Ca, 0,55 para K e 0,68 para Mg. Tal fato pode ser explicado por inúmeros fatores entre os quais destacam-se: número de amostras utilizadas no modelo; diversidade de solos e de seus atributos químicos, físicos e mineralógicos proporcionando uma grande dispersão de pontos em torno da média, reduzindo o  $R^2$ ; produto sensor utilizado; e o próprio método estatístico. Entretanto, deve-se destacar que as bases trocáveis não foram quantificadas pelo sensor CBERS devida principalmente a sua baixa interferência no comportamento espectral do solo. Ou seja, para a sua detecção são necessários delineamentos e avaliações mais detalhadas, inicialmente ao nível de laboratório. Portanto, as variações encontradas mostram a necessidade de continuar as pesquisas no sentido de melhor entender a interação dos elementos químicos do solo e a reflectância.

Os atributos que apresentaram valores de  $R^2$  maiores que 0,50 foram testados para validação e o resultado foi comparado com os valores determinados nas análises de laboratório tradicionais.

Analisando todos os parâmetros, verificou-se que areia, silte e argila obtiveram equações e  $R^2$  significativos. O teor de argila, em especial apresentou 0,79 de correlação entre os teores determinados pelo modelo espectral orbital CBERS e os teores determinados por análises laboratoriais. Isso ratifica o determinado por diversos autores, utilizando sensores diferentes, como Nanni & Demattê (2001) e Chang et al. (2001) para os quais os atributos estruturais dos solos podem ser espectralmente quantificados.

A quantificação por sensores em satélites pode auxiliar a comunidade em várias frentes, entre elas: auxílio em mapeamento e levantamento de solos, estudo do solo quanto a parte química e granulométrica. Entretanto, destaque-se a grande importância na qualidade ambiental. O mapeamento da textura do solo auxilia, por exemplo, no manejo racional de aplicação de herbicidas e inseticidas. Também ocorreria uma diminuição da necessidade de realizar análises em laboratório pelos métodos tradicionais, cujos métodos demandam produtos tóxicos e precisam descartar suas embalagens também tóxicas. A técnica do sensoriamento remoto é não destrutiva, rápida e com considerável qualidade ambiental e retorno para a sociedade.

#### 4. Conclusão

A metodologia de coleta de dados nas imagens CBERS permitiu a geração de modelos espectrais por regressão múltipla. É possível determinar os teores de atributos granulométricos do solo pelo sensor localizado no satélite, tais como areia, silte e argila, com maior expressão do último. Tanto os modelos como a validação do método demonstraram valores próximos entre os determinados em laboratório e os pelo modelo espectral.

Com exceção do pH, a quantificação dos atributos químicos foi pouco significativa, representado por valores de  $R^2$  abaixo do satisfatório. As variações encontradas mostram a necessidade de continuar pesquisas no sentido de melhor entender a interação dos elementos químicos do solo e a reflectância.

#### 5. Referências

- Camargo, A. O. de; Moniz, A. C.; Valadares, J. M. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do IAC**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1986, 94p. (IAC. Boletim Técnico, 106).
- Chang, C.W.; Laird, D.A.; Mausbach, M.J.; Hurburgh Jr, C.R. Near-infrared reflectance spectroscopy - principal components regression analyses of soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, v.65, p. 480-490, 2001.
- Nanni, M. R.; Demattê, J. A. M. Is it possible estimate physical-chemical soil attributes by using laboratory and orbital sensors (compact disc). In: International Conference of Geospatial Information in Agriculture and Forestry, Denver, 2001. **Proceedings**, Colorado, 2001.
- Raij, B. van; Quaggio, J. A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1983. 40 p. (Boletim técnico, nº 8).
- Statistical Analysis System Institute. *SAS*, software: user's guide, version 8.2. Cary, 1999. 291p.
- Spring, Tutorial de Geoprocessamento. Classificação Disponível em [www.dpi.inpe.br/spring/teoria/classif](http://www.dpi.inpe.br/spring/teoria/classif).
- Thomasson, J. A.; Sui, R.; Cox, M.S.; Al-Rajehy, A. Soil reflectance sensing for determining soil properties in precision agriculture. **Transactions of the ASAE**, v.44, n.6, p.1445-1453, 2001,

**Tabela 1** – Equações de regressão múltipla obtidas utilizando as bandas do satélite CBERS para quantificação de atributos do solo

ATRIBUTOS	EQUAÇÃO MULTIPLA <sup>(1)</sup>	R <sup>2(2)</sup>	C(p) <sup>(3)</sup>
Areia	-111,66 -7,42*B2 + 9,40*B3	0,7781	20.002
Ssilte	25,91 + 1,63*B2 -1,16*B3 -0,24*B4	0,5495	30.081
Argila	185,41 +6,22*B2 -8,12*B3	0,7763	16.876
pH	24,93 +0,84*B2 -1,02*B3	0,6187	22.094
Matéria Organica	41,36 -0,64*B3	0,3223	17.279
Fósforo	P	ns <sup>(4)</sup>	ns
Potássio	1,17 +0,09*B1	0,0631	0.0531
Cálcio	58,74 -1,11*B3	0,3993	0.0953
Magnésio	35,23 -0,72*B3	0,447	44.546
Alumínio	Al	ns	ns
Hidrogênio + alumínio	88,41 +3,83*B2 -4,19*B3	0,3419	21.453
Soma de Bases	95,25 -1,79*B3	0,4026	14.327
CTC <sup>(5)</sup>	191,83 +6,66*B2 -8,09*B3	0,6204	37.881
V% <sup>(6)</sup>	V%	ns	ns
m% <sup>(7)</sup>	m%	ns	ns

<sup>(1)</sup> B1...B4: bandas do satélite CBERS;

<sup>(2)</sup> Coeficiente de determinação, significativo a 5%;

<sup>(3)</sup> Índice

<sup>(4)</sup> ns: não significativo;

<sup>(5)</sup> Capacidade de troca catiônica;

<sup>(6)</sup> Saturação por bases;

<sup>(7)</sup> Saturação por alumínio

**Tabela 2** – Atributos granulométricos obtidos em laboratório e estimados pelos modelos estatísticos

Solo <sup>(1)</sup>	Areia (%)		Silte (%)		Argila (%)		CTC (mmol.kg <sup>-1</sup> )	
	VD <sup>(2)</sup>	VE <sup>(3)</sup>	VD	VE	VD	VE	VD	VE
PEL41	84,00	64,00	4,00	5,52	12,00	28,55	34,80	48,05
PEL42	74,00	90,72	8,00	4,60	18,00	4,71	45,90	26,15
PEL41	84,00	65,98	4,00	6,47	12,00	26,65	33,40	46,62
PE41	82,00	73,40	4,00	6,76	14,00	20,43	36,00	39,96
PE41	84,00	67,96	4,00	7,42	12,00	24,75	36,80	45,19
PEL42	84,00	84,78	4,00	5,35	12,00	10,41	33,30	30,44
LE41	78,00	90,22	4,00	5,41	18,00	6,09	20,40	25,21
LE41	80,00	88,24	4,00	3,50	16,00	7,99	22,10	26,64
PV44	82,00	81,32	2,00	3,12	16,00	12,83	17,40	34,24
PEL42	86,00	56,08	2,00	5,56	12,00	36,15	16,60	53,77
LR14	16,00	17,98	10,00	12,45	74,00	70,01	106,60	85,19
LR14	29,00	12,54	8,00	12,39	63,00	74,33	91,70	90,42
LR12	5,00	19,96	4,00	12,92	99,00	68,11	126,70	83,76
LR14	17,00	12,54	12,00	12,87	71,00	74,33	91,70	90,42
LR12	5,00	17,98	19,00	12,93	76,00	70,01	103,60	85,19
LR13	10,00	12,54	13,00	14,55	77,00	74,33	68,40	90,42
LR13	21,00	45,20	12,00	13,12	67,00	44,79	81,80	64,23

<sup>(1)</sup> Classes de solo: PEL41: ARGISSOLO VERMELHO Eutrofico latossólico; PEL42: ARGISSOLO VERMELHO Distrófico latossólico; PE41: ARGISSOLO VERMELHO Eutrofico arênico; LE41: LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico psamítico; PV44: ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico arênico; LR12: LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico; LR13: LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico e LR14: LATOSSOLO VERMELHO Aluminoférico típico.

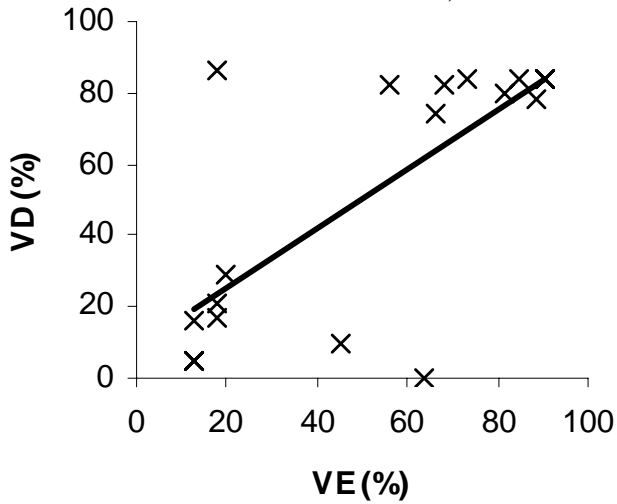
<sup>(2)</sup> Valor determinado em laboratório;

<sup>(3)</sup> Valor estimado pelas equações múltiplas;

### Areia

$$y = 0,8176x + 9,4047$$

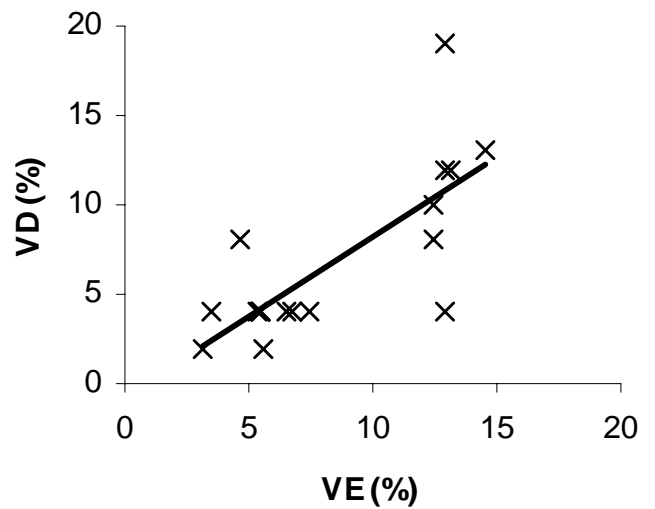
$$R^2 = 0,5033$$



### Silte

$$y = 0,8869x - 0,6203$$

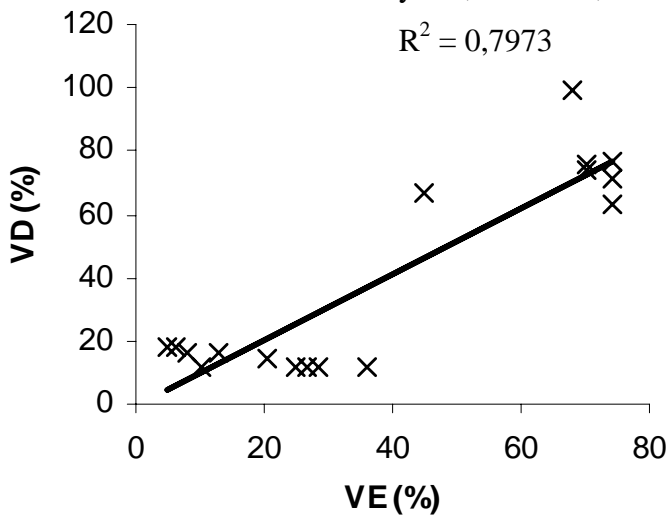
$$R^2 = 0,5665$$



### Argila

$$y = 1,0348x - 0,4842$$

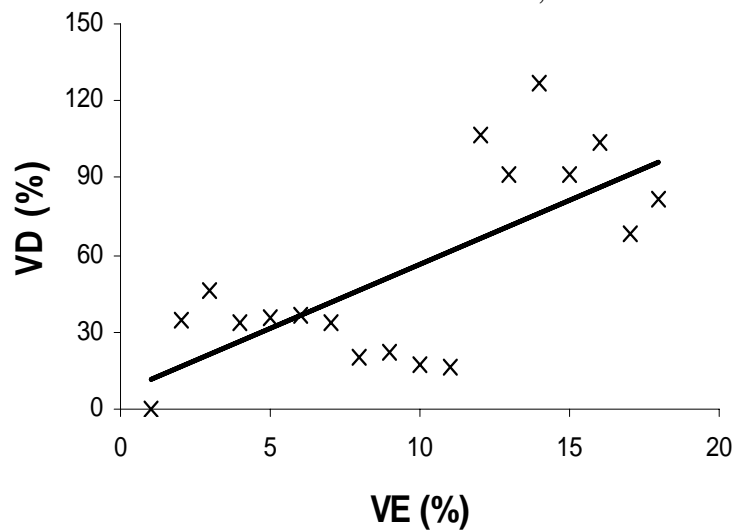
$$R^2 = 0,7973$$



### CTC

$$y = 4,9917x + 6,3118$$

$$R^2 = 0,5022$$



**Figura 1.** Gráficos de correlação linear entre os valores determinados em laboratório (VD) e os estimados pelas equações de regressão múltipla (VE) para os atributos do solo.