AVALIAÇÃO NO CAMPO DE UM TDR SEGMENTADO PARA DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO

ROGERIO CICHOTA

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Física do Ambiente Agrícola.

PIRACICABA
Estado de São Paulo – Brasil
Fevereiro – 2003

AVALIAÇÃO NO CAMPO DE UM TDR SEGMENTADO PARA DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO

ROGERIO CICHOTA

Engenheiro Agrícola

Orientador: Prof. Dr. **QUIRIJN DE JONG VAN LIER**

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Física do Ambiente Agrícola.

PIRACICABA
Estado de São Paulo – Brasil
Fevereiro – 2003

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Cichota, Rogerio

Avaliação no campo de um TDR segmentado para determinação da umidade do solo / Rogerio Cichota. - - Piracicaba, 2003.
100 p. : il.

Dissertação (mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2003.
Bibliografia.

1. Água do solo 2. Física do solo 3. Latossolo 4. Máquinas agrícolas 5. Sondagem dos solos 6. Umidade do solo I. Título

CDD 631.43

Aos meus pais, Terezinha e Leonides, dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao povo brasileiro, financiador último de minha formação

Ao meu orientador, Prof. Dr. Quirijn de Jong van Lier

Aos demais professores da ESALQ, aos meus colegas e amigos e a todos
que de alguma forma colaboraram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE ANEXOS	xiii
RESUMO.....	xvii
SUMMARY	xix
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 MEDIÇÕES E CALIBRAÇÃO.....	3
2.2 UMIDADE DO SOLO	4
2.3 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO	6
2.4 TENSIMETRIA.....	7
2.5 REFLECTOMETRIA NO DOMÍNIO DO TEMPO	12
3 MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1 LOCAL.....	19
3.2 CURVAS DE RETENÇÃO.....	21

3.3	EQUIPAMENTOS	24
3.4	COLETA DOS DADOS	26
3.5	CALIBRAÇÃO	27
3.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1	CURVAS DE RETENÇÃO	29
4.2	ATRIBUTOS FÍSICOS	33
4.2.1	Densidade do solo	33
4.2.2	Densidade dos sólidos	33
4.2.3	Granulometria	34
4.3	CURVAS DE CALIBRAÇÃO	36
4.3.1	Dados de Campo	36
4.3.2	Ajuste das Equações de Calibração do TDR	51
4.3.3	Atributos do Solo e a Calibração	67
5	CONCLUSÕES	70
	ANEXOS	71
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Diagrama de um tensiômetro com manômetro de mercúrio.....	9
2 Equipamentos laboratoriais para determinação da curva de retenção da água no solo, (a) funil com placa porosa, (b) câmara de Richards.	12
3 Diagrama dos componentes básicos de um equipamento de TDR.....	17
4 Tipos de sondas de TDR que permitem identificar diferentes camadas (a) sonda com segmentos de diferentes bitolas, (b) sondas de diferentes comprimentos e (c) sonda segmentada eletronicamente por diodos.	17
5 Disposição de cada conjunto ou bateria; sonda de TDR no centro e tensiômetros ao redor.	20
6 Vista geral do experimento já coberto pela lona; à esquerda encontram-se os manômetros e os conectores dos cabos do TDR.....	20
7 Vista do experimento em fase de instalação, mostrando a disposição dos manômetros ao fundo e sua ligação com as baterias por meio de conduítes (posteriormente enterrados).	21
8 Esquema da disposição das baterias na transeção e da amostragem para confecção das curvas de retenção	22
9 Trado para acesso a camadas profundas e amostrador de Uhland.	22

10	Esquema da caixa de areia utilizada para a determinação da umidade das amostras para potenciais matriciais de -0,05 a -0,40 kPa.....	24
11	Equipamento de TDR - emissor de pulso/leitor, cabos e sonda, no detalhe vê-se os segmentos de cada haste.	26
12	Repetições e médias das curvas de retenção experimentais, para o ponto 20A com todas as repetições (a) e com a eliminação de um dado discrepante (b), e o ponto 30A com todos os dados (c) e com a eliminação de uma repetição discrepante (d).....	30
13	Média das densidades do solo observadas para cada camada e média geral de todas as camadas. Barras marcadas com letras minúsculas iguais não diferiram, ao nível de probabilidade de 5%, pelo teste de Tukey.	33
14	Médias das densidade dos sólidos observadas ao longo da transeção por camada e média geral. Barras marcadas com letras minúsculas iguais não diferiram, ao nível de probabilidade de 5%, pelo teste de Tukey.....	34
15	Teores médios por camada para (a) areia, (b) argila e (c) silte, e (d) variação das médias ao longo da transeção. Barras marcadas com letras minúsculas iguais não diferiram, ao nível de probabilidade de 5%, pelo teste de Tukey.	35
16	Amplitudes e médias para a umidade e a leitura do TDR, no primeiro período de coleta de dados (2000). (a-e) Umidade nas camadas A a E, (f) umidade geral por camada; (g-k) leitura do TDR nas camadas A a E e (l) TDR geral por camada. Barras marcadas com letras minúsculas iguais não diferiram, ao nível de probabilidade de 5%, pelo teste de Tukey.....	38
17	Amplitudes e médias para a umidade e a leitura do TDR, no segundo período de coleta de dados (2001). (a-e) Umidade nas camadas A a E, (f) umidade geral por camada; (g-k) leitura do TDR nas camadas A a E e (l) TDR geral por camada. Barras marcadas com letras minúsculas iguais não diferiram, ao nível de probabilidade de 5%, pelo teste de Tukey.....	39
18	Porcentagem de pontos com umidade (a) e leitura do TDR (b) semelhantes na transeção, por camada e período.....	43

19	Percentagem de pontos com resultados coincidentes da análise de semelhança das médias (C_c) e percentagem apenas dos pontos semelhantes nos dois períodos (SI), para umidade (a) e leitura do TDR (b), em função da profundidade.	44
20	Fração de pontos semelhantes em função da distância de comparação para umidade obtida por tensiometria, no primeiro período de observação (2000).	48
21	Fração de pontos semelhantes em função da distância de comparação para umidade obtida por tensiometria, no segundo período de observação (2001).	48
22	Fração de pontos semelhantes em função da distância de comparação para umidade obtida por tensiometria, para todos os dados (2000 + 2001).	49
23	Fração de pontos semelhantes em função da distância de comparação para leitura do TDR, no primeiro período de observação (2000).	49
24	Fração de pontos semelhantes em função da distância de comparação para leitura do TDR, no segundo período de observação (2001).	50
25	Fração de pontos semelhantes em função da distância de comparação para leitura do TDR, para todos os dados (2000 + 2001).	50
26	Equação de calibração do TDR (modelo linear), ajustada a todos os pares de dados θ - T_{TDR} obtidos.	51
27	Exemplos de curvas de calibração do TDR para os modelos das equações (9), (13) e (14), com os dados das hastes 6 (a) e 19 (b) do primeiro período, 31 (c) e 45 (d) do segundo período.	52
28	Equações de calibração do TDR e pares de dados θ - T_{TDR} observados para o primeiro período – 2000 (a) e para o segundo período – 2001 (b).	53
29	Percentagem de equações de calibração com coeficientes de determinação da regressão linear em quatro classes por camada, para o primeiro período (a), segundo período (b) e todos os dados juntos (c).	56

30 Fração de pontos semelhantes em função da distância de comparação para o coeficiente angular da regressão tempo TDR×umidade, para o primeiro período (2000).....	65
31 Fração de pontos semelhantes em função da distância de comparação para coeficiente angular da regressão tempo TDR×umidade, para o segundo período (2001).....	65
32 Fração de pontos semelhantes em função da distância de comparação para coeficiente angular da regressão tempo TDR×umidade, para os dados dos dois períodos (2000 + 2001).....	66

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Permissividade relativa de alguns constituintes do solo.....	14
2 Valores dos parâmetros usados na equação de correção das leituras do TDR, fornecido pelo fabricante.	25
3 Parâmetros do modelo de Mualem-van Genuchten ajustados aos dados observados nos 24 pontos (números 2 a 48) e cinco camadas (A a E) - θ_s e θ_r em $m^3 m^{-3}$ e α em kPa^{-1} - com as respectivas medidas estatísticas de ajuste: Coeficiente de determinação – R^2 , teste F e sua probabilidade, o número de pares de dados – N, e o desvio padrão da regressão – Dp.....	32
4 Coeficientes de correlação das amplitudes da umidade ($A\theta$) e das leituras do TDR (AT_{TDR}) entre os dois períodos e entre as amplitudes da umidade e da leitura do TDR para o 1º período ($\theta-T_{TDR1}$) e o 2º período ($\theta-T_{TDR2}$).	40
5 Coeficientes de correlação entre a leitura do TDR e a umidade para cada camada, utilizando apenas as médias de cada ponto e com todos os dados.	41
6 Coeficiente de correlação para a percentagem de pontos semelhantes por camada entre dois períodos de observação.	45
7 Semelhança entre os valores de umidade por camada e bateria para os dois períodos (1-semelhante, 0-não semelhante, com IC de 95%).	46
8 Semelhança entre os valores da leitura do TDR por bateria e camada para os dois períodos (1-semelhante, 0-não semelhante, com IC de 95%).	46

9	Coeficientes de correlação entre os coeficientes angular e linear das retas ajustadas aos dados de umidade e leitura do TDR, para os dados coletados nos dois períodos e todos juntos.	54
10	Coeficientes de correlação para os coeficientes angular e de determinação das retas ajustadas aos dados de umidade e leitura do TDR, entre os dois períodos de observação.	57
11	Semelhança entre os valores obtidos nos dois períodos dos coeficientes angulares das retas da regressão linear dos valores de umidade e leitura do TDR, por bateria e camada (1-semelhante, 0-não semelhante, com IC de 95%).	59
12	Coeficientes angulares das retas da regressão linear dos valores de umidade e leitura do TDR por ponto para o primeiro período (2000). Valores seguidos de mesma letra, na linha, não diferem ao nível de probabilidade de 95%.	60
13	Coeficientes angulares das retas da regressão linear dos valores de umidade e leitura do TDR por ponto para o segundo período (2001). Valores seguidos de mesma letra, na linha, não diferem ao nível de probabilidade de 95%.	61
14	Coeficientes angulares das retas da regressão linear dos valores de umidade e leitura do TDR por ponto para todos os dados juntos (2000+2001). Valores seguidos de mesma letra, na linha, não diferem ao nível de probabilidade de 95%.	62
15	Resultados da análise de semelhança entre os coeficientes angulares para cada camada e período.	63
16	Coeficientes de correlação entre o coeficiente angular das retas de calibração e alguns atributos físicos do solo, analisados para os dois anos de observação em separado e em conjunto.	68

LISTA DE ANEXOS

	Página
A Umidade média (θ_m), Desvio padrão (Dp), número de observações (n), intervalo de confiança a 95% de probabilidade para a média (IC95%), número de pontos concordantes (nC) e sua percentagem (%C) por camada para os dados do primeiro período de observações (2000).	72
B Leitura média do TDR, (T_{TDR}), Desvio padrão (Dp), número de observações (n), intervalo de confiança a 95% de probabilidade para a média (IC95%), número de pontos concordantes (nC) e sua percentagem (%C) por camada para os dados do primeiro período de observações (2000).	73
C Umidade média (θ_m), Desvio padrão (Dp), número de observações (n), intervalo de confiança a 95% de probabilidade para a média (IC95%), número de pontos concordantes (nC) e sua percentagem (%C) por camada para os dados do segundo período de observações (2001).	74
D Leitura média do TDR, (T_{TDR}), Desvio padrão (Dp), número de observações (n), intervalo de confiança a 95% de probabilidade para a média (IC95%), número de pontos concordantes (nC) e sua percentagem (%C) por camada para os dados do segundo período de observações (2001).	75
E Umidade média (θ_m), Desvio padrão (Dp), número de observações (n), intervalo de confiança a 95% de probabilidade para a média (IC95%), número de pontos	

concordantes (nC) e sua percentagem (%C) por camada para todos os dados observados.	76
F Leitura média do TDR, (T_{TDR}), Desvio padrão (Dp), número de observações (n), intervalo de confiança a 95% de probabilidade para a média (IC95%), número de pontos concordantes (nC) e sua percentagem (%C) por camada para todos os dados observados.....	77
G Valores dos coeficientes linear (a), angular (b) e de determinação (R^2), o desvio padrão da regressão (DPR), a estatística F e sua respectiva probabilidade, para os ajustes do modelo linear nos dois períodos de observação e todos juntos para os dados agrupados por camada e com todas as camadas em conjunto.	78
H Coeficientes linear (a), angular (b) e de determinação (R^2), o desvio padrão da regressão (DPR), a estatística F e sua respectiva probabilidade, para os ajustes do modelo linear nos dois períodos de observação e todos juntos para os dados agrupados por haste com todas as camadas em conjunto.	79
I Coeficientes linear (a), angular (b) e de determinação (R^2), o desvio padrão da regressão (DPR), a estatística F e sua respectiva probabilidade, para os ajustes do modelo linear nos dois períodos de observação e todos juntos aos dados da camada A.....	80
J Coeficientes linear (a), angular (b) e de determinação (R^2), o desvio padrão da regressão (DPR), a estatística F e sua respectiva probabilidade, para os ajustes do modelo linear nos dois períodos de observação e todos juntos aos dados da camada B.....	81
K Coeficientes linear (a), angular (b) e de determinação (R^2), o desvio padrão da regressão (DPR), a estatística F e sua respectiva probabilidade, para os ajustes do modelo linear nos dois períodos de observação e todos juntos aos dados da camada C.....	82
L Coeficientes linear (a), angular (b) e de determinação (R^2), o desvio padrão da regressão (DPR), a estatística F e sua respectiva probabilidade, para os ajustes do	

modelo linear nos dois períodos de observação e todos juntos aos dados da camada D.....	83
M Coeficientes linear (a), angular (b) e de determinação (R ²), o desvio padrão da regressão (DPR), a estatística F e sua respectiva probabilidade, para os ajustes do modelo linear nos dois períodos de observação e todos juntos aos dados da camada E.....	84
N Exemplos de curvas de calibração para os dados agrupados por haste. A primeira coluna corresponde ao primeiro período, a segunda ao segundo período e a terceira coluna com todos os dados em conjunto. Primeira linha corresponde à bateria 1, a segunda à 10 e a terceira à 19. Dados da camada A (◆), camada B (●), Camada C (⊠), camada D (▣) e camada E (▲).	85
O Exemplos de equações de calibração para os dados agrupados por haste. A primeira coluna corresponde ao primeiro período, a segunda ao segundo período e a terceira coluna com todos os dados em conjunto. Primeira linha corresponde à bateria 28, a segunda à 36 e a terceira à 45. Dados da camada A (◆), camada B (●), Camada C (⊠), camada D (▣) e camada E (▲)..	86
P Equações de calibração e dados observados agrupados por camada. A primeira coluna corresponde ao primeiro período, a segunda ao segundo período e a terceira coluna com todos os dados em conjunto. Primeira linha corresponde à camada A, a segunda à B e a terceira à C.....	87
Q Equações de calibração e dados observados agrupados por camada. A primeira coluna corresponde ao primeiro período, a segunda ao segundo e a terceira coluna com todos os dados em conjunto. Primeira linha corresponde à camada D, a segunda à E e a terceira à todas juntas.....	88
R Exemplos de equações de calibração com os dados dos dois períodos para os segmentos da camada A. (a) bateria 1, (b) bateria 10, (c) bateria 19, (d) bateria 28, (e) bateria 36 e (f) bateria 45. (▣) Dados de 2000 e (▲) de 2001.....	89

S	Exemplos de equações de calibração com os dados dos dois períodos para os segmentos da camada B. (a) bateria 1, (b) bateria 10, (c) bateria 19, (d) bateria 28, (e) bateria 36 e (f) bateria 45. (■) Dados de 2000 e (▲) de 2001.....	90
T	Exemplos de equações de calibração com os dados dos dois períodos para os segmentos da camada C. (a) bateria 1, (b) bateria 10, (c) bateria 19, (d) bateria 28, (e) bateria 36 e (f) bateria 45. (■) Dados de 2000 e (▲) de 2001.....	91
U	Exemplos de equações de calibração com os dados dos dois períodos para os segmentos da camada D. (a) bateria 1, (b) bateria 10, (c) bateria 19, (d) bateria 28, (e) bateria 36 e (f) bateria 45. (■) Dados de 2000 e (▲) de 2001.....	92
V	Exemplos de equações de calibração com os dados dos dois períodos para os segmentos da camada E. (a) bateria 1, (b) bateria 10, (c) bateria 19, (d) bateria 28, (e) bateria 36 e (f) bateria 45. (■) Dados de 2000 e (▲) de 2001.....	93

AVALIAÇÃO NO CAMPO DE UM TDR SEGMENTADO PARA DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO

Autor: ROGERIO CICHOTA

Orientador: Prof. Dr. QUIRIJN DE JONG VAN LIER

RESUMO

Das várias proposições para a determinação da umidade do solo, a técnica da reflectometria no domínio do tempo (TDR) vem despertando bastante interesse, pois apresenta características desejáveis, como a mensuração em tempo real e a possibilidade de leituras automatizadas. Por outro lado, além do custo elevado dos equipamentos, este método ainda apresenta necessidade de calibração. O desempenho no campo também carece ser mais bem estudado. Com o objetivo de avaliar a performance de um equipamento de TDR com sondas segmentadas em condições de campo, utilizando como método de referência a tensiometria, foram conduzidos experimentos em dois períodos de anos consecutivos, com a coleta de valores da umidade do solo e da respectiva leitura do TDR, em 48 baterias compostas de uma haste de TDR de cinco segmentos e um tensiômetro para cada segmento, dispostas em uma transeção em um Latossolo Vermelho-amarelo no campus da ESALQ/USP em Piracicaba/SP. Embora trabalhosa, a tensiometria mostrou-se suficiente como método de referência para a umidade no

campo, pois sua metodologia é bem estabelecida e seu funcionamento não influencia nem é influenciado pelo TDR. As umidades observadas, obtidas a partir do potencial matricial e das curvas de retenção, mostraram padrão de variação semelhante entre os dois períodos, ao contrário das leituras do TDR, que exibiram médias e amplitudes pouco correspondentes entre os pontos num período e noutro. A correlação entre a umidade e a leitura do TDR foi em geral bastante reduzida e quanto mais restrito o conjunto analisado, como por haste ou segmentos, melhores resultados foram obtidos. As curvas de calibração mostraram grande variabilidade entre segmentos, tanto para o coeficiente de determinação como para o padrão da resposta, expresso pelo coeficiente angular das retas. Ajustes efetuados com os dados agrupados por haste ou por camada exibiram aumento da dispersão e forte diminuição do coeficiente de determinação. As retas de calibração também exibiram padrões diferenciados entre os períodos e ajustes com os dados dos dois conjuntos mostraram-se em geral ruins. Não foi possível identificar nenhum padrão para as variações da calibração ao longo da transeção, para algumas camadas houve indícios de dependência espacial, mas nenhuma relação definida com os atributos físicos determinados foi encontrada. Os resultados deste trabalho vêm complementar outros estudos reportados na literatura, mostrando que a aplicabilidade deste modelo de TDR segmentado é praticamente inviável, pois as variações da resposta do TDR são muito grandes entre as várias hastes ou mesmo entre segmentos de uma mesma haste, ou ainda entre os dois períodos. O trabalho também mostra a importância de estudos no campo para a validação de novos métodos ou equipamentos de determinação da umidade do solo.

FIELD EVALUATION OF TDR MULTILEVEL PROBE FOR SOIL WATER CONTENT MEASUREMENT

Author: ROGERIO CICHOTA

Adviser: Prof. Dr. QUIRIJN DE JONG VAN LIER

SUMMARY

Among many methods to assess soil water content, time domain reflectometry (TDR) is of recent interest due to its many desirable features as real-time method allowing automation. On the other hand, the equipment is expensive and needs calibration. More studies about its field performance are also required. With the objective of evaluating a TDR device with multilevel probes at field conditions, using tensiometry as reference method for soil water content, two experiments were conducted in consecutive years, by collecting values of soil water content and the respective TDR response in 48 batteries, that were made up of a TDR probe with 5 segments and a tensiometer for each segment, installed in a Red-yellow Oxisol (Hapludox) at the ESALQ/USP campus in Piracicaba/SP - Brasil. Although laborious, tensiometry showed to be a good reference to assess soil water content, because its methodology is well established and its functioning does not influence nor is influenced by the TDR. Soil water content obtained by matric potential and retention curves showed similar patterns in both periods, contrasting with TDR

response that did not exhibit correspondence for average or range of measures between periods. The correlation between soil water content and TDR response was in general very small, and smaller data sets, per probes or per segment, showed better correlations. The calibration curves showed much variability among segments, both for the determination indexes and the response pattern. Data fitting per probe or level showed increased dispersion and strong reduction for determination indexes. Calibration also showed different patterns between periods and fitting with data from both periods were in general bad. It was not possible to identify tendencies for variations of calibration along the transect, nor correlation with other soil attributes. These results complement other studies reported in the literature, showing that this type of probe is hard to be used, due the high variations among probes or even among segments of one probe, besides of variations in time. The importance of field studies for validation of new methods or devices for soil water content measurements are also presented.

1 INTRODUÇÃO

O estudo de métodos e equipamentos para a quantificação do teor de água no solo sempre teve grande relevância, tanto no aspecto científico como também no aspecto econômico, dada a importância da água no crescimento e rendimento das plantas e suas implicações em várias das propriedades físicas do solo.

Um método de quantificação ideal deve basear-se numa propriedade física do solo dependente apenas do conteúdo de água e também deve ser simples de ser executado, produzindo resposta diretas, rápidas e confiáveis. Além disso, não pode trazer riscos ao operador ou ao ambiente, e ser de custo acessível.

Várias são as proposições para a determinação da umidade, ou teor de água, do solo, porém nenhuma consegue satisfazer todas as necessidades e requisitos básicos para que se torne o método ideal. O que resta à pesquisa é continuar aprimorando estas várias propostas, reduzindo, eliminando ou contornando os pontos negativos. Dos vários métodos existentes, a reflectometria no domínio do tempo, ou reflectometria de microondas – TDR (time domain reflectometry), vem despertando muito interesse ultimamente, devido principalmente à possibilidade de leituras em tempo real e automatizadas. O método baseia-se na relação que existe entre a umidade do solo e sua constante dielétrica, porém ainda guarda dois principais problemas: o custo elevado dos equipamentos, devido principalmente à eletrônica sofisticada para medição do tempo da ordem de nanossegundos, e a necessidade de calibração. Neste último aspecto têm-se várias pesquisas tentando encontrar uma relação entre a umidade do solo e a leitura do aparelho, porém nenhuma ainda é utilizável universalmente sem um procedimento de verificação. Muitas vezes utiliza-se uma relação matemática particular ao solo ou experimento, sem tentativas de generalizações. O surgimento de modelos diferenciados de equipamentos

também pode implicar numa mudança do comportamento da resposta do aparelho à umidade do solo e uma calibração universal torna-se muito mais difícil.

A calibração, ou sua validação, no campo, bem como o comportamento desta frente à variabilidade natural do solo ainda são pouco estudados. Resultados de um estudo deste tipo poderiam lançar mais luz sobre a aplicabilidade desta técnica. A calibração no campo é interessante pois é realizada com o solo em sua condição natural, com sua estrutura e variabilidade originais. No entanto, o problema principal desta calibração é obter os dados de umidade com os quais será efetuado o ajuste da curva de calibração. O método de referência para determinação de umidade é o método gravimétrico, porém, por ser destrutivo, este método não permite a realização de muitas repetições, o que torna o ajuste final mais difícil. O uso de outro método indireto poderia possibilitar várias repetições, por outro lado a calibração deste método pode propagar erros na leitura a ser usada como referência. O uso da tensiometria para estimar a umidade parece ser uma boa possibilidade, pois apesar de ser trabalhosa, a metodologia para a determinação do teor de água no solo através da curva de retenção com as medidas do tensiômetro é bem estabelecida, possibilitando medições mais pontuais que a sonda de nêutrons, por exemplo, e não influencia nem é influenciada pelo funcionamento do dispositivo de TDR.

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar o desempenho de um equipamento de TDR com sondas segmentadas em condições de campo, buscando identificar variações do comportamento do equipamento de TDR frente a variabilidade natural do solo e ao longo do tempo, verificando suas implicações na calibração do aparelho. Também objetivou-se estudar a viabilidade da calibração no campo de um aparelho de TDR através do uso da tensiometria como método de referência.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 MEDIÇÕES E CALIBRAÇÃO

Praticamente todo trabalho científico na área das ciências agrônômicas, assim como em muitas outras, está relacionado à determinação de grandezas e das relações entre grandezas. As grandezas físicas são medidas por instrumentos para serem comparadas entre si ou a outras de interesse da pesquisa e para isso devem estar em conformidade com algum padrão, ou seja, as medições devem ser relativas a uma medida materializada ou a um sistema de medição estabelecido (Barthem, 2001).

A expressão de uma medição requer pelo menos duas notações: o número, que representa a quantidade mensurada, e a unidade, que expressa o padrão de referência utilizado. Como normalmente a medição está sujeita a desvios relativos ao instrumento ou à operação de medição em si, ao que se denomina acaso, um outro membro pode ser adicionado na expressão do resultado da medição: uma estimativa dos erros, normalmente o desvio padrão (Vuolo, 1996; Pimentel-Gomes, 2000).

As grandezas físicas básicas (massa, distância, etc.) assim como, algumas grandezas derivadas (pressão, voltagem, etc.) e de uso generalizado na sociedade possuem padrão internacional e órgãos que referendam os instrumentos e equipamentos de medição destas grandezas. Métodos de medição alternativos ou ainda medições de grandezas de interesse em áreas mais restritas, especialmente em pesquisa, não apresentam em geral padrões definidos e a aferição de suas leituras requer procedimento específico. O surgimento de novos métodos e equipamentos também requer que se verifique a correspondência de suas medidas com aquelas

consideradas de referência. Quer sejam tradicionais, alternativos ou novos, os equipamentos e métodos de mensuração, para uso com segurança e confiabilidade mínimas, devem passar pelo processo denominado de calibração.

Calibração é o conjunto de operações que visam estabelecer, sob condições específicas, a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição ou sistema de medição, valores representados por uma medida materializada ou um material de referência, e os valores correspondentes das grandezas estabelecidas por padrões. Suas finalidades principais são a apuração da confiabilidade das medições e a seleção ou o teste de viabilidade do uso de um instrumento ou sistema de medição (Sebrae, 2001).

O processo de calibração consiste basicamente na coleta de dados (leitura) do aparelho ou sistema a ser calibrado; da coleta dos respectivos valores de referência e da análise da relação entre elas. Esta análise fornece a relação matemática ou estatística entre o valor de referência e a leitura do dispositivo calibrado, em adição, e talvez mais importante ainda, fornece a estimativa dos erros de medição. Erro é entendido como a diferença do valor medido para o valor real, que não pode ser conhecido e cuja estimativa é feita com base no valor de referência (Vuolo, 1999). A quantificação dos erros possibilita estimar a incerteza atribuível à medição, ou seja, caracterizar a dispersão dos valores medidos atribuível ao mensurando (Vuolo, 1999).

2.2 UMIDADE DO SOLO

A água é uma substância que se apresenta em grande quantidade no planeta Terra. Apesar de ser um composto simples, sua importância na definição do aspecto físico e especialmente biológico da Terra é enorme. A vida simplesmente não é possível sem ela. Sua estrutura química, como molécula polar, lhe permite agir como solvente universal e aderir às superfícies, bem como em outras moléculas de água. Daí surgem as forças de adesão e coesão, donde deriva, nas interfaces sólido-líquido-gás, o fenômeno da capilaridade, responsável principal pelo poder de penetração da água em meios porosos e de sua retenção nos poros.

O solo é um meio poroso granulado composto basicamente de rochas degradadas, matéria orgânica, ar e água. A fração sólida, ou matriz do solo, apresenta variações bastante lentas no tempo, ao passo que as quantidades de ar e água que preenchem os interstícios dos poros variam com facilidade e rapidez. A água no solo é retida pelas superfícies dos sólidos, por interações elétricas basicamente, com força grande, mas restrita às proximidades das superfícies. Ela também pode se retida por forças capilares, inversamente proporcionais ao diâmetro dos poros (ver, por exemplo, Libardi, 2000). Assim, a água no solo pode apresentar-se fortemente presa às superfícies ou em poros microscópicos, ou até praticamente livre de interações com os sólidos, nos macroporos. A faixa entre a quantidade de água que é retida pelo solo por no mínimo alguns dias contra a força gravitacional e aquela em que as plantas ainda conseguem extraí-la do solo contra as forças capilares é, em geral, a de maior interesse para as pesquisas agrônômicas e onde os equipamentos de quantificação da água do solo devem atuar com mais eficiência. Quanto maior a faixa de uso de um aparelho melhor ele será considerado.

O conteúdo de água de um solo é um de seus atributos mais importantes, e um dos mais variáveis. O deslocamento e reciclagem de vários elementos químicos, o desenvolvimento dos processos bioquímicos do solo, o crescimento das plantas e uma série de outras propriedades físicas do próprio solo como densidade, resistência à penetração, tensão de cisalhamento, etc., são significativamente influenciadas pelo teor de água. Sua quantificação é portanto de grande relevância para um amplo conjunto de disciplinas.

Em geral não é conveniente trabalhar-se com a quantidade absoluta de água no solo, mas sim com uma forma intensiva de expressá-la, a qual denomina-se teor de água ou umidade do solo. Pode-se ainda expressar a umidade em base de massa (U , kg kg^{-1}) ou em base de volume (θ , $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), que é a forma mais usual (Gardner, 1986; Dirksen, 1999):

$$U = \frac{m_a}{m_s} \quad (1)$$

$$\theta = \frac{V_a}{V_s} \quad (2)$$

Nessas equações, m_a (kg) é a massa de água no solo, m_s (kg) é a massa de solo seco, V_a (m^3) é o volume de água no solo e V_s (m^3) é o volume total do solo. Sendo conhecidas as massas específicas do solo (ρ_s , $kg\ m^{-3}$) e da água (ρ_a , $kg\ m^{-3}$), as duas formas de expressar a umidade podem ser relacionadas conforme eq. (3):

$$\theta = U \cdot \frac{\rho_s}{\rho_a} \quad (3)$$

2.3 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO

Os métodos de determinação do conteúdo de água no solo são comumente divididos em métodos diretos e indiretos.

Os métodos diretos ou gravimétricos baseiam-se na pesagem de amostras de solo úmido e depois da secagem, que pode ser realizada em estufa ou num forno de microondas (Cauduro & Dorfman, s.d; Gardner, 1986). A diferença entre as duas medidas representa a massa de água presente naquela amostra. Presume-se que esta proporção represente a condição do solo no momento da coleta da amostra. Com a quantificação destas massas determina-se a umidade gravimétrica (U) do solo e caso a densidade do solo ou o volume da amostra também for conhecida pode-se obter a umidade volumétrica (θ) pela equação (3).

Este método é simples e barato, além de ser bastante preciso, motivo pelo qual é considerado método de referência. Porém, é um método trabalhoso, que demanda certo tempo entre a coleta da amostra e a obtenção do resultado, além de ser um método não automatizável e destrutivo: uma amostra deve ser retirada do campo e levada ao laboratório, o que impossibilita repetições num mesmo ponto.

Os métodos indiretos utilizam uma propriedade física do solo que é dependente da quantidade de água presente nele (Gardner, 1986). Há vários processos e equipamentos que permitem a determinação indireta do teor de água do solo, como por exemplo os métodos elétricos (resistência ou a capacitância do solo), os métodos térmicos (condutividade térmica), os

métodos radioativos (atenuação de nêutrons rápidos ou de raios gama), a tensiometria (potencial matricial) e a reflectometria no domínio do tempo (constante dielétrica relativa), entre outras.

A grande vantagem dos métodos indiretos e não destrutivos é a repetibilidade da leitura num mesmo ponto, pois após serem instalados permanecem utilizáveis por certo tempo, sem a necessidade de revolver o solo. Muitas vezes também podem ser automatizados. Porém as propriedades utilizadas por estes métodos não são unicamente dependentes do conteúdo de água do solo e quando a mineralogia, o teor de sais, a densidade ou a temperatura variam, a relação entre a resposta do aparelho e a umidade do solo pode ser alterada. O estudo de novos métodos ou aparelhos de medição e uma calibração bem feita são expedientes que proporcionam a aplicabilidade destes métodos.

2.4 TENSIOMETRIA

A energia potencial da água no solo não saturado é menor do que se estivesse livre, fora da influencia da matriz do solo, no mesmo nível gravitacional. Esta diferença energética é provocada principalmente pela ação de três forças que se opõe à gravidade e a evaporação para manter a água no solo. Estas forças são a adesão aos componentes sólidos do solo; a capilaridade, devido às forças de coesão entre as moléculas de água e de adesão entre estas e os vários constituintes do solo, e a atração osmótica causada pela diferença de concentração iônica entre dois pontos (Dirksen, 1999). Dessa forma diz-se que a água fica “retida” no solo.

O estado de energia com que a água encontra-se retida num meio poroso, como o solo, pode ser descrito pelo seu potencial (ψ), que pode ser expresso de forma intensiva em função da massa (J kg^{-1}) ou do peso, para convenientemente ter unidade de altura ($[h] = \text{J N}^{-1} = \text{m}$) ou em função do volume, tendo unidade de pressão ($[p] = \text{J m}^{-3} = \text{Pa}$). Estas duas últimas unidades são convenientes para serem usadas em relações entre profundidades e distâncias e também são as unidades utilizadas pelos equipamentos de medição. A relação entre os dois meios equivalentes de expressar o potencial da água no solo é dada pela eq. (4).

$$p = \rho_a \cdot g \cdot h \quad (4)$$

Onde ρ_a representa a massa específica da água (kg m^{-3}) e g a aceleração gravitacional (m s^{-2}).

O potencial total da água no solo pode ser sub-dividido em alguns componentes distintos: os potenciais gravitacional, de pressão, osmótico e matricial.

O potencial da água e sua relação com o conteúdo de água são uma parte fundamental da caracterização das propriedades hidráulicas de um solo (Klute, 1986). O estado energético com que a água se encontra retida no solo é muito mais importante que a quantidade para a determinação do seu movimento e dos solutos no solo e deste para as plantas (Cassel & Klute, 1986). Os primeiros estudos sobre as relações entre o teor de água no solo e o potencial matricial surgiram no início do século XX. Gardner et al. (1922) propuseram um equipamento com uma cápsula porosa de cerâmica e um manômetro para efetuar a medição do potencial da água no solo. Desde então estudos vêm comprovando esta técnica e novas variações surgiram, mas a essência do tensiômetro continua a mesma.

O uso da tensiometria é bastante difundido em várias áreas de pesquisa em física do solo (Bruce & Luxmoore, 1986; Klute & Dirksen, 1986; Dirksen, 1999), bem como em sistemas de controle de irrigação (Pessoa, 1983; Bruce & Luxmoore, 1986). A elevada variabilidade do potencial matricial não é um fator crítico para a sua utilização na determinação da umidade do solo via curva de retenção (Marciano et al., 1998).

O tensiômetro é composto basicamente por um recipiente fechado cheio d'água com uma cápsula porosa em uma extremidade que é inserida no solo. Como o potencial muda com a variação da quantidade de água no solo, a água do tensiômetro flui para fora quando o potencial diminui e para dentro quando este aumenta. O movimento da água através da cápsula proporciona equilíbrio entre a energia no solo e no interior do tensiômetro pela ocorrência de variações na pressão do interior deste que é medida por um manômetro. Com o equilíbrio estabelecido obtém-se a altura ou a pressão que corresponde ao potencial da água no solo.

Figura 1 - Diagrama de um tensiômetro com manômetro de mercúrio.

As maiores variações entre tipos diferentes de tensiômetros estão principalmente no manômetro. Os manômetros de coluna de água são mais precisos, pois uma pequena variação no potencial gera uma grande variação na altura da coluna. Se ao invés de água for utilizado mercúrio (Figura 1), a sensibilidade aumenta por um fator de 12,5, porém a precisão decai na mesma razão. Outros tipos de manômetros e transdutores podem ser usados, existindo vários modelos, que podem apresentar grande sensibilidade e precisão, porém são muito mais caros, necessitam calibração, manutenção, e sua resposta é influenciada pela temperatura mais significativamente que os manômetros de água e mercúrio. Assim, em experimentos de campo utiliza-se normalmente o modelo com manômetro de mercúrio (Dirksen, 1999).

Para tensiômetros com manômetro de mercúrio calcula-se o potencial matricial (ψ_m , m) em função da ascensão do mercúrio (L , m) pela equação:

$$\psi_m = -12,5L + h_c + Z \quad (5)$$

onde h_c (m) é a altura da cuba e Z (m) a profundidade de instalação do tensiômetro.

O tempo de resposta de um tensiômetro depende de fatores como a condutância da cápsula e sua instalação no solo (Klute & Gardner, 1965; Dirksen, 1999). Quanto maior a

condutância menor será o tempo de resposta, e em solos com muito baixa condutividade ou no caso de um contato ruim com o solo, por má instalação ou em solos muito expansivos, o tempo de resposta aumentará e pode comprometer a medição. Quanto menor o volume de água necessário a ser trocado para estabelecer o equilíbrio entre solo e tensiômetro, menor será o tempo de resposta. Alguns transdutores fornecem leituras quase instantâneas, ao passo que manômetros de água são os mais demorados (Dirksen, 1999).

À temperatura ambiente, em torno de 25°C, a água entra em ebulição quando a pressão do ar reduz-se a 3 kPa, o que equivale, ao nível do mar, a uma pressão relativa à atmosférica de -95 kPa. Na prática, admite-se um funcionamento confiável até -80 a -90 kPa (Klute, 1986, Arruda et al. 1987). A variação das leituras aumenta quando o potencial fica mais negativo. A formação de bolhas de ar na água do tensiômetro é prejudicial ao correto funcionamento do tensiômetro e por esse motivo a água utilizada deve ser deaerada, o material de confecção deve ser impermeável e ainda evita-se trabalhar em condição muito seca. Caso formem-se bolhas deve-se fluxar o tensiômetro, ou seja, trocar a água expulsando as bolhas. Para diminuir os erros pelo efeito da temperatura, o manômetro no campo deve estar protegido da luz direta do sol e ainda é aconselhável efetuar as leituras preferencialmente ao longo do tempo na mesma hora do dia.

Para transformar as medições do potencial matricial do tensiômetro em umidades é necessário conhecer a relação entre o potencial matricial e o teor de água de um solo, que é descrita pela curva de retenção da água no solo.

Para confecção da curva de retenção obtém-se pares de dados de umidade e potencial da água, em geral utilizando-se amostras montadas em laboratório ou coletadas indeformadas num local representativo do terreno. Estas amostras são submetidas a tensões ou pressões conhecidas e, por meio de pesagem, determina-se a umidade correspondente. Para potenciais pequenos, a tensão pode ser facilmente aplicada por uma coluna d'água em desnível (Figura 2a), utilizando-se placas porosas ou outro material poroso que proporcione bom contato e entre em equilíbrio com a amostra de solo. A areia fina pode ser um bom material para tensões equivalentes a até 1,2 m (Dirksen, 1999). Para potenciais maiores equipamentos com placas

porosas e pressão controlada são utilizados (Figura 2b), como a câmara de Richards (Klute, 1986; Dirksen, 1999).

Existem vários modelos matemáticos que podem ser ajustados aos dados de umidade e potencial para descrever a curva de retenção (Bruce & Luxmoore, 1986). Um dos mais utilizados é o modelo descrito pela equação (6), conhecido como modelo de Mualem-van Genuchten (Mualem, 1976; van Genuchten, 1980), que relaciona a umidade a base de volume (θ) ao valor absoluto do potencial matricial ($|\psi_m|$):

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 - (\alpha \cdot |\psi_m|)^m]^n} \quad (6)$$

Este modelo considera um patamar mínimo para umidade (θ_r), a umidade residual, geralmente não nulo, que é atingido em potenciais infinitamente negativos, e um patamar máximo, θ_s (umidade de saturação), atingida com potencial matricial nulo. Estes dois parâmetros podem ser mensurados ou estimados e os parâmetros empíricos α , m e n são estimados por regressão. Este modelo é bastante utilizado por apresentar bom desempenho, mas como em qualquer modelo, a extrapolação de valores para fora da faixa observada deve ser feita com cautela.

A retenção de água no solo, assim como outras propriedades hidráulicas, apresenta variabilidade elevada (Souza & Reichardt, 1996; Marciano et al., 1998). Ao se confeccionar a curva de retenção de um solo podem ocorrer erros consideráveis se poucas amostras forem utilizadas, ou se elas forem mal coletadas ou mal trabalhadas. A variância das leituras e a variabilidade espacial devem sempre ser preocupação em trabalhos com a curva de retenção (Bruce & Luxmoore, 1986; Cassel & Klute, 1986). A rotina de laboratório para determinação dos pontos para compor a curva de retenção também deve ser executada com cuidado. Um mau contato das amostras com as placas porosas e falhas na determinação do volume ou da umidade correspondente a certo potencial podem alterar sensivelmente o padrão final da curva obtida ou aumentar a dispersão dos pontos, e em consequência a variância ou a incerteza da relação. Descrições mais detalhadas destas rotinas, bem como da amostragem podem ser encontradas na literatura (Cauduro & Dorfman, s.d; Klute, 1986; Dirksen, 1999).

Figura 2 - Equipamentos laboratoriais para determinação da curva de retenção da água no solo, (a) funil com placa porosa, (b) câmara de Richards.

2.5 REFLECTOMETRIA NO DOMÍNIO DO TEMPO

Qualquer material, puro ou composto, pode ser descrito e ter seu estado caracterizado por algumas grandezas físicas (massa, volume, temperatura, umidade, etc.). Nesse sentido o comportamento dielétrico de um dado material é descritível pela sua permissividade (ϵ , expressa em $F\ m^{-1}$), ou, como é mais comum, pela permissividade relativa ou constante dielétrica (k), que é a razão da permissividade do material pela do vácuo ($8,854 \cdot 10^{-12}\ F\ m^{-1}$). O nome “constante dielétrica” não é muito apropriado pois essa propriedade é bastante variável, função da frequência, da temperatura, da umidade, etc. do material (Dirksen, 1999). A permissividade relativa indica em quanto aumenta a capacitância de um capacitor ao substituir o vácuo como meio dielétrico pelo material em questão (Tomaselli, 1997).

A permissividade como uma característica eletromagnética pode ser expressa matematicamente por um número com uma parte real (ϵ' ou k') e outra imaginária (ϵ'' ou k''):

$$\epsilon = \epsilon' + j\epsilon'' \quad \text{ou} \quad k = k' + jk''$$

Para o solo, considerando frequências altas da ordem de 10^6 Hz, a parte imaginária pode ser desprezada e então a permissividade de um material pode ser conhecida pela mensuração apenas de sua parte real (Tomaselli, 1997). As teorias do eletromagnetismo fornecem também a relação expressa na equação (7), onde a velocidade de um pulso eletromagnético (v , em m s^{-1}) em um meio condutor é dada pela razão da velocidade da luz no vácuo ($c = 3.10^8 \text{ m s}^{-1}$) e a raiz quadrada da permissividade relativa do material circundante (k).

$$v = \frac{c}{\sqrt{k}} \quad (7)$$

Esta relação mostra que as interações eletromagnéticas com o meio retardam o pulso, ou seja, extraem parte de sua energia. Quantificar esta perda e conseqüentemente determinar a permissividade relativa exige dispositivos com precisão suficiente para medir velocidades de ordem de grandeza semelhante à da luz. Se através de uma haste metálica de comprimento L for emitido um pulso de voltagem, ele irá se propagar até o final da haste onde encontrará um estrangulamento eletrônico, causado pela mudança de impedância, e um pulso ressonante irá retornar até o início. Medindo o tempo t transcorrido entre a emissão do pulso e a recepção do eco pode-se determinar a velocidade de propagação (eq. (8)) e assim a permissividade dielétrica relativa do meio que contém a haste (eq. (9)). Este é o princípio de funcionamento da reflectometria no domínio do tempo.

$$v = \frac{2.L}{t} \quad (8)$$

$$k = \left(\frac{c.t}{2.L} \right)^2 \quad (9)$$

A medição da constante dielétrica dos materiais encontrou aplicações já no começo do século XX, inicialmente nas pesquisas físicas e químicas e posteriormente em disciplinas aplicadas da engenharia, especialmente em algumas áreas da eletrônica, como em testador de cabos telefônicos, por exemplo. Investigações a cerca da interação da transmissão de ondas de rádio e o meio ambiente mostraram as primeiras relações entre os vários materiais e a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas. No solo estudou-se o comportamento destas transmissões e a sua relação com a umidade, temperatura e conteúdo de sal nos solos,

inclusive com a variação das frequências utilizadas. Destes estudos surgiram as primeiras iniciativas de utilizar a medição da constante dielétrica para a determinação da umidade em meios porosos (Fletcher, 1939). A Tabela 1 exibe o valor da permissividade relativa de alguns materiais, onde se pode observar que a permissividade da água é muito superior à dos outros materiais constituintes do solo, fazendo com que a permissividade relativa aparente do solo seja definida basicamente pelo seu teor de água.

Tabela 1. Permissividade relativa de alguns constituintes do solo.

Material	Permissividade relativa
Ar	1
Água (20°C)	80
Gelo (-3°C)	3
Basalto	12
Granito	7-9
Silte seco	3,5
Areia seca	2,5

Fonte: Curtis & Defandorf, 1929, in Noborio, 2001.

O procedimento de medida da constante dielétrica usando reflectometria no domínio do tempo, no entanto, somente foi introduzido em 1969 por Fellner-Feldegg, e o uso deste procedimento para determinação da quantidade de água no solo por Davis e Chudobiak (1975). Vários estudos posteriores contribuíram para uma melhor compreensão das interações das várias características e propriedades do solo com seu comportamento dielétrico (Hipp, 1974; Hoekstra & Denaley, 1974; Baker & Lascano, 1989).

Trabalhos posteriores vêm apurando o conhecimento do uso desta técnica em equipamentos para determinação de umidade e seu relacionamento com o comportamento dielétrico dos solos. Os estudos procuram verificar a existência de influências na resposta dos equipamentos frente às mudanças na permissividade do solo induzidas em função de variações nos atributos físico-químicos do solo.

Os relatos são por vezes contraditórios, alguns afirmando que há influências significativas e outros assegurando ser negligenciável o efeito da variação dos atributos do solo. O que se percebe é que alguns tipos de solo, por sua constituição físico-química, tornam seu comportamento dielétrico mais sensível a variações na granulometria, densidade ou constituição químico-mineralógica. De um modo geral, a densidade do solo não se apresenta como um fator restritivo ao uso desta técnica. Sua influência é pequena para a maioria dos solos, sendo importante em solos expansivos. (Topp et al., 1980; Sabburg et al., 1997; Noborio, 2001). Um problema com relação à densidade é a instalação do equipamento, pois perturbações no entorno das hastes podem alterar sensivelmente o desempenho do equipamento de TDR (Dasberg et al., 1995; Bridge et al., 1996). A granulometria também pode afetar a relação da umidade e a permissividade aparente do solo, o que pode ser explicado pela influência da mineralogia, em especial das argilas, na permissividade da água no solo. A influência do teor de argila é associada à retenção da água na superfície das partículas, de modo que a permissividade da água é reduzida (Topp et al., 1980; Dirksen & Dasberg, 1993; Bridge et al., 1996; Chudinova & Ponizovskii, 1998; Ponizovsky et al., 1999). O efeito da estrutura do solo no comportamento da permissividade do solo parece ser negligenciável (Keng & Topp, 1983). Também verificaram-se variações importantes no comportamento dielétrico do solo em ambientes tropicais, onde os solos possuem alto teor de óxidos de ferro e alumínio, mas essas interações ainda não são muito bem conhecidas (Dirksen & Dasberg, 1993; Robinson, 1994; Tomaselli, 1999). O efeito do teor de sal também mostrou-se pouco significativo, sendo importante apenas se for muito elevado (Topp et al., 1980; Dasberg & Dalton, 1985). A presença de teores salinos, no entanto, altera o formato do sinal eletromagnético do TDR, permitindo assim a utilização do TDR para estimar a salinidade do solo ou ainda o movimento de solutos (Dalton & van Genuchten, 1986; Vogeler et al., 1996). A temperatura altera a permissividade dos materiais e assim também exerce influência no uso do TDR na determinação da umidade do solo. O grau de interferência da temperatura na permissividade aparente do solo é controverso, mas em geral pequeno; apenas em solos muito úmidos esta influência pode ser apreciável (Topp et al., 1980; Pepin et al., 1995; Or & Wraith, 1999).

Várias possibilidades do uso da técnica do TDR vêm sendo estudadas. Tipos de sonda ou haste, cabos e outros componentes do equipamento, assim como métodos para

automação da técnica foram pesquisados (Topp et al., 1982b; Topp & Davis, 1985; Herkelrath et al. 1991; Dasberg & Hopmans, 1992; Hook et al., 1992; Knight, 1992; Whalley, 1993; Dasberg et al., 1995; Hook & Livingston, 1995; Hook & Livingston, 1996; Huisman, 2001).

O equipamento utilizado para a determinação da permissividade dielétrica aparente do solo é constituído basicamente de um emissor de pulso, cabos, hastes (normalmente duas ou três) e um interpretador de sinal, que percebe a emissão do pulso eletromagnético e a chegada do pulso refletido, determinando assim o tempo de percurso (Figura 3). Uma característica importante que estimula o uso do TDR é o pequeno grau de perturbação do solo em sua instalação, porém quando se deseja conhecer a umidade em camadas mais profundas ou em várias camadas simultaneamente, é necessário cavar uma trincheira para atingir a profundidade desejada ou fazer uso de hastes modificadas. Para conhecer a permissividade relativa de uma certa camada do solo algumas sugestões foram apresentadas. Podem ser utilizadas hastes com segmentos de espessuras diferentes (Figura 4a), gerando vários pontos de reflexão do pulso eletromagnético, sendo porém bastante difícil a decodificação da resposta (Topp et al., 1980; Topp & Davis, 1985; Feng et al., 1999). Também é possível utilizar um conjunto de hastes com comprimentos diferentes (Figura 4b), onde a resposta para a camada entre o término de uma haste e outra é o resultado da diferença entre as respostas das hastes (Miyamoto et al., 2001). Ainda sugere-se o uso de diodos que proporcionam um curto circuito entre as hastes, o que produz a reflexão do pulso e portanto a identificação da camada (Figura 4c). O uso de diodos também proporciona uma melhora na interpretação da resposta do TDR, ou seja, na identificação dos momentos da emissão e recepção do pulso eletromagnético (Zegelin et al., 1989; Hook et al., 1992; Hook & Livingston, 1995). Com essa tecnologia surgiu o TDR de hastes segmentadas, que consiste de um conjunto de duas hastes subdivididas eletronicamente por diodos que delimitam a extensão dos segmentos. A leitura de cada segmento é feita pela emissão de um pulso e o fechamento de um diodo, seguida de outro pulso e o fechamento do diodo localizado no outro extremo do segmento. A diferença entre as duas leituras corresponde à leitura no segmento. Uma grande vantagem deste tipo de haste é a possibilidade de mensuração do perfil de umidade do solo com um mínimo de alteração na sua estrutura e com um único conjunto de hastes, o que facilita sua instalação e a medição em profundidade sem a necessidade de abertura de uma trincheira.

Figura 3 – Diagrama dos componentes básicos de um equipamento de TDR.

Figura 4 – Tipos de sondas de TDR que permitem identificar diferentes camadas (a) sonda com segmentos de diferentes bitolas, (b) sondas de diferentes comprimentos e (c) sonda segmentada eletronicamente por diodos.

Em 1980, Topp et al. propuseram uma relação empírica entre umidade do solo (θ) e constante dielétrica (k), que serviria para uma ampla gama de tipos e texturas de solos, motivo pelo qual esta relação ficou conhecida como “Equação Universal” de calibração do TDR:

$$\theta = 0,053 + 0,0229k - 0,00055k^2 + 0,0000043k^3 \quad (10)$$

Vários estudos mostraram concordância com este modelo de calibração (por exemplo, Topp et al., 1982a; Topp & Davis, 1985; Drungil et al., 1989; Grantz et al. 1990), por outro lado

diversos trabalhos relatam discordâncias, sendo então propostos outros modelos (Dobson et al., 1985; Ledieu, 1985; Hook et al., 1992; Jacobsen & Schjonning, 1992; Roth et al.; 1992; Dirksen & Dasberg, 1993; Young et al; 1997; Yu et al., 1997; Yu et al., 1999). Estes modelos podem ser empíricos, teóricos ou mistos. Verifica-se que nenhum dos modelos se ajusta adequadamente a todos os dados reais. Por isso é comum efetuar-se uma calibração particular para cada situação de uso, em especial quando uma acurácia maior é desejada.

A calibração pode ser efetuada por uma relação entre a umidade e a permissividade dielétrica, em geral uma relação polinomial, ou entre a umidade e o tempo mensurado pelo TDR, que resulta comumente em uma reta. Considerando que a permissividade dielétrica aparente do solo é o somatório ponderado (pelo volume) da permissividade de seus constituintes, é possível chegar a uma relação linear entre o teor de água do solo e o tempo medido pelo TDR (eq. (11)). Esta é a relação comumente utilizada para equipamentos de TDR com hastes segmentadas, mas outras relações lineares também são utilizadas.

$$\theta = \left(\frac{T_{tdr}}{T_{ar}} - \frac{T_s}{T_{ar}} \right) \cdot \frac{1}{(\sqrt{k_a} - 1)} \quad (11)$$

Nesta equação, T_{tdr} é o tempo medido pelo aparelho de TDR, T_{ar} é o tempo medido no ar, T_s é os tempo estimado para a leitura nos sólidos do solo e k_a a permissividade relativa da água.

A calibração no campo ou sua validação, além do comportamento da relação entre permissividade dielétrica e umidade frente à variabilidade natural do solo in situ ainda não são muito estudadas (Topp & Davis, 1985, Dasberg et al., 1995, Serrarens et al., 2000). A principal razão para isso é a dificuldade de se estimar a umidade simultaneamente por um outro método, sem interferir na leitura do TDR. Assim não é conhecido se há algum tipo de interação das características in situ do solo e a calibração do TDR, tanto em termos de variabilidade geral como em variabilidade espacial. Também é incógnito o grau de variação entre hastes instaladas em conjunto num mesmo terreno, nem seu comportamento ao longo do tempo. Um estudo neste sentido deve melhorar o conhecimento sobre a aplicabilidade desta técnica no campo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCAL

Visando a obtenção de leituras simultâneas do TDR e de tensiômetros, um experimento foi realizado em um terreno localizado no campus da ESALQ/USP, em Piracicaba, SP (coordenadas 22°42'30" S e 47°38'00" W). O solo do local, visualmente homogêneo, é um Latossolo Vermelho-amarelo, Álico, de textura média, e o relevo varia de suave ondulado a plano, com declividade inferior a 0,01 m m⁻¹. Os equipamentos de medição foram instalados em uma transeção seguindo aproximadamente uma linha de mesma cota, dispostos em 48 baterias, separadas de um metro entre si. Cada bateria foi composta por uma sonda segmentada de TDR e cinco tensiômetros (Figura 5) instalados a aproximadamente 0,10 m ao redor da haste do TDR, com o meio de suas cápsulas porosas nas profundidades de 0,075, 0,225, 0,375, 0,525 e 0,675 m, correspondendo à profundidade média de cada segmento do TDR.

O local, livre de plantas, foi todo coberto com lona plástica preta, num entorno de 10 m ao redor da transeção (Figura 6), tendo em vista que a instalação foi concebida para experimentos com o método do perfil instantâneo de determinação da condutividade hidráulica do solo (Mello Filho et al., 2002). Os manômetros de mercúrio e os conectores dos cabos do TDR ficavam no limite desta cobertura, estando ligados às baterias por meio de conduítes (Figura 7). Após a instalação determinou-se a altura da cuba (h_c , Figura 1 e eq. (5)) para cada bateria por meio de régua d'água.

Figura 5 – Disposição de cada conjunto ou bateria; sonda de TDR no centro e tensiômetros ao redor.

Figura 6 – Vista geral do experimento já coberto pela lona; à esquerda encontram-se os manômetros e os conectores dos cabos do TDR.

Figura 7 – Vista do experimento em fase de instalação, mostrando a disposição dos manômetros ao fundo e sua ligação com as baterias por meio de conduítes (posteriormente enterrados).

3.2 CURVAS DE RETENÇÃO

Objetivando a diminuição dos erros relacionados à variabilidade do solo, ao invés de utilizar uma curva para toda a área, foram confeccionadas 24 curvas de retenção ao longo da transeção para cada camada. Para isso, amostras de solo foram coletadas entre cada duas baterias e as respectivas curvas foram utilizadas para os dois pontos vizinhos, imediatamente anterior e posterior (Figura 8). Desta forma, a distância média entre o ponto de coleta das amostras para a confecção das curvas e a bateria de tensiômetros a que representa foi de 0,5 m. Para atingir as várias profundidades foi utilizado um trado com 0,15 m de diâmetro, confeccionado para abrir buracos com fundo plano (Figura 9). Utilizou-se um amostrador de Uhland com anéis com diâmetro de 0,046 m e 0,03 m de altura para fazer amostragens nas profundidades médias de 0,075, 0,225, 0,375, 0,525 e 0,675 m.

Depois de coletadas, as amostras foram protegidas por papel alumínio, numeradas, embaladas em saco plástico e guardadas em refrigerador até o momento de seu processamento.

Paralelamente foram coletadas amostras para determinação de alguns atributos físicos, os quais foram a densidade do solo, a densidade de partículas e os teores de argila, silte e areia, que poderiam estar relacionados a variações nas leituras do TDR.

Figura 8 – Esquema da disposição das baterias na transeção e da amostragem para confecção das curvas de retenção

Figura 9 – Trado para acesso a camadas profundas e amostrador de Uhland.

Os pares de dados para a confecção da curva característica de retenção de água no solo (tensão e umidade) foram obtidos no laboratório de física do solo do Departamento de Ciências Exatas da ESALQ/USP. Os dados correspondentes às tensões de 0,5; 1,0; 2,0; 4,0 e 6,0 kPa foram obtidos em caixa de areia (Figura 10), e os pontos de 10, 33, 50 e 100 kPa foram

obtidos em uma câmara de pressão de Richards, seguindo procedimento semelhante ao descrito por Klute (1986). De posse dos dados de tensão versus umidade ajustou-se o modelo de Mualem-van Genuchten (eq. (6)) aos dados. Para estimar os parâmetros do modelo foram utilizadas rotinas computacionais que utilizam o método estatístico da minimização dos quadrados dos erros (Sen & Srivastava, 1990)

A caixa de areia usada consistiu de num conjunto de caixa de plástico de 0,28 metros por 0,35 metros, com uma camada de areia (peneira 100) de 0,1 m de altura. Esta caixa é acoplada a um tubo de PVC de 1,20 m de comprimento, contendo a mesma areia, ligado por uma mangueira a um tubo de vidro escalonador de tensões (Figura 10), funcionando por equilíbrio entre o potencial matricial (areia e solo) e o gravitacional (escalonador de tensões), de forma semelhante a um funil de tensão ou uma mesa de tensão.

A determinação da densidade do solo foi efetuada pelo procedimento clássico com coleta de amostra indeformada e secagem em estufa, enquanto a densidade dos sólidos seguiu procedimento do balão volumétrico, conforme descrito em Cauduro & Dorfman (s.d.). A granulometria foi determinada pelo método da pipeta. Estas análises também foram efetuadas no laboratório de física do solo do Departamento de Ciências Exatas da ESALQ/USP.

Figura 10 – Esquema da caixa de areia utilizada para a determinação da umidade das amostras para potenciais matriciais de -0,05 a -0,40 kPa.

3.3 EQUIPAMENTOS

O dispositivo de TDR que foi utilizado é produzido pela ESI (Environmental Sensors Inc., Victoria, BC, Canadá), sendo denominado Moisture Point, modelo MP-917, com hastes, ou sondas, divididas eletronicamente em cinco segmentos de 0,15 m cada (Figura 11). A leitura efetuada por este equipamento corresponde à permissividade aparente do solo integrada ao longo de cada segmento, ou seja, estima a umidade para a camada de espessura igual a do segmento. Cada haste é composta por duas guias metálicas unidas por seis diodos, que delimitam os segmentos, e pela fiação que os controla, tudo inter-guias e encapsulado por resina epóxi. O módulo de leitura, que emite, recebe e interpreta o pulso eletromagnético, bem como

controla o abrir e fechar dos diodos, é portátil, fornecendo leituras em nanossegundos para cada segmento em seqüência. A ligação entre as hastes e o módulo de leitura é feita por cabos coaxiais para o pulso eletromagnético e cabos de cobre para controle dos diodos. Os princípios de funcionamento deste tipo de sonda podem ser encontrados na literatura (Zegelin et al., 1989; Livingston & Hook, 1996) ou na página da empresa na internet (<http://www.esica.com>).

Devido à disposição entre as hastes de seus componentes, diodos e os fios que os controlam, a leitura inicial obtida pelo TDR deve ser corrigida. A correção é simples e determinada pela equação (12), onde o tempo corrigido (T_c) é obtido a partir do tempo medido (T_m) dividido por um fator c_1 e diminuído de c_2 , cujos valores são específicos para cada segmento. A Tabela 2 expõe os valores dos parâmetros utilizados na correção das leituras do aparelho de TDR fornecidos pelo fabricante. Os segmentos são descritos por letras em ordem alfabética de cima para baixo.

$$T_c = \frac{T_m}{c_1} - c_2 \quad (12)$$

Tabela 2. Valores dos parâmetros usados na equação de correção das leituras do TDR, equação (12), fornecidos pelo fabricante.

Segmento/camada	Profundidade (m)	c_1	c_2
A	0 – 0,15	0,659	1,013
B	0,15 – 0,30	0,658	1,136
C	0,30 – 0,45	0,627	0,611
D	0,45 – 0,60	0,693	0,897
E	0,60 – 0,75	0,679	0,937

Os tensiômetros utilizados possuíam manômetros de mercúrio sendo construídos em tubo de PVC com cápsulas de cerâmica porosa, testadas para garantir que possuíssem pressão de borbulhamento superior a 80 kPa.

A instalação dos equipamentos de TDR seguiu procedimento recomendado pelo fabricante, onde é inserida no solo uma guia metálica que é substituída pela haste. A guia possui dimensões levemente inferiores às da haste, o que concorre para que haja um bom contato desta

com o solo. Um procedimento semelhante foi seguido para os tensiômetros, com a utilização de um trado para fazer o furo guia. Uma descrição dos procedimentos utilizados na instalação dos tensiômetros pode ser encontrada em Bruce & Luxmoore (1986). Para prevenir ainda mais quaisquer problemas de contato das sondas TDR ou das cápsulas dos tensiômetros com o solo, a instalação foi efetuada cerca de 60 dias antes do início da coleta da primeira série de dados.

Figura 11 – Equipamento de TDR - emissor de pulso/leitor, cabos e sonda, no detalhe vê-se os segmentos de cada haste.

3.4 COLETA DOS DADOS

Foram coletados dois conjuntos de dados compostos da leitura do aparelho de TDR e da leitura do manômetro de mercúrio. O primeiro conjunto corresponde ao período de observação no ano de 2000, entre os dias 19 de julho e 15 de agosto, o segundo ao período em 2001, entre os dias 03 de outubro e 22 de novembro. A umidade foi obtida utilizando-se as curvas características de retenção de água no solo obtidas em laboratório. As leituras foram tomadas simultaneamente, ponto a ponto, de forma a representarem a condição do solo no mesmo

instante. O horário de leitura foi preferencialmente o início da manhã, e o intervalo entre as leituras foi de poucas horas inicialmente e aumentou no transcorrer do experimento, chegando a ser de alguns dias no final. Como a área experimental ficou coberta por lona plástica, não foi possível resolver eventuais problemas com os tensiômetros ou com as hastes do TDR, resultando na perda das observações em alguns pontos, como será visto mais adiante.

3.5 CALIBRAÇÃO

As equações para relacionar o teor de água no solo com as leituras do equipamento de TDR basearam-se num modelo de regressão linear simples:

$$\theta = a + b.T_{\text{TDR}} \quad (13)$$

Foram utilizados os valores de umidade em base de volume (θ , $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e a leitura corrigida do TDR (T_{TDR} , ns), para estimar os parâmetros da equação (13) (a e b) pelo método dos quadrados mínimos (Sen & Srivastava, 1990), atribuindo pesos iguais a todos os pontos. Paralelamente foram feitos ajustes polinomiais, buscando verificar desvios sistemáticos em relação ao modelo linear.

Além dos modelos linear e polinomial, também foi testada a adequação dos dados à chamada equação universal (eq.(10)) (Topp et al, 1980), utilizando os valores de permissividade relativa do solo obtido a partir das leituras do TDR aplicadas na equação (9), e à equação sugerida pelo fabricante do equipamento, baseada no modelo da equação (11):

$$\theta = \frac{T_{\text{TDR}} - 1,55}{(\sqrt{80,32} - 1)} \quad (14)$$

Foram efetuados ajustes de calibração para cada ponto, com todos os segmentos de cada haste, bem como de cada segmento de haste separadamente, e por camada utilizando todos as hastes em conjunto. Estes ajustes foram efetuados para cada um dos conjuntos correspondendo a cada período de observação, bem como para o conjunto total de dados.

3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados de campo e em especial as curvas de calibração foram estudadas com base nas medidas estatísticas clássicas, como média, desvio padrão e amplitude, e, principalmente, nas análises de tendência, semelhança e correlação. Os métodos e parâmetros para estas análises são descritos na literatura (Costa Neto, 1977; Sen & Srivastava, 1990; Pimentel-Gomes, 2000 e outros). Foram testadas as correlações e semelhanças para os valores médios e para as amplitudes de leitura para cada período, entre os diferentes pontos (bateria e camada), e entre os períodos.

As curvas de calibração foram analisadas quanto ao seu desempenho em descrever a relação entre umidade e a leitura do TDR pelo exame dos gráficos e dos parâmetros de significância e qualidade do ajuste. A significância foi testada pelo teste F e a qualidade do ajuste pelo coeficiente de determinação (R^2). A análise de semelhança baseou-se no valor dos parâmetros da reta, coeficiente angular (b), e seus respectivos intervalos de confiança. Foram estudadas as correlações entre os parâmetros da curva de calibração e de suas semelhanças entre os vários pontos, ao longo da transeção, entre camadas e entre os dois períodos.

Além das análises de tendência ao longo da transeção, também foram estudados os padrões de variação da média de pontos semelhantes em função da distância que os separam, buscando assim identificar padrões de dependência espacial.

Visando identificar dependência do comportamento da relação da umidade do solo e a resposta do TDR com as variações das propriedades do solo, foram efetuadas análises de correlação entre os parâmetros das curvas de calibração e os atributos físicos do solo, sendo complementadas com a contraposição dos padrões de variação dos atributos e dos parâmetros das curvas.

Pela análise dos erros, da correlação e dos padrões de variação e semelhança buscou-se mostrar o desempenho deste modelo de TDR no campo e suas possíveis relações com alguns atributos físicos do solo. Comparou-se ainda o desempenho do equipamento nos dois períodos, proporcionando uma indicação do seu comportamento ao longo do tempo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CURVAS DE RETENÇÃO

Para a confecção das curvas características de retenção da água no solo foram obtidas aproximadamente 2.500 observações (tensão×umidade), provenientes das 360 amostras (24 pontos × 5 camadas × 3 repetições) submetidas a 7 diferentes tensões. Analisando os resultados, decidiu-se eliminar 104 observações. Em alguns casos foi eliminado apenas um valor obtido em uma das repetições, como no exemplo do ponto 20, camada A (Figura 12a e 12b). Em 10 pontos uma repetição foi eliminada por completo por não apresentar resposta à variação de tensão, como, por exemplo, o ponto 30, camada A (Figura 12c e 12d). Estes procedimentos foram adotados para evitar distorção na interpretação dos dados devido a problemas sistemáticos, provocados por erros provavelmente de operação ou de equipamento (Sen & Srivastava, 1990). Embora introduza um componente subjetivo e resulte na eliminação de informação, este procedimento se justifica pelo fato de uma curva de retenção não apresentar, em condições normais, discrepâncias tão evidentes quanto as exibidas nos exemplos da Figura 12. Possíveis erros experimentais, como o mau contato com a placa porosa ou uma amostra compactada durante a amostragem, podem explicar satisfatoriamente bem estes desvios e estas informações destoantes não ajudariam no estudo em questão.

Para evitar excesso de subjetividade na eliminação de observações, alguns critérios foram estabelecidos. Casos como o da Figura 12a podem ser tratados pela observação dos resíduos (Sen & Srivastava, 1990), observações com desvios maiores que a média das demais podem indicar um dado discrepante (“outlier”). Se toda uma repetição for diferente (Figura 12c) a

análise é mais complicada. Para as curvas de retenção deste trabalho analisaram-se os desvios de cada conjunto em relação à sua média, pois um desvio muito menor é um bom indicador para conjuntos discrepantes. No exemplo do ponto 30A, a repetição 1 apresenta um desvio 50% menor que a média das três repetições e 61% menor que a média dos desvios da camada A. O critério geral utilizado para a eliminação de uma repetição foi que ambas as comparações deveriam apresentar índices iguais ou superiores a 45%. Embora tenham sido utilizados estes critérios, não é possível eliminar o componente subjetivo, pois a própria definição dos limites de eliminação é arbitrária. Além disso o próprio uso de um indicador específico pode também ser criticado. E ainda assim não é incomum olhar para um conjunto de dados e encontrar um dado diferenciado e que não foi, mesmo assim, indicado como discrepante pelos indicadores e critérios utilizados. Consultar a bibliografia e discutir casos com colegas pesquisadores é sempre recomendado, assim como o uso do senso crítico por parte do próprio pesquisador.

Figura 12 – Repetições e médias das curvas de retenção experimentais, para o ponto 20A com todas as repetições (a) e com a eliminação de um dado discrepante (b), e o ponto 30A com todos os dados (c) e com a eliminação de uma repetição discrepante (d).

Aos pares de dados umidade×tensão foram ajustadas equações seguindo o modelo de Mualem-van Genuchten (Mualem, 1976; van Genuchten, 1980) para descrever as curvas de retenção de água no solo (Eq. (6)). A Tabela 3 mostra os parâmetros encontrados para cada ponto, juntamente com os respectivos coeficientes de determinação (R^2), valores de F e sua significância, assim como o desvio padrão da regressão e o número de pares de dados utilizados para cada curva.

O parâmetro θ_s mostrou-se menos variável ao longo da transeção para cada camada, ao passo que o parâmetro θ_r possui variabilidade superior. Em média θ_s diminui com a profundidade, enquanto θ_r aumenta, o que pode indicar granulometria mais fina e/ou compactação. A análise granulométrica e de densidade corrobora com esta indicação (ver item 4.2). Os coeficientes de determinação foram em geral elevados, e a regressão mostrou-se significativa, pelo teste F, para todos os pontos. Os valores dos desvios não são muito elevados, em média inferiores a $0,02 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, novamente indicando bom ajuste. Isto permite uma maior segurança ao utilizar estas curvas para estimar o teor de água do solo, necessário para a calibração. A baixa variabilidade entre curvas vizinhas, que distam de 2,0 m em média, possibilita sua extrapolação também com mais confiança até a bateria de tensiômetros mais próxima (em média a 0,50 m).

Tabela 3. Parâmetros do modelo de Mualem-van Genuchten ajustados aos dados observados nos 24 pontos (números pares de 2 a 48) e cinco camadas (A a E) - θ_s e θ_r em $m^3 m^{-3}$ e α em kPa^{-1} - com as respectivas medidas estatísticas de ajuste: Coeficiente de determinação – R^2 , teste F e sua probabilidade, o número de pares de dados – N, e o desvio padrão da regressão – Dp.

	Bateria	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	Todos	Média
Camada A	θ_s	0,477	0,412	0,446	0,408	0,412	0,446	0,476	0,408	0,430	0,444	0,415	0,431	0,412	0,400	0,439	0,487	0,413	0,470	0,454	0,411	0,423	0,400	0,388	0,436	0,428	0,431
	θ_r	0,229	0,156	0,194	0,170	0,168	0,209	0,184	0,140	0,172	0,167	0,141	0,145	0,168	0,134	0,192	0,155	0,152	0,194	0,167	0,126	0,025	0,138	0,129	0,145	0,162	0,159
	α	0,252	0,164	0,384	0,323	0,149	0,026	0,060	0,284	0,273	0,323	0,355	0,305	0,258	0,343	0,247	0,259	0,342	0,214	0,449	0,414	0,447	0,344	0,412	0,240	0,322	0,286
	n	1,070	1,772	2,102	3,481	2,058	1,496	0,931	3,471	2,288	2,412	4,718	2,063	2,497	4,900	3,114	2,755	3,669	2,417	4,829	3,535	5,517	14,794	2,772	3,417	2,684	3,420
	m	1,104	0,894	0,453	0,277	1,307	13,545	2,243	0,362	0,654	0,581	0,257	0,511	0,552	0,242	0,620	0,662	0,285	0,436	0,112	0,238	0,059	0,054	0,312	0,432	0,381	1,091
	R^2	0,8668	0,9770	0,9299	0,9710	0,9844	0,9515	0,9648	0,9802	0,9527	0,9617	0,9862	0,9791	0,9611	0,9873	0,9964	0,9384	0,9506	0,9145	0,6979	0,9861	0,9496	0,9371	0,9946	0,9961	0,8817	0,951
	F	26,0	170,1	53,1	133,7	252,5	78,5	109,7	198,1	80,5	94,2	285,4	187,2	98,8	311,1	627,5	61,0	62,6	40,1	9,2	282,9	70,7	55,9	738,1	1012,9	903,8	210,0
	Prob.	0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0078	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	20	21	21	21	14	21	18	20	21	20	20	21	21	490	20,4	-
	Dp	0,031	0,016	0,026	0,017	0,013	0,022	0,019	0,017	0,024	0,023	0,014	0,016	0,019	0,013	0,007	0,037	0,027	0,035	0,068	0,013	0,027	0,029	0,007	0,008	0,035	0,022
Camada B	θ_s	0,387	0,316	0,326	0,357	0,333	0,306	0,393	0,355	0,370	0,346	0,330	0,381	0,356	0,337	0,345	0,336	0,320	0,304	0,328	0,326	0,350	0,394	0,340	0,376	0,345	0,346
	θ_r	0,188	0,134	0,175	0,193	0,145	0,247	0,150	0,137	0,139	0,114	0,151	0,312	0,151	0,146	0,168	0,220	0,112	0,169	0,060	0,127	0,201	0,147	0,143	0,185	0,160	0,163
	α	0,509	0,236	0,652	0,413	0,240	0,613	0,188	0,349	0,586	0,683	0,379	0,303	0,228	0,345	0,375	0,379	0,479	0,096	0,502	0,362	0,512	0,454	0,358	0,304	0,441	0,398
	n	1,974	1,948	2,307	2,415	2,629	30,541	1,041	5,093	2,307	4,332	7,003	2,622	2,378	15,632	10,305	10,266	2,932	2,069	21,404	3,257	32,553	5,609	3,646	5,973	3,775	7,510
	m	0,374	0,438	0,184	0,522	0,518	0,020	1,100	0,189	0,242	0,093	0,126	2,214	0,371	0,077	0,071	0,102	0,181	0,791	0,004	0,224	0,011	0,100	0,190	0,162	0,158	0,346
	R^2	0,8370	0,9755	0,8921	0,9002	0,9860	0,7287	0,9846	0,9585	0,9621	0,8882	0,9465	0,7540	0,9684	0,9811	0,8224	0,7872	0,9917	0,9833	0,4508	0,9643	0,7420	0,9226	0,9819	0,9245	0,7474	0,889
	F	20,5	159,0	18,6	36,1	280,7	6,0	255,8	92,4	101,4	29,8	71,8	10,7	122,6	208,1	18,5	14,8	388,4	132,7	3,3	108,0	11,5	47,7	217,6	49,0	349,1	100,2
	Prob.	0,0003	<0,0001	0,0020	<0,0001	<0,0001	0,0362	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0055	<0,0001	<0,0001	0,0005	0,0014	<0,0001	0,0888	<0,0001	0,0037	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-
	N	21	21	14	21	21	14	21	21	21	20	21	19	21	21	21	21	18	14	21	21	21	21	21	21	477	19,9
	Dp	0,031	0,011	0,017	0,021	0,010	0,015	0,010	0,019	0,015	0,026	0,018	0,016	0,015	0,012	0,033	0,026	0,007	0,008	0,037	0,015	0,027	0,028	0,010	0,023	0,034	0,019
Camada C	θ_s	0,315	0,297	0,315	0,295	0,287	0,434	0,320	0,300	0,317	0,362	0,302	0,323	0,301	0,330	0,328	0,338	0,309	0,322	0,356	0,287	0,325	0,333	0,347	0,313	0,313	0,323
	θ_r	0,212	0,136	0,211	0,176	0,148	-0,458	0,184	0,133	0,177	0,111	0,128	0,214	0,109	0,137	0,129	0,142	0,083	0,152	0,001	0,089	-2,555	0,077	0,109	0,123	0,135	-0,001
	α	0,072	0,196	0,159	0,404	0,206	0,001	0,322	0,337	0,599	0,912	0,486	1,961	0,323	0,341	0,369	0,309	0,373	0,094	0,522	0,578	0,000	0,550	0,444	0,280	0,430	0,410
	n	1,216	1,817	1,406	2,437	4,009	0,161	1,714	3,740	6,241	3,695	5,532	1,453	12,841	17,394	4,343	7,757	3,038	1,725	12,410	12,568	0,354	10,462	3,302	5,221	3,866	5,202
	m	3,076	0,413	1,657	0,221	0,255	0,640	0,516	0,150	0,068	0,119	0,087	0,284	0,026	0,062	0,124	0,102	0,142	0,926	0,014	0,024	0,606	0,023	0,152	0,091	0,114	0,407
	R^2	0,8102	0,9832	0,9382	0,9162	0,9581	0,8467	0,9064	0,9871	0,8824	0,9667	0,9806	0,7068	0,9472	0,9861	0,9823	0,9728	0,9906	0,9930	0,7854	0,9415	0,5751	0,8896	0,9924	0,9864	0,8121	0,914
	F	17,1	233,8	60,7	24,6	91,5	12,4	38,7	305,4	30,0	116,1	202,6	9,6	71,8	284,0	222,5	143,0	341,6	564,0	13,7	64,4	3,0	32,2	521,0	289,4	512,1	153,9
	Prob.	0,0008	<0,0001	<0,0001	0,0008	<0,0001	0,0065	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0068	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0021	<0,0001	0,1149	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-
	N	21	21	21	14	21	14	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	18	21	20	21	14	21	21	21	479	20,0
	Dp	0,019	0,008	0,010	0,013	0,012	0,018	0,016	0,007	0,017	0,014	0,008	0,015	0,013	0,010	0,009	0,013	0,008	0,006	0,038	0,014	0,031	0,022	0,007	0,007	0,025	0,014
Camada D	θ_s	0,346	0,310	0,336	0,325	0,304	0,634	0,329	0,322	0,402	0,465	0,313	0,331	0,301	0,336	0,316	0,313	0,316	0,293	0,298	0,306	0,305	0,377	0,314	0,293	0,319	0,341
	θ_r	0,103	0,152	0,208	0,210	0,152	-0,224	0,184	0,178	0,224	0,073	0,129	0,181	0,129	0,180	0,214	0,223	0,133	0,173	0,184	0,111	0,196	0,135	0,107	0,117	0,162	0,145
	α	0,968	0,157	0,924	0,003	0,275	0,503	0,290	0,418	0,083	16,822	0,559	0,013	0,304	0,523	0,438	0,129	0,261	0,143	0,006	0,402	0,452	0,344	0,429	0,272	0,432	1,030
	n	2,792	1,080	5,340	0,894	3,251	0,125	1,231	2,199	0,718	0,653	5,984	0,632	3,014	3,960	3,725	1,774	1,048	2,270	1,308	3,389	24,590	5,540	2,363	4,120	2,174	3,417
	m	0,071	0,503	0,064	29,113	0,276	0,698	0,692	0,207	2,443	0,249	0,043	3,473	0,189	0,133	0,166	1,410	0,434	0,507	16,153	0,119	0,014	0,144	0,152	0,060	0,198	2,388
	R^2	0,9751	0,9160	0,9096	0,8791	0,8510	0,9387	0,8889	0,9836	0,9684	0,7834	0,9639	0,9579	0,9907	0,9831	0,9588	0,8686	0,8018	0,9356	0,9407	0,9891	0,7568	0,9763	0,9424	0,9607	0,7982	0,922
	F	137,3	43,6	40,3	29,1	22,9	61,2	32,0	239,3	122,5	8,1	106,7	91,0	427,6	232,9	93,0	26,5	13,1	58,1	35,7	362,7	12,5	92,6	65,5	54,9	460,9	100,4
	Prob.	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0190	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0031	<0,0001	0,0002	<0,0001	0,0028	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-
	N	19	21	21	21	21	21	21	21	21	21	14	21	21	21	21	21	18	21	14	21	14	21	14	21	471	19,6
	Dp	0,008	0,014	0,012	0,015	0,026	0,010	0,017	0,006	0,009	0,026	0,009	0,009	0,006	0,007	0,008	0,015	0,027	0,013	0,013	0,006	0,018	0,017	0,015	0,009	0,021	0,013
Camada E	θ_s	0,356	0,317																								

4.2 ATRIBUTOS FÍSICOS

4.2.1 Densidade do solo

A densidade média do solo por camada variou muito pouco, não sendo possível identificar nenhuma tendência ao longo da transeção. O coeficiente de variação ficou em torno de 3% em todas as camadas, confirmando a aparência homogênea do terreno onde fora instalado o experimento. Em relação à profundidade, foi possível verificar diferença significativa pelo teste de Tukey, ao nível de probabilidade de 5%, entre a primeira camada, que apresentou densidade média inferior a 1500 kg m^{-3} , que as demais foram bem superiores, chegando a quase 1800 kg m^{-3} na camada C. Esta camada juntamente com a D apresentaram as maiores densidades para cada ponto, tendo a camada A o menor valor sempre. A Figura 13 exibe as médias por camada e geral para a densidade observada nas várias camadas.

Figura 13 – Média das densidades do solo observadas para cada camada e média geral de todas as camadas. Barras marcadas com letras minúsculas iguais não diferiram, ao nível de probabilidade de 5%, pelo teste de Tukey.

4.2.2 Densidade dos sólidos

Conforme esperado (Warrick & Nielsen, 1980), a densidade dos sólidos, a semelhança da densidade do solo, não apresentou variações significativas ao longo da transeção, nem

tendências. Os valores apresentaram baixa dispersão, com coeficiente de variação abaixo de 3% em média, chegando a 4,5% na camada A. Entre as camadas não houve variações grandes e também não se verificou nenhuma tendência de aumento ou diminuição em função da profundidade. A camada B apresentou o menor valor de densidade dos sólidos, um pouco abaixo de 2.600 kg m^{-3} , e na camada E a densidade atingiu cerca de 2.640 kg m^{-3} (Figura 14).

O padrão de variação da densidade dos sólidos não seguiu o padrão da densidade do solo, a correlação entre os dois conjuntos de dados ficou em torno de 0,20 na média, para as camadas B e D o coeficiente de correlação ultrapassou levemente o patamar de 0,40, mas para as demais foi muito menor. Como a variabilidade da densidade dos sólidos foi muito baixa era de se esperar esta pequena semelhança com a densidade do solo, até porque não é necessariamente precedente a correlação elevada entre estas duas propriedades, pois a densidade dos sólidos depende apenas da composição da fase sólida e não da estrutura do solo.

Figura 14 – Médias das densidade dos sólidos observadas ao longo da transeção por camada e média geral. Barras marcadas com letras minúsculas iguais não diferiram, ao nível de probabilidade de 5%, pelo teste de Tukey.

4.2.3 Granulometria

Os teores de areia, argila e silte assim como as densidades, não apresentaram tendência definida ao longo da transeção. O solo mostrou-se bastante arenoso ($0,74 \text{ kg kg}^{-1}$ de

areia em média) variando em função da profundidade, ficando abaixo de $0,70 \text{ kg kg}^{-1}$ apenas na camada E (Figura 15a). O teor de argila apresentou comportamento aproximadamente constante ao longo da transeção, e também mostrou relação com a profundidade (Figura 15b), para ambos apenas a camada E diferiu significativamente, pelo teste de Tukey. Os teores de silte, por consequência, variaram pouco e sem exibir significância, fato comum em solos tropicais (Figura 15c).

O coeficiente de correlação entre o teor de argila e o de areia ficou em $-0,98$, mostrando a estreita, e inversa, relação entre os dois. Conseqüentemente a variação do teor de silte foi mais independente, a correlação deste teor foi de $0,70$ com o teor de areia e de $0,60$ com a argila. A Figura 15d mostra as médias de cada teor ao longo da transeção. Nesta figura pode-se ver a pequena variação entre os pontos, com exceção da bateria 12, onde os teores de areia e argila se igualaram, comportamento também um pouco mais destacado, porém de padrão inverso, para as baterias 16 e 28. Estas variações foram mais sutis no teor de silte.

Figura 15 – Teores médios por camada para (a) areia, (b) argila e (c) silte, e (d) variação das médias ao longo da transeção. Barras marcadas com letras minúsculas iguais não diferiram, ao nível de probabilidade de 5%, pelo teste de Tukey.

4.3 CURVAS DE CALIBRAÇÃO

4.3.1 Dados de Campo

Foram coletados 10.421 pares de dados, compreendendo leituras simultâneas do tensiômetro (potencial matricial) e leituras do equipamento de TDR (tempo), sendo 5.704 do primeiro período (2000) e 4.717 do segundo período (2001). O número de pares não foi igual para todos os pontos porque alguns tensiômetros e/ou hastes do TDR apresentaram problemas operacionais. Para as baterias 27 e 30 esses problemas levaram à eliminação total destas bateria da análise. As leituras do TDR foram corrigidas para tempo real usando a equação (12) com os parâmetros da Tabela 2. O teor de água do solo foi obtido pelas curvas de retenção respectivas a cada ponto a partir do potencial matricial medido pelo tensiômetro.

A faixa de umidade observada variou bastante de ponto para ponto, tanto ao longo da transeção como em profundidade, assim como entre um período e outro. A faixa de umidade observada é importante pois se muito restrita pode dificultar a percepção de uma relação entre as variáveis, o que pôde ser verificado em especial nas camadas mais profundas. A Figura 16 mostra as amplitudes e médias dos valores de umidade e tempo observadas para o primeiro período. Nota-se grande variabilidade entre as amplitudes, diminuindo com a profundidade para a umidade e aumentando para a leitura do TDR, enquanto apresentaram variações mais homogêneas entre os vários pontos de uma mesma camada. A amplitude da umidade, como era de se esperar, diminuiu com o aumento da profundidade (Figura 16f) pois nas camadas mais profundas a umidade varia muito pouco. A média apresenta-se bastante constante, tendo um valor ligeiramente inferior na camada C, aumentando acima e abaixo. Esta tendência é semelhante para o segundo período (Figura 17), onde as amplitudes foram em média menores e sua variabilidade foi maior.

Um padrão de variação semelhante (amplitude menor e variabilidade maior) ocorreu para as leituras do TDR, porém as amplitudes foram muito mais homogêneas entre as camadas e a tendência que as médias das umidades seguem não foi acompanhada pelas leituras do TDR, não havendo um padrão muito bem definido. É interessante notar que as médias para a umidade foram praticamente iguais nos dois períodos, porém as leituras do TDR foram em média menores

no segundo período, em aproximadamente 10%. As variações das amplitudes das leituras e das umidades tornaram-se mais ajustadas no segundo período, ou seja, camadas com maior variabilidade das amplitudes na umidade correspondem a amplitudes mais variáveis das leituras do TDR, ao passo que no primeiro período esta correspondência não foi verificada. A camada E, por exemplo, apresentou-se bastante homogênea para umidade (Figura 16e) ao mesmo tempo que para o TDR essa foi uma das camadas mais heterogêneas (Figura 16k).

Figura 16 – Amplitudes e médias para a umidade e a leitura do TDR, no primeiro período de coleta de dados (2000). (a-e) Umidade nas camadas A a E, (f) umidade geral por camada; (g-k) leitura do TDR nas camadas A a E e (l) TDR geral por camada. Barras marcadas com letras minúsculas iguais não diferiram, ao nível de probabilidade de 5%, pelo teste de Tukey.

Figura 17 – Amplitudes e médias para a umidade e a leitura do TDR, no segundo período de coleta de dados (2001). (a-e) Umidade nas camadas A a E, (f) umidade geral por camada; (g-k) leitura do TDR nas camadas A a E e (l) TDR geral por camada. Barras marcadas com letras minúsculas iguais não diferiram, ao nível de probabilidade de 5%, pelo teste de Tukey.

Além do aumento na variabilidade das amplitudes entre o primeiro e o segundo período, também percebe-se que estas variações foram aleatórias. Poderia ser esperado que pontos com maior amplitude no primeiro período também o fossem no segundo período, tendo em vista que o solo não foi mexido e que as condições de cobertura e clima foram semelhantes. A Tabela 4 mostra os valores dos coeficientes de correlação para as amplitudes da leitura do TDR e da umidade entre um período e outro. Para a umidade estes índices mostram-se maiores, com destaque para a camada D, sendo muito baixa na camada A e intermediária nas demais. Pode-se concluir, considerando estes valores, que existe correlação entre os dois períodos. Por outro lado, analisando os valores das amplitudes para a leitura do TDR verifica-se correlação muito baixa, chegando a apresentar coeficientes negativos nas camadas C e E, mostrando inconstância das medições pelo aparelho de TDR. Apesar destes valores baixos nota-se que correlações maiores na umidade também correspondem a índices maiores da leitura do TDR, porém seus baixos valores dificultam quaisquer especulações a respeito deste detalhe.

Seria razoável também esperar que as amplitudes da umidade e da leitura do TDR apresentassem correlação e que uma maior faixa de umidades observadas correspondesse a uma maior faixa nas leituras obtidas no TDR. Na Tabela 4 se encontram os valores dos índices de correlação entre as amplitudes da umidade e da leitura do TDR para cada período. Percebe-se uma quase total independência entre as amplitudes; o maior índice, para a camada C no primeiro período, é ainda muito baixo, mesmo sendo bastante superior aos demais. Sem analisar os valores em si, apenas suas amplitudes, em função dessas constatações já podem ser esperadas dificuldades no estabelecimento de uma boa relação entre as leituras do TDR e o teor de água no solo.

Tabela 4. Coeficientes de correlação das amplitudes da umidade ($A\theta$) e das leituras do TDR (AT_{TDR}) entre os dois períodos e entre as amplitudes da umidade e da leitura do TDR para o 1º período ($\theta-T_{TDR1}$) e o 2º período ($\theta-T_{TDR2}$).

Camada	$A\theta$	AT_{TDR}	$\theta-T_{TDR1}$	$\theta-T_{TDR2}$
A	0,393	0,079	-0,112	0,028
B	0,772	0,161	0,130	0,010
C	0,683	-0,082	0,292	-0,207
D	0,876	0,129	-0,023	0,080
E	0,574	-0,029	0,057	0,170

Analisando as médias das umidades e das leituras verifica-se que houve também pequena correspondência entre elas (Figura 16f e Figura 16l ou Figura 17f e Figura 17l). A Tabela 5 traz os coeficientes de correlação entre as médias das umidades e as médias das leituras do TDR para os dois períodos e no geral. Todos apresentaram-se bastante reduzidos, especialmente no primeiro período, chegando a ser negativo na camada B. Os maiores valores são encontrados quando se juntam os dados dos dois períodos e mesmo assim seus valores são muito baixos. Como a análise das médias pode ser considerada insuficiente para indicar a falta de relação entre umidade e a resposta do aparelho, na mesma Tabela 5 são apresentados os valores do coeficiente de correlação para cada camada considerando todos os pares de dados. Nota-se uma inversão da tendência geral exibida pelas médias, com o primeiro período apresentando coeficientes de correlação bem superiores aos do segundo e o conjunto completo ficando num patamar intermediário. Embora se perceba um aumento da relação entre os valores, eles ainda são reduzidos, e além disso variáveis no tempo. Não é possível afirmar, pois seriam necessários experimentos mais detalhados, mas há indícios de senescência do equipamento. A diferença de resultados para o primeiro período é um indicativo de diferenças significativas entre as curvas de calibração dos vários segmentos das hastes.

Os baixos valores de correlação apresentados até aqui foram baseados na análise dos dados em conjuntos maiores ou em suas representações estatísticas, que, mesmo assim deveriam exibir alguma relação significativa. O passo seguinte foi a análise dos dados por bateria e por camada.

Tabela 5. Coeficientes de correlação entre a leitura do TDR e a umidade para cada camada, utilizando apenas as médias de cada ponto e com todos os dados.

Período		Camada				
		A	B	C	D	E
2000	médias	0,015	-0,111	0,044	0,173	0,118
	todos	0,497	0,502	0,595	0,541	0,344
2001	médias	0,139	0,127	0,159	0,105	0,137
	todos	0,232	0,258	0,268	0,263	0,200
2000+2001	médias	0,052	0,043	0,078	0,186	0,170
	todos	0,368	0,315	0,413	0,404	0,269

Conforme já foi discutido, os valores das amplitudes observadas para umidade e para as leituras do TDR deveriam exibir alguma correlação, tendo em vista que se espera encontrar uma relação de causa-efeito entre umidade e o tempo do TDR, o que não se verificou. As médias também apresentaram-se pouco correlacionadas e os valores em si exibiram coeficientes melhores, mas ainda ruins. Uma outra questão a explorar ainda é o comportamento dos dados por ponto, e sua relação com pontos vizinhos.

Nas Tabelas dos Anexos A a F são apresentadas as médias, desvios padrão, o número de pares de dados e o intervalo de confiança para umidade e leitura do TDR em cada ponto para o primeiro e o segundo período, e para todos os dados, juntamente com o número de pontos que se apresentaram estatisticamente iguais e quanto isso representa em percentagem sobre o número total de possíveis comparações para cada ponto em cada camada.

Os valores apresentaram bastante variação. Como já foi comentado, a camada C apresentou a menor média para umidade, corroborado pela leitura do TDR que, no entanto, apresentou médias maiores nas camadas B e D do que nas camadas A e E, contrariando o observado pelo tensiômetro. Não pôde ser identificada nenhuma tendência ao longo da transeção para cada camada e a umidade apresentou-se com média aproximadamente constante e com desvios igualmente estáveis em qualquer ponto da transeção. A variabilidade, estimada pelo desvio padrão mostrou-se relativamente baixa e decrescente com a profundidade.

A umidade média foi praticamente igual para ambos os períodos, aumentando em apenas 0,5% em média, sendo 1,8% de acréscimo para a camada A e decréscimo de 1,0% para a camada C. A variabilidade reduziu-se em quase 10% no segundo período em relação ao primeiro, chegando a 23% para a camada A, aumentando em 18% na camada E. Para as leituras do TDR a média decresceu cerca de 7%, com maior decréscimo na camada B (12%) e pequeno aumento na camada E (0,8%). A dispersão também foi reduzida chegando a ser 40% menor na camada A. A camada E foi a única a apresentar aumento da dispersão das leituras do TDR, 12,5%, na média, porém, houve decréscimo de 18% entre o segundo e o primeiro período.

O teste de semelhança, utilizando o intervalo de confiança com probabilidade de 95%, comparando cada ponto com todos os outros da sua respectiva camada, revelou grande variação de comportamento. De um modo geral, as profundidades maiores apresentaram maior número

de pontos semelhantes entre si para a umidade (Figura 18a), resultado da menor variação da umidade nessas camadas, o que já era esperado pela menor amplitude de variação observada na Figura 16 e na Figura 17. Por outro lado, as leituras do TDR exibiram comportamento diverso, tendo sua variabilidade aumentado com a profundidade. Observa-se assim um número decrescente de pontos semelhantes ao se aumentar a profundidade. A camada B foi a que apresentou mais semelhanças especialmente no primeiro período, bastante superior às verificadas para umidade (Figura 18). O segundo período de observação em geral apresentou as menores percentagens de pontos semelhantes, especialmente para o TDR, o que pode ser explicado pelo aumento da variabilidade neste período.

Figura 18 – Percentagem de pontos com umidade (a) e leitura do TDR (b) semelhantes na transeção, por camada e período.

A Figura 19 mostra a percentagem do número de pontos cuja análise de semelhança para as médias coincidiu para os dois períodos (SI). Em torno de 60% dos pontos para a umidade e 50% para a leitura do TDR mostraram-se semelhantes ou diferentes tanto para o primeiro como para o segundo período, ou seja, o comportamento foi igual nos dois períodos. A percentagem do número de pontos que se mostraram semelhantes entre si tanto no primeiro período quanto no segundo (Cc) ficou em torno de 20% para ambos os conjuntos de dados (Figura 19), o que corresponde praticamente à metade dos pontos com análise coincidente para as umidades e cerca de um terço para o TDR. As variações foram maiores para a leitura do TDR, com extremos de mais de 30% na camada B e apenas 7% na camada E. O que se pode verificar é que as leituras do TDR, que mostraram maior percentagem de semelhanças por período, não concordam da mesma forma entre períodos, exibindo variabilidade do comportamento no tempo.

Figura 19 – Percentagem de pontos com resultados coincidentes da análise de semelhança das médias (Cc) e percentagem apenas dos pontos semelhantes nos dois períodos (SI), para umidade (a) e leitura do TDR (b), em função da profundidade.

Confeccionando uma tabela de correlações para a percentagem de pontos semelhantes entre os dois períodos, verifica-se que o comportamento geral para a umidade não variou muito entre os dois períodos, pois os coeficientes de correlação entre as duas seções de leitura, mostrados na Tabela 6, foram elevados, ou seja, pontos com grande número de semelhantes no primeiro período também o foram no segundo. Se o solo e as condições ambientais gerais variaram pouco, a umidade de cada ponto deveria seguir comportamento semelhante nos dois períodos, assim as semelhanças e as diferenças deveriam se repetir. Na mesma tabela verifica-se que, diferentemente da umidade, as leituras do TDR não apresentaram semelhanças correlacionadas entre os dois períodos, sendo razoável apenas para a camada A, chegando porém a ser negativa para as camadas B e D, o que indica um comportamento pouco sistemático. O componente aleatório nas leituras do TDR parece mascarar, ou mesmo alterar, o comportamento normal esperado para estes dados.

A Tabela 6 complementa a análise da Figura 19, mostrando que, apesar do número similar de pontos com médias semelhantes, o padrão de variação dos dois conjuntos foi bastante diverso entre um período e outro.

Tabela 6. Coeficiente de correlação para a percentagem de pontos semelhantes por camada entre dois períodos de observação.

	Camada				
	A	B	C	D	E
Umidade	0,862	0,712	0,824	0,625	0,716
Tempo - TDR	0,556	-0,200	0,286	-0,014	0,293

A Tabela 7 exhibe as semelhanças entre a umidade nos dois períodos, pela comparação de suas médias pelo intervalo de confiança de 95%, onde se observa a grande correspondência entre os dois conjuntos de valores, com média acima de 90% dos pontos semelhantes; mesmo os valores estatisticamente diferentes possuem valores não muito díspares (pode-se também comparar as tabelas do Anexo A com o Anexo C). Já para os dados do tempo medido pelo aparelho de TDR a tendência é contrária. Apenas uma média de 30% dos pontos apresentaram-se estatisticamente semelhantes entre os dois períodos (Tabela 8). A camada B apresentou, assim como para a umidade, a menor percentagem, porém com o valor muito menor (9,1% e 88,6% respectivamente). É interessante notar que, para a leitura do TDR, a percentagem atingiu o máximo de 60% na camada E, que é a que apresentou maior variabilidade em ambos os períodos e não mostrava correspondência para amplitude observada ou para semelhanças entre pontos. A pequena variação da média dos valores nesta camada entre os dois períodos e a amplitude relativamente grande em alguns pontos podem explicar este fato.

A relação entre as semelhanças para umidade e para as leituras do TDR entre os dois períodos apresentou-se restrita. Como para umidade a maioria dos pontos foi semelhante entre um período e outro, e para a leitura do TDR a maioria foi diferente, poderia ser esperado que a maioria dos pontos fosse divergente. Apenas 61 pontos foram semelhantes tanto para o TDR quanto para a umidade, o que representa todos os pontos semelhantes para a leitura do TDR, exceto cinco, grifados na Tabela 7.

Tabela 7. Semelhança entre os valores de umidade por camada e bateria para os dois períodos (1-semelhante, 0-não semelhante, com IC de 95%).

Bateria	Camadas				
	A	B	C	D	E
1	1	1	0	1	1
2	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	0
4	1	1	1	1	1
5	1	-	-	1	1
6	1	1	1	1	1
7	-	1	1	1	-
8	1	1	1	1	1
9	0	1	0	1	1
10	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1
13	0	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1
16	1	1	1	0	1
17	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1
21	1	1	1	-	0
22	1	1	1	1	1
23	1	1	1	1	1
24	1	1	1	1	1
25	1	1	1	1	1
26	1	0	1	1	1
28	1	1	1	1	1
29	1	0	1	1	0
31	1	1	0	1	1
32	1	1	1	1	1
33	1	1	1	1	1
34	1	1	1	1	1
35	1	1	1	1	1
36	1	1	1	1	1
37	0	1	1	-	1
38	1	1	1	1	1
39	-	1	1	0	1
40	1	1	1	1	1
41	1	1	1	1	1
42	1	1	1	1	1
43	1	1	1	1	1
44	-	-	1	1	1
45	1	1	1	1	1
46	1	0	1	1	1
47	1	0	1	1	1
48	0	0	0	1	1
Soma	39	39	41	42	42
Total	43	44	45	44	45
%	90,7	88,6	91,1	95,5	93,3

Tabela 8. Semelhança entre os valores da leitura do TDR por bateria e camada para os dois períodos (1-semelhante, 0-não semelhante, com IC de 95%).

Bateria	Camadas				
	A	B	C	D	E
1	0	0	0	0	1
2	0	1	1	0	1
3	0	0	0	0	1
4	0	1	1	0	0
5	0	-	-	1	1
6	0	0	0	1	0
7	-	0	0	0	-
8	1	0	0	1	1
9	0	0	0	0	1
10	1	0	0	0	1
11	0	0	0	1	0
12	1	0	0	1	0
13	0	0	1	0	1
14	1	0	0	0	0
15	0	0	0	0	1
16	0	0	0	0	0
17	1	0	0	0	0
18	0	0	0	1	1
19	1	0	0	1	0
20	0	0	0	1	1
21	0	0	1	-	1
22	0	0	0	1	1
23	0	0	1	0	1
24	0	1	1	0	0
25	0	0	1	1	1
26	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0
29	0	0	1	1	1
31	1	0	0	0	0
32	0	0	0	0	1
33	0	0	0	0	1
34	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	1
36	0	0	0	1	1
37	1	1	0	-	0
38	0	0	0	0	1
39	-	0	1	1	1
40	0	0	0	1	1
41	0	0	0	1	1
42	0	0	0	0	0
43	0	0	0	0	0
44	-	-	0	1	0
45	0	0	0	0	1
46	0	0	0	0	0
47	0	0	0	1	1
48	0	0	0	1	1
Soma	8	4	9	18	27
Total	43	44	45	44	45
%	18,6	9,1	20,0	40,9	60,0

Para completar a análise de semelhanças dos dados foi encontrado o número de pontos semelhantes em função da distância que os separa. Cada ponto foi testado como todos os outros de sua respectiva camada. Levando-se em conta a distância que separa dois pontos quaisquer, esperar-se-ia que pontos mais próximos fossem em média mais semelhantes. Como o número total de comparações possíveis é maior para pontos mais próximos trabalhou-se então com a percentagem de ocorrências em relação ao número de possibilidades de comparação e apenas até a distância de 30 m. Para a umidade, a tendência prevista pôde ser observada, embora em algumas camadas com pouca significância, tendo se apresentado semelhante tanto para o primeiro período (Figura 20), como para o segundo (Figura 21) e também para todos os dados em conjunto (Figura 22). Nota-se que o primeiro ponto dos gráficos, que corresponde à distância de 1 m entre os pontos comparados, apresenta uma percentagem elevada, maior que as outras (Figura 20). Para todos os dados em conjunto este detalhe é mais significativo (Figura 22) e para o segundo período este não é o ponto de maior percentagem para todas as camadas, mas também é elevado (Figura 21). Para os dados obtidos pelo TDR (Figuras 23 a 25) a mesma tendência não se verifica, até pelo contrário, o primeiro ponto apresenta valores inferiores aos pontos conseqüentes. A Figura 23 mostra o comportamento das leituras do TDR para o primeiro período, onde se vê, além da grande variação entre camadas, a ausência de tendência de diminuição da semelhança com o aumento da distância entre os pontos. Esta falta de tendência é repetida no segundo período, porém as variações entre camadas mostram-se mais sutis (Figura 24). O conjunto total de dados exibe o mesmo comportamento geral, com menores variações na percentagem por camada ao se aumentar a distância (Figura 25).

A diferença de comportamento para os dois conjuntos de dados é visível, com correlação muito baixa. O padrão exibido também reforça as evidências da existência de problemas para se encontrar uma relação entre umidade e as leituras do TDR. Isso se deve principalmente a problemas com os dados do TDR, pois é este conjunto que apresentou comportamento diverso, não correspondendo com padrões normalmente esperados ou com o padrão de variabilidade apresentado pelos dados de umidade.

Figura 20 – Fração de pontos semelhantes em função da distância de comparação para unidade obtida por tensiometria, no primeiro período de observação (2000).

Figura 21 – Fração de pontos semelhantes em função da distância de comparação para unidade obtida por tensiometria, no segundo período de observação (2001).

Figura 22 – Fração de pontos semelhantes em função da distância de comparação para umidade obtida por tensiometria, para todos os dados (2000 + 2001).

Figura 23 – Fração de pontos semelhantes em função da distância de comparação para leitura do TDR, no primeiro período de observação (2000).

Figura 24 – Fração de pontos semelhantes em função da distância de comparação para leitura do TDR, no segundo período de observação (2001).

Figura 25 – Fração de pontos semelhantes em função da distância de comparação para leitura do TDR, para todos os dados (2000 + 2001).

4.3.2 Ajuste das Equações de Calibração do TDR

Não foi possível encontrar uma equação que se ajustasse satisfatoriamente a todos os dados em conjunto. A Figura 26 mostra o gráfico da relação da leitura do TDR e da umidade com os dados dos dois períodos de observação em conjunto, onde é visível a dispersão elevada dos pontos em torno da reta de regressão. O coeficiente de determinação da reta é 0,0803, com erro médio esperado de $0,03 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. De todo modo, apesar de a correlação entre as variáveis ter sido de apenas 0,283, a regressão mostrou-se altamente significativa ($F = 910,3$ e prob. $< 0,0001$), o que evidencia que houve relação de causa-efeito entre as variáveis. Padrão muito semelhante foi encontrado para as regressões com os dados de cada período separadamente (Figura 28).

Figura 26 – Equação de calibração do TDR (modelo linear), ajustada a todos os pares de dados θ - T_{TDR} obtidos.

A relação causa-efeito encontrada, mesmo para regressões com dados por haste ou por camada separadas, revelou-se bem menor que as previstas pela equação do fabricante ou pela equação de Topp et al. (1980). Além de um coeficiente angular maior, o coeficiente linear destas equações mostrou-se muito menor do que os dados deste experimento exprimem (Figura

27). Por conseguinte as estimativas da umidade pelos modelos de Topp et al. (1980) (eq. (9)) ou do fabricante (eq. (14)) foram em geral menores que as observadas, sendo semelhantes ou superiores apenas para as camadas mais profundas e nos teores de água mais elevados. Estes resultados são particularmente interessantes pois, segundo a literatura (Dirksen & Dasberg, 1992; Ponizovsky, 1999), as curvas de calibração do TDR poderiam apresentar variações significativas em solos com alto teor de argila, acima de $0,50 \text{ kg kg}^{-1}$, o que não foi o caso. Neste experimento o teor médio de argila do solo ficou abaixo de $0,20 \text{ kg kg}^{-1}$, apenas na camada E chegou próximo de $0,25 \text{ kg kg}^{-1}$ (Figura 15). Sugerindo haver outros fatores, no solo ou no aparelho, que induziram estas variações na relação de calibração do TDR.

Figura 27 – Exemplos de curvas de calibração do TDR para os modelos das equações (9), (13) e (14), com os dados das hastes 6 (a) e 19 (b) do primeiro período, 31 (c) e 45 (d) do segundo período.

As regressões com modelos polinomiais não mostraram melhorias consideráveis em relação ao modelo linear. Equações polinomiais foram ajustadas aos dados, porém não proporcionaram coeficientes de determinação muito melhores e o erro esperado permaneceu

praticamente inalterado. A Figura 28 mostra dois exemplos com todos os dados dos dois períodos separadamente, com as regressões lineares de cada um e a regressão polinomial com o melhor R^2 encontrado, onde se pode verificar que a relação não é significativamente mais bem descrita por estes modelos do que pela regressão linear simples. Como este padrão repetiu-se para as demais análises, para simplificar a discussão serão apresentados apenas os resultados com a regressão linear simples.

Figura 28– Equações de calibração do TDR e pares de dados θ - T_{TDR} observados para o primeiro período – 2000 (a) e para o segundo período – 2001 (b).

Aos dados de umidade provenientes do tensiômetro e curvas de retenção e das leituras do aparelho de TDR foram ajustadas equações seguindo o modelo linear, para cada haste, para cada camada e para cada segmento em particular. As curvas com os dados de conjuntos compostos, quer sejam provenientes de vários segmentos, varias hastes ou mesmo períodos, mostraram-se piores que para cada segmento e período específico.

Como o terreno utilizado apresentou-se bastante homogêneo, pode-se esperar que as variações dos atributos do solo sejam maiores em relação à profundidade do que ao longo da transeção. Assim as diferenças na calibração, caso fossem função apenas das características e propriedades do solo, deveriam se mostrar mais evidentes no perfil do solo. Ou seja, a dispersão dos pontos seria maior ao se juntarem os dados de todos os segmentos de cada haste do que ao se juntarem os dados por camada. No entanto esta expectativa foi contrariada pelos dados. O Anexo G mostra o resumo da regressão por camada, donde pode-se verificar que o desvio médio ficou acima de $0,025 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, chegando a $0,028 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para os dados do segundo período e acima de $0,04 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ nos três conjuntos de regressões na camada A. Para as regressões

efetuadas por haste (Anexo H) a média dos erros esperados ficou abaixo de $0,025 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, não chegando a ultrapassar $0,04 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ em nenhuma haste, com exceção da haste 13 no segundo período. Para uma melhor visualização as figuras dos Anexos N a Q exibem gráficos com exemplos da regressão por haste e por camada.

As tabelas dos Anexos I a M mostram os valores dos coeficientes linear, angular e de determinação, o desvio padrão da regressão, a estatística F e sua respectiva probabilidade, dos ajustes do modelo linear aos dados por segmento de cada haste, para cada período de leitura e com todos os dados. É possível verificar que o desvio médio em torno das retas de calibração diminuiu, ficando na média em torno de $0,015 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, porém bastante variável entre os pontos.

Esta precisão é semelhante à encontrada por Serrarens et al. (2000), que também identificaram um aumento da dispersão quando varias hastes foram consideradas em conjunto, praticamente dobrando o desvio padrão da regressão em relação à media dos desvios das curvas das hastes separadas, também usando modelos lineares.

A análise de correlação revelou que os coeficientes linear e angular das retas de calibração apresentaram-se altamente relacionados. A Tabela 9 exhibe os coeficientes de correlação para os dois períodos e para todos os dados juntos. Todos os valores encontram-se acima de 0,90, com exceção dos da camada C com todos os dados, que mesmo assim também foi elevado. Para simplificar a análise das curvas de calibração, tendo em vista estes resultados, considerou-se que o coeficiente angular representa suficientemente o modelo.

Tabela 9. Coeficientes de correlação entre os coeficientes angular e linear das retas ajustadas aos dados de umidade e leitura do TDR, para os dados coletados nos dois períodos e todos juntos.

Período	Camada				
	A	B	C	D	E
2000	-0,932	-0,983	-0,976	-0,994	-0,990
2001	-0,974	-0,983	-0,983	-0,994	-0,987
2000 + 2001	-0,949	-0,970	-0,861	-0,991	-0,993

A análise das tabelas com os resultados das regressões permite verificar que, de uma maneira geral, o primeiro período apresentou desempenho melhor nas regressões. Praticamente todas as regressões para este período mostraram-se estatisticamente significativas: cerca de 98% dos pontos significativos com probabilidade de até 5% para o teste F. Para o segundo período as regressões apresentaram-se significativas em número bem menor, cerca de 61% e para todos os dados em conjunto o percentual de significância ficou em aproximadamente 93%. Entre as camadas houve pouca variação e não foi possível identificar nenhuma tendência. Apenas a camada E mostrou-se com menor percentagem de ajustes significativos em relação às demais nos três conjuntos de regressões.

A análise dos coeficientes de determinação revelou resultados menos expressivos. Em torno de 18% dos ajustes exibiram R^2 superior a 0,80 e praticamente todos oriundos dos ajustes utilizando os dados do primeiro período de leitura apenas, onde 47% dos pontos apresentaram R^2 igual ou superior a 0,80, não chegando a 2% quando o ajuste foi feito com todos os dados. Neste caso cerca de 62% dos ajustes tiveram R^2 inferior a 0,50 e para o segundo período esta percentagem chegou a superar 78% dos ajustes. A Figura 29 mostra a distribuição dos coeficientes de determinação divididos em quatro categorias, para cada período e com todos os dados, onde é possível visualizar melhor as variações da qualidade dos ajustes da regressão linear.

A qualidade dos ajustes, estimada pelo coeficiente de determinação, também apresentou variações em função da profundidade (Figura 29). De um modo geral os ajustes se mostraram piores com o aumento da profundidade. Esta tendência foi bem evidente para os ajustes com os dados do primeiro período de leituras (Figura 29a) e um pouco menos para o segundo período (Figura 29b) e para as regressões com todos os dados em conjunto (Figura 29c). O fato de as amplitudes da variação de umidade decrescerem com a profundidade aliado aos baixos coeficientes de correlação entre os dois conjuntos de dados já davam indicativos de ajustes piores nas camadas mais profundas, como de fato foi verificado.

Figura 29 – Percentagem de equações de calibração com coeficientes de determinação da regressão linear em quatro classes por camada, para o primeiro período (a), segundo período (b) e todos os dados juntos (c).

A falta de correlação entre os dados coletados nos dois períodos também se reflete nos resultados de qualidade bem diferentes para os ajustes de calibração com o uso dos dados desses dois conjuntos. Juntando os dois conjuntos houve até a redução dos pontos com ajustes de qualidade superior a 0,8 para o coeficiente de determinação, o que indica que os ajustes devem ser diferentes entre os dois períodos. A correlação dos coeficientes angulares encontrados nos dois períodos mostra-se reduzida (Tabela 10), sendo quase nula para a camada E. A mesma tabela exhibe os coeficientes de correlação entre os dois períodos para os coeficientes de determinação, onde se verificam valores mais baixos ainda. O que significa que a qualidade dos modelos não apresentou desempenho semelhante nos dois períodos.

Tabela 10. Coeficientes de correlação para os coeficientes angular e de determinação das retas ajustadas aos dados de umidade e leitura do TDR, entre os dois períodos de observação.

	Camada				
	A	B	C	D	E
b	0,352	0,326	0,430	0,304	-0,0126
R ²	0,196	0,076	0,247	0,244	0,238

Os coeficientes angulares das retas de calibração, apesar de pouco correlacionados, mostraram-se semelhantes na maioria dos pontos nos dois períodos de observação. A Tabela 11 exibe o panorama dos pontos semelhantes entre um período e outro, ao nível de probabilidade de 95%. Em média cerca de 82% dos pontos apresentaram-se semelhantes, sendo apenas 68,9% na camada C e chegando a 97,8% na camada E. Os valores contraditórios entre a análise de correlação e a análise de semelhança devem ser abordados com cautela, pois revelam aspectos diferentes da análise geral das regressões.

As regressões não apresentaram qualidade muito boa, visto que os coeficientes de determinação foram em geral muito baixos e sem correlação definida. Isso se deve principalmente à dispersão elevada dos valores, que pode ser observada nos gráficos dos Anexos N a V. Para conjuntos com dispersão elevada é normal encontrar vários pontos em que as curvas de calibração não diferem estatisticamente, o que explica o grande número de pontos semelhantes entre um período e outro. A análise de semelhança tem sua importância reduzida nesses casos. A análise de correlação concorre para melhor interpretar o comportamento dos dados, assim, apesar de semelhantes ao serem comparados pelo valor médio do coeficiente angular, os dois períodos possuem padrões de variação do percentual explicado pela regressão completamente diferentes entre os dois períodos, não há correlação entre os conjuntos. Por este motivo as semelhanças estatísticas devem ser tratadas com prudência, e não tomadas como resultados absolutos.

A análise de semelhança efetuada entre as camadas também revelou grande número de pontos semelhantes. É interessante observar que o primeiro período de observações, que apresentou o maior número de pontos com retas de calibração significativas e com maiores coeficientes de determinação, apresentou um menor grau de semelhanças (Tabela 12). Apenas

três pontos apresentaram curvas estatisticamente iguais em todas as camadas, ao passo que em nove pontos ao menos uma camada apresentou-se díspar das demais. Os resultados exibidos pelo segundo período, onde 24 pontos apresentaram curvas semelhantes em todas as camadas (Tabela 13), vêm corroborar o que foi discutido no parágrafo anterior, ou seja, as semelhanças entre as várias curvas são devidas muito mais à dispersão dos valores das leituras de umidade e tempo do TDR, do que a um comportamento de fato semelhante entre os vários pontos e segmentos. Também deve-se levar em conta que, além da dispersão maior, o segundo período apresenta amplitudes totais das leituras menores, reduzindo assim o percentual da variação geral explicável pela regressão e aumentando relativamente o intervalo de confiança, o que propicia mais facilmente as semelhanças. Ao juntarem-se os dois conjuntos de dados (Tabela 14) vê-se que o primeiro período é que define o comportamento geral deste novo conjunto. O número de pontos com todas as camadas apresentando retas de calibração semelhantes, são seis, é bem mais próximo daquele apresentado pelos dados do primeiro período, havendo oito com pelo menos uma camada diferente das demais.

Tabela 11. Semelhança entre os valores obtidos nos dois períodos dos coeficientes angulares das retas da regressão linear dos valores de umidade e leitura do TDR, por bateria e camada (1-semelhante, 0-não semelhante, com IC de 95%).

Bateria	Camadas				
	A	B	C	D	E
1	1	1	1	1	1
2	1	0	0	1	1
3	0	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1
5	1	-	-	1	1
6	1	1	0	1	1
7	-	0	1	1	-
8	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	0
10	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1
13	1	1	1	0	1
14	0	0	0	0	1
15	1	1	0	1	1
16	0	1	1	1	1
17	1	0	0	0	1
18	1	1	0	1	1
19	0	1	1	1	1
20	1	1	0	1	1
21	0	1	0	-	1
22	1	1	1	1	1
23	1	1	1	1	1
24	1	1	1	0	1
25	1	1	1	1	1
26	1	1	1	1	1
28	1	1	1	0	1
29	1	1	1	0	1
31	1	1	0	1	1
32	0	1	0	1	1
33	1	1	1	1	1
34	1	1	1	1	1
35	1	1	1	1	1
36	1	1	1	0	1
37	1	1	1	-	1
38	0	1	1	1	1
39	-	0	0	1	1
40	1	1	1	0	1
41	1	0	0	0	1
42	1	1	1	1	1
43	1	1	0	0	1
44	-	-	1	0	1
45	1	1	1	1	1
46	1	1	0	1	1
47	1	1	1	0	1
48	1	1	1	1	1
Soma	36	38	31	32	44
Total	43	44	45	44	45
%	83,7	86,4	68,9	72,7	97,8

Tabela 12. Coeficientes angulares das retas da regressão linear dos valores de umidade e leitura do TDR por ponto para o primeiro período (2000). Valores seguidos de mesma letra, na linha, não diferem ao nível de probabilidade de 95%.

Bateria	Camada									
	A		B		C		D		E	
1	0,057	a	0,072	a	0,082	a	0,082	a	0,052	a
2	0,055	a	0,069	a	0,149	b	0,106	ab	0,084	ab
3	0,113	a	0,068	a	0,082	b	0,072	ab	0,018	ab
4	0,091	a	0,079	ab	0,063	a	0,066	ab	0,021	b
5	0,081	a	0,045	b	0,040	b	0,059	ab	0,013	b
6	0,089	ab	0,051	c	0,066	ac	0,061	ac	0,031	b
7	0,106	a	0,111	a	0,057	b	0,049	b	0,038	a
8	0,090	a	0,093	a	0,061	a	0,055	a	0,022	a
9	0,131	a	0,123	a	0,106	a	0,113	a	0,021	b
10	0,122	a	0,095	a	0,094	a	0,092	a	0,031	a
11	0,104	a	0,035	b	0,029	b	0,036	b	0,033	a
12	0,131	a	0,026	b	0,041	bc	0,062	c	0,013	c
13	0,083	a	0,086	a	0,071	a	0,096	a	0,033	b
14	0,092	a	0,079	ab	0,064	b	0,058	b	0,017	a
15	0,111	a	0,101	ab	0,070	c	0,054	bc	0,024	bc
16	0,129	a	0,142	ab	0,099	c	0,104	abc	0,019	bc
17	0,122	a	0,075	bc	0,061	b	0,091	ac	0,027	ac
18	0,123	ab	0,080	ac	0,058	c	0,080	abc	0,089	b
19	0,210	a	0,077	b	0,121	c	0,054	b	0,066	bc
20	0,115	a	0,055	b	0,112	a	0,052	b	0,017	a
21	0,162	a	0,092	b	0,119	ab	0,099	b	0,034	ab
22	0,156	a	0,110	ab	0,089	bc	0,080	c	0,024	abc
23	0,098	a	0,008	b	0,030	c	0,046	c	0,083	abc
24	0,098	a	0,029	b	0,031	b	0,059	c	0,034	abc
25	0,093	a	0,080	ab	0,056	c	0,062	bc	0,012	c
26	0,055	ab	0,082	ab	0,060	a	0,129	b	0,061	ab
28	0,129	a	0,105	a	0,130	a	0,127	a	0,019	a
29	0,094	a	0,078	ab	0,101	a	0,090	a	0,017	b
31	0,195	a	0,052	bc	0,073	b	0,056	bc	0,008	c
32	0,196	a	0,074	b	0,105	c	0,084	b	0,012	b
33	0,123	a	0,069	b	0,082	b	0,036	c	0,017	b
34	0,120	a	0,069	b	0,062	b	0,065	b	0,018	b
35	0,112	a	0,057	b	0,064	bc	0,084	ac	0,019	bc
36	0,099	a	0,050	b	0,069	c	0,072	ac	0,045	abc
37	0,093	a	0,030	b	0,081	a	0,048	c	0,020	abc
38	0,087	a	0,027	b	0,067	a	0,034	bc	0,018	ac
39	0,103	a	0,091	ab	0,059	c	0,074	bc	0,019	a
40	0,046	a	0,066	a	0,061	a	0,118	b	0,018	a
41	0,081	a	0,045	b	0,019	c	0,054	c	0,020	a
42	0,046	a	0,025	ab	0,016	b	0,022	b	0,012	a
43	0,095	a	0,072	ab	0,063	b	0,167	c	0,027	ab
44	0,127	a	0,088	bc	0,069	b	0,235	d	0,033	adc
45	0,088	ab	0,084	ab	0,109	a	0,063	b	0,019	b
46	0,057	ab	0,062	ab	0,091	b	0,074	ab	0,018	ab
47	0,096	ab	0,111	a	0,043	c	0,061	ac	0,026	a
48	0,117	a	0,073	ab	0,056	b	0,034	b	0,028	ab

Tabela 13. Coeficientes angulares das retas da regressão linear dos valores de umidade e leitura do TDR por ponto para o segundo período (2001). Valores seguidos de mesma letra, na linha, não diferem ao nível de probabilidade de 95%.

Bateria	Camada									
	A		B		C		D		E	
1	0,042	a	0,102	a	0,041	a	0,038	a	0,091	a
2	0,040	a	0,029	a	0,028	a	0,000	a	0,009	a
3	0,053	ab	0,085	ab	0,085	a	0,014	b	0,038	b
4	0,053	ab	0,049	a	0,046	a	0,042	a	-0,029	b
5	0,063	a	-		-		0,021	a	0,085	a
6	0,058	a	0,018	a	0,031	a	0,058	a	0,023	a
7	-		0,037	a	0,099	b	0,090	b	-	
8	0,020	a	0,092	a	0,054	a	0,048	a	0,060	a
9	0,047	a	0,081	a	0,089	a	0,075	a	0,133	a
10	0,087	a	0,103	a	0,094	a	0,086	a	0,060	a
11	0,122	a	0,019	ab	0,036	b	-0,017	b	0,059	b
12	0,037	a	0,017	a	0,029	a	0,027	a	0,045	a
13	-0,002	a	0,050	a	0,023	a	-0,014	a	0,000	a
14	0,033	a	0,039	a	0,009	a	-0,006	a	0,058	a
15	0,133	a	0,092	ab	0,002	b	0,014	b	0,026	b
16	0,205	a	0,211	a	0,139	a	0,124	ab	0,045	b
17	0,168	a	0,177	a	0,158	a	0,180	a	0,042	a
18	0,022	ab	0,061	ab	0,113	a	0,012	b	0,066	ab
19	0,084	a	0,085	a	0,095	a	0,083	a	0,109	a
20	0,055	a	0,033	a	0,036	a	0,030	a	-0,002	a
21	-0,017	ab	0,020	ab	0,042	a	-		-0,001	b
22	0,112	a	0,103	a	0,055	a	0,052	a	0,038	a
23	0,039	a	0,006	a	0,008	a	0,020	a	0,005	a
24	0,056	a	0,013	a	0,018	a	0,024	a	0,039	a
25	0,111	a	0,039	a	0,057	a	0,058	a	0,056	a
26	0,058	a	0,097	a	0,060	a	0,091	a	0,040	a
28	0,064	a	0,007	a	0,282	b	0,030	a	0,062	a
29	0,122	a	-0,084	ab	0,057	ab	-0,029	b	0,052	ab
31	0,343	a	0,035	bc	0,038	b	0,067	cd	0,096	d
32	0,030	a	0,045	a	0,199	b	0,050	a	0,043	a
33	0,064	ab	0,081	ab	0,121	a	0,055	b	0,055	ab
34	0,110	a	0,115	a	0,076	a	0,079	a	0,063	a
35	0,116	a	0,036	a	0,098	a	0,066	a	0,032	a
36	0,075	a	0,055	a	0,049	a	0,031	a	0,046	a
37	0,058	ab	0,017	a	0,118	b	-		0,008	ab
38	0,015	a	0,015	a	0,022	a	0,039	a	0,005	a
39	-		0,032	a	0,003	a	0,052	a	0,049	a
40	0,037	a	0,047	a	0,045	a	0,012	a	0,050	a
41	0,042	ab	0,014	ab	0,007	a	0,008	ab	0,054	b
42	0,074	a	0,033	ab	0,020	b	0,040	ab	0,005	ab
43	0,099	ab	0,098	ab	0,118	a	0,290	c	0,028	b
44	-		-		0,028	a	0,038	a	0,040	a
45	0,005	ab	0,057	a	0,123	ab	0,137	b	0,076	ab
46	0,050	a	0,036	ab	-0,016	a	0,133	b	0,026	a
47	0,115	a	-0,119	ab	0,026	ab	0,006	b	0,014	ab
48	0,042	ab	0,106	ab	0,038	ab	0,024	a	0,080	b

Tabela 14. Coeficientes angulares das retas da regressão linear dos valores de umidade e leitura do TDR por ponto para todos os dados juntos (2000+2001). Valores seguidos de mesma letra, na linha, não diferem ao nível de probabilidade de 95%.

Bateria	Camada									
	A		B		C		D		E	
1	0,034	a	0,020	a	0,019	a	0,039	ab	0,098	b
2	0,048	a	0,051	a	0,050	a	-0,003	b	0,014	ab
3	0,068	a	0,050	ab	0,060	a	0,024	b	0,018	b
4	0,070	a	0,067	a	0,055	a	0,019	b	0,011	b
5	0,052	a	0,042	a	0,043	a	0,032	a	0,054	a
6	0,059	a	0,033	a	0,030	a	0,054	a	0,017	a
7	0,086	a	0,036	a	0,033	a	0,039	a	0,187	b
8	0,071	a	0,029	a	0,043	a	0,047	a	0,064	a
9	0,108	a	0,062	b	0,059	b	0,058	ab	0,000	c
10	0,117	a	0,049	bc	0,027	b	0,048	bc	0,090	ac
11	0,093	a	0,015	b	0,016	b	0,021	b	0,028	b
12	0,116	a	0,017	b	0,035	c	0,043	c	0,040	c
13	0,004	abc	0,048	b	0,049	b	0,030	abc	-0,001	c
14	0,074	a	0,038	bc	0,025	b	0,027	bc	0,062	ac
15	0,096	a	0,056	ab	0,023	b	0,028	b	0,048	b
16	0,066	a	0,048	a	0,055	a	0,099	a	0,000	b
17	0,107	a	0,020	b	0,044	c	0,019	b	0,051	abc
18	0,073	a	0,029	b	0,041	ab	0,049	ab	0,082	ab
19	0,159	a	0,045	b	0,091	c	0,061	bc	0,022	b
20	0,087	a	0,019	b	0,071	ac	0,044	c	0,037	abc
21	0,078	ab	0,054	a	0,074	ab	0,099	b	0,077	ab
22	0,092	a	0,074	a	0,049	a	0,069	a	0,078	a
23	0,071	a	0,004	b	0,018	c	0,015	bc	0,011	abc
24	0,042	a	0,021	a	0,023	a	0,029	a	0,031	a
25	0,046	ab	0,028	a	0,049	ab	0,061	b	0,047	ab
26	0,018	a	0,032	ab	0,032	a	0,086	b	0,014	a
28	0,064	a	0,030	ab	0,032	ab	0,016	b	0,049	ab
29	0,072	a	0,055	b	0,086	c	0,026	b	0,059	b
31	0,211	a	0,023	b	0,094	c	0,034	b	0,025	b
32	0,117	a	0,046	b	0,076	ac	0,057	bc	0,055	bc
33	0,070	a	0,051	ab	0,053	ab	0,029	b	0,074	a
34	0,098	a	0,065	b	0,045	b	0,045	b	0,054	b
35	0,092	a	0,032	b	0,041	b	0,047	b	0,051	ab
36	0,061	a	0,015	b	0,049	a	0,047	a	0,070	a
37	0,072	ab	0,022	a	0,058	b	0,042	ab	0,036	ab
38	0,040	ab	0,014	a	0,046	b	0,034	b	0,018	ab
39	0,103	a	0,021	b	0,026	b	0,066	c	0,074	ac
40	0,038	ab	0,029	a	0,035	a	0,076	b	0,058	ab
41	0,054	ab	0,013	cd	0,012	b	0,033	ac	0,081	b
42	0,029	a	0,013	ab	0,009	b	0,020	ab	0,024	ab
43	0,060	ab	0,023	bc	0,020	c	0,092	a	0,018	c
44	0,127	a	0,088	b	0,029	c	0,114	ab	0,047	bc
45	0,039	ab	0,024	a	0,050	ab	0,029	a	0,076	b
46	0,032	a	0,013	a	0,020	a	0,025	a	0,025	a
47	0,061	a	0,072	ab	0,010	b	0,028	ab	0,036	ab
48	0,027	ab	0,001	a	0,012	a	0,022	a	0,064	b

A análise de semelhanças entre os coeficientes angulares obtidos para cada ponto, por camada, revelou comportamento análogo ao que já vem sendo exposto. A Tabela 15 exibe os resultados desta análise. Observa-se um número grande de pontos semelhantes, em torno de 60% para o primeiro período e 80% para o segundo, concordando com os resultados anteriores. Para o conjunto de todos os dados os resultados foram intermediários. Nota-se que novamente a camada E apresentou o maior número de semelhanças, com as camadas intermediárias apresentando menores percentagens e a camada A um pouco maior.

A percentagem de pontos que se apresentaram semelhantes nos dois períodos simultaneamente ficou em torno de 40%. Sendo maior para a camada E, onde cerca de 60% dos pontos se mostrou estatisticamente igual tanto no primeiro como no segundo período.

Tabela 15. Resultados da análise de semelhança entre os coeficientes angulares para cada camada e período.

	Camada	Total de combinações	Total de semelhantes	Total de não semelhantes	Percentagem de semelhantes
2000	A	1.035	654	381	63,2
	B	1.035	500	535	48,3
	C	1.035	543	492	52,5
	D	1.035	691	344	66,8
	E	1.035	698	337	67,4
	Total	5.175	3.086	2.089	59,6
2001	A	903	798	105	88,4
	B	946	769	177	81,3
	C	990	649	341	65,6
	D	946	695	251	73,5
	E	990	936	54	94,5
	Total	4.775	3.847	928	80,6
2000+2001	A	1.035	713	322	68,9
	B	1.035	727	308	70,2
	C	1.035	697	338	67,3
	D	1.035	742	293	71,7
	E	1.035	809	226	78,2
	Total	5.175	3.688	1.487	71,3

As semelhanças entre pontos, como já discutido anteriormente, não seguem um padrão sistemático. A análise das semelhanças em função das distâncias entre os pontos corrobora esta constatação, não apresentando um padrão definido (Figuras 30, 31 e 32).

Basicamente poderiam ser esperados dois padrões para as semelhanças das curvas de calibração em função da distância que as separa: se as equações fossem iguais em todos os pontos e independentes da variabilidade dos atributos físicos do solo, não se deveria perceber nenhuma tendência ao longo da transeção e a percentagem de curvas semelhantes para todas as distâncias deveria ser elevada; por outro lado se alguma tendência pudesse ser identificada haveria indicativos de correlação da calibração com uma característica ou propriedade do solo e então um decréscimo da percentagem de curvas semelhantes em função da distância poderia ser esperado, pois pontos próximos tenderiam a ser mais semelhantes que pontos mais distanciados.

Os dados do primeiro período exibem tendências, ainda que fracas, seguindo a segunda proposição. A fração de pontos semelhantes decai em função da distância, especialmente para as três primeiras camadas. A camada A mostra esta tendência ao longo de toda a transeção, ao passo que nas camadas B e C este padrão é verificado para distancias pequenas, até 10 m. Destarte há indicativos de dependência espacial para este período.

No segundo período, a camada A manteve o mesmo padrão que para o primeiro período, enquanto nas camadas B, C e D a tendência de diminuição da percentagem de pontos semelhantes é percebida até distâncias em torno de 5 m. O número reduzido de pontos e uma tendência muito sutil não permitem, ou dificultam, maiores inferências acerca da variabilidade espacial das curvas de calibração, e isoladamente impedem quaisquer especulações sobre sua possível dependência espacial e a relação como os atributos do solo. Esta dificuldade é reforçada pelo fato de que a camada E no segundo período em especial, mas também no primeiro junto com a camada D, apresenta padrão de variação segundo a proposição de independência. Este padrão também pode ser notado ao se juntarem os dois conjuntos nas camadas B, D e E.

Figura 30 – Fração de pontos semelhantes em função da distância de comparação para o coeficiente angular da regressão tempo TDR×umidade, para o primeiro período (2000).

Figura 31 – Fração de pontos semelhantes em função da distância de comparação para o coeficiente angular da regressão tempo TDR×umidade, para o segundo período (2001).

Figura 32 – Fração de pontos semelhantes em função da distância de comparação para coeficiente angular da regressão tempo TDR×umidade, para os dados dos dois períodos (2000 + 2001).

Os resultados para a calibração no campo deste modelo de TDR, até aqui apresentados, demonstram a disparidade de comportamento entre diferentes hastes ou mesmo em diferentes segmentos de uma mesma haste. Resultados também negativos são reportados na literatura (Dasberg et al., 1995; Serrarens et al., 2000), sendo atribuídos a problemas com a alteração da densidade do solo por ocasião da instalação das hastes no solo. Dasberg et al. (1995) estimaram o raio do cilindro de influência das hastes deste modelo de TDR, segundo os quais este seria inferior a 1 centímetro. Sendo assim, a compactação do solo (diminuição da porosidade) ou a abertura de fendas (aumento do espaço poroso) pode alterar sensivelmente o teor volumétrico da água no solo nas proximidades das hastes, comprometendo a representatividade da leitura do TDR. Este fato poderia explicar o elevado grau de variabilidade entre curvas encontrado, especialmente para o primeiro período, apesar de as hastes terem sido instaladas cerca de 60 dias antes das leituras e ter sido efetuada forte irrigação na véspera do início dos experimentos. A explicação também perde credibilidade ao considerarmos o segundo período de observações, pois após mais de um ano no campo sob chuva e sol, o contato das hastes com o solo deveria ter melhorado, ao contrário do que foi observado. Porém, o aumento

da dispersão dos dados prejudica qualquer conclusão a respeito da melhora, mesmo tendo mais pontos semelhantes.

O fato de as leituras do TDR terem mostrado aumento da dispersão em relação à umidade do solo gera outro problema. Há indicativos da senescência das hastes, dos cabos ou conectores que ficaram um ano e meio no campo. Este fato é particularmente importante e estudos mais dirigidos devem ser feitos. Garantir a estabilidade temporal das medições é fundamental pois uma das principais vantagens do TDR seria a tomada de leituras da umidade no campo ao longo do tempo sem grande necessidade de manutenção.

4.3.3 Atributos do Solo e a Calibração

Apesar dos indícios de variação espacial, a relação da leitura do TDR e a umidade do solo, representada pelas retas de calibração não exibiu correlação bem definida com os atributos físicos determinados neste experimento. A correlação entre o coeficiente angular das retas e a densidade do solo apresentou comportamento diverso entre camadas diferentes (Tabela 16). As camadas C e D, que apresentaram maior densidade, também mostraram coeficientes de correlação superiores às demais nos dois períodos e para todos os dados, ao passo que para as camadas B e E o coeficiente ficou muito reduzido. A camada A apresentou correlação intermediária às demais. Para a densidade dos sólidos as camadas B e D exibiram coeficientes de correlação superior às outras.

Os valores de correlação com a densidade do solo e dos sólidos parecem concordar com a literatura, onde a função de calibração seria pouco dependente da densidade. O coeficiente de correlação maior para camadas com densidades maiores poderia indicar uma interação mais significativa da calibração do TDR com a densidade quando esta for elevada, mas estudos mais detalhados deveriam ser feitos para comprovar isto.

Tabela 16. Coeficientes de correlação entre o coeficiente angular das retas de calibração e alguns atributos físicos do solo, analisados para os dois anos de observação em separado e em conjunto.

Período	Camada	Densidade do solo	Densidade dos sólidos	Teor de areia	Teor de silte	Teor de argila
2000	A	-0,209	-0,025	-0,027	0,030	0,024
	B	-0,180	-0,238	0,511	0,045	-0,550
	C	-0,405	0,111	0,336	-0,144	-0,320
	D	-0,546	-0,493	0,239	-0,107	-0,247
	E	-0,156	-0,271	-0,001	-0,223	0,071
2001	A	-0,140	-0,013	0,177	-0,142	-0,181
	B	-0,081	0,116	0,263	-0,054	-0,263
	C	-0,290	0,019	0,266	-0,228	-0,220
	D	-0,407	-0,194	0,205	-0,305	-0,146
	E	-0,086	-0,002	0,003	-0,175	0,052
2000 + 2001	A	-0,191	-0,212	-0,214	0,134	0,218
	B	-0,029	-0,103	0,247	-0,065	-0,209
	C	-0,380	-0,012	0,008	-0,070	0,012
	D	-0,366	-0,274	0,143	-0,169	-0,114
	E	0,072	-0,159	-0,003	-0,104	0,036

A análise de correlação entre o coeficiente angular das retas de calibração e os componentes da granulometria também apresentou resultados irregulares. Todos os coeficientes foram baixos, atingindo pouco mais de 0,50 para a camada B no primeiro período tanto para argila como para a areia, com sinal contrário, como era de se esperar pois estes teores mostraram correlação estreita e inversa. Não foi possível identificar nenhuma tendência definida. Para os dois períodos em separado as camadas intermediárias exibiram correlação maior que as camadas extremas, porém com todos os dados reunidos os coeficientes reduziram-se, e na camada C chegou a praticamente zero.

O padrão das semelhanças em função da distância entre pontos e a análise de correlação da calibração com os atributos do solo não exibiram as correspondências que podiam ser esperadas. A camada A, que mostrou tendências com padrão que sugere dependência

espacial da calibração (Figuras 30 a 32), exibiu coeficientes de correlação bastante baixos, ou ainda contradizentes, entre um período e outro. Este padrão de contrariedade foi observado para as demais camadas, sendo a falta de correspondência das correlações entre um período e outro um dos principais problemas (Tabela 16). A camada D, que apresenta coeficientes de correlação relativamente altos para alguns atributos, não exibiu nenhum padrão definido de variação espacial. A camada C talvez possa ser considerada como a que apresenta o comportamento mais próximo do esperado, já que exibiu tendência de diminuição das semelhanças em função do aumento da distância entre pontos e também índices de correlação elevados em relação às demais camadas, com alguns atributos do solo.

Como se observa na Tabela 16, apesar de alguns coeficientes de correlação se apresentarem relativamente altos, os valores absolutos são bastante reduzidos. Este detalhe é importante, pois qualquer conclusão é deturpada pelos baixos valores de correlação. Aliando-se a isto, o fato de muitas curvas de calibração apresentarem dispersão elevada, reduzindo a legitimidade da análise de semelhanças, também implica em incertezas demasiadamente grandes que impedem inferências seguras a respeito de seu padrão de comportamento. Por outro lado, o fato de alguns pontos apresentarem, ao menos parcialmente, o padrão previsto impede o descarte das hipóteses levantadas. Sugere-se que uma pesquisa mais profunda seja efetuada.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados expostos e discutidos neste trabalho foi possível chegar-se às seguintes conclusões:

- 1 Os estudos de calibração de equipamentos no campo são um expediente determinante na definição da aplicabilidade da técnica do TDR para uso em escala e no campo;
- 2 O uso da tensiometria, apesar de trabalhoso, é viável como referência em experimentos de calibração ou validação no campo, de equipamentos para medição de umidade do solo;
- 3 O tipo de TDR estudado, embora apresente várias vantagens em relação aos demais, tem seu uso no campo inviabilizado devido à grande variabilidade da relação das suas respostas com o conteúdo de água do solo;
- 4 A variação das respostas do equipamento em função do tempo de permanência no campo das hastes exibiu padrões de senescência das mesmas.
- 5 Os indícios de variabilidade espacial e relação de dependência com atributos do solo não puderam ser confirmados devido à grande dispersão do conjunto de dados obtidos.

ANEXOS

Anexo A. Umidade média (θ_m), Desvio padrão (Dp), número de observações (n), intervalo de confiança a 95% de probabilidade para a média (IC95%), número de pontos concordantes (nC) e sua percentagem (%C) por camada para os dados do primeiro período de observações (2000).

Bat.	Camada A						Camada B						Camada C						Camada D						Camada E					
	θ_m	Dp	n	IC95%	nC	%C	θ_m	Dp	n	IC95%	nC	%C	θ_m	Dp	n	IC95%	nC	%C	θ_m	Dp	n	IC95%	nC	%C	θ_m	Dp	n	IC95%	nC	%C
1	0,316	0,0243	25	0,0095	6	13,3	0,277	0,0213	23	0,0087	14	31,1	0,263	0,0135	24	0,0054	21	46,7	0,282	0,0134	25	0,0052	18	40,0	0,274	0,0140	25	0,0072	29	64,4
2	0,310	0,0205	25	0,0080	9	20,0	0,278	0,0264	25	0,0103	14	31,1	0,254	0,0139	24	0,0055	27	60,0	0,283	0,0153	25	0,0060	18	40,0	0,272	0,0121	25	0,0062	27	60,0
3	0,290	0,0427	25	0,0168	28	62,2	0,247	0,0212	24	0,0085	22	48,9	0,252	0,0152	24	0,0061	30	66,7	0,271	0,0083	24	0,0033	17	37,8	0,286	0,0099	25	0,0051	19	42,2
4	0,276	0,0356	25	0,0140	28	62,2	0,242	0,0246	25	0,0097	24	53,3	0,248	0,0161	24	0,0064	24	53,3	0,269	0,0101	24	0,0040	20	44,4	0,283	0,0091	25	0,0047	19	42,2
5	0,285	0,0325	25	0,0127	24	53,3	0,258	0,0168	25	0,0066	18	40,0	0,251	0,0119	23	0,0049	23	51,1	0,285	0,0144	24	0,0058	15	33,3	0,279	0,0135	25	0,0070	25	55,6
6	0,287	0,0319	25	0,0125	22	48,9	0,259	0,0178	25	0,0070	19	42,2	0,249	0,0159	24	0,0063	24	53,3	0,283	0,0113	24	0,0045	15	33,3	0,288	0,0178	24	0,0093	21	46,7
7	0,270	0,0362	25	0,0142	28	62,2	0,244	0,0302	25	0,0118	24	53,3	0,250	0,0136	24	0,0054	26	57,8	0,263	0,0135	25	0,0053	26	57,8	0,272	0,0144	25	0,0074	28	62,2
8	0,280	0,0322	25	0,0126	25	55,6	0,246	0,0294	25	0,0115	22	48,9	0,252	0,0133	24	0,0053	26	57,8	0,263	0,0110	24	0,0044	25	55,6	0,266	0,0114	25	0,0059	19	42,2
9	0,271	0,0411	25	0,0161	31	68,9	0,240	0,0347	25	0,0136	25	55,6	0,260	0,0159	24	0,0064	32	71,1	0,260	0,0193	25	0,0075	26	57,8	0,279	0,0145	25	0,0074	27	60,0
10	0,264	0,0420	25	0,0164	33	73,3	0,242	0,0338	25	0,0133	25	55,6	0,251	0,0180	24	0,0072	30	66,7	0,258	0,0181	25	0,0071	23	51,1	0,272	0,0155	25	0,0080	28	62,2
11	0,289	0,0387	25	0,0152	25	55,6	0,274	0,0088	25	0,0034	14	31,1	0,253	0,0073	24	0,0029	21	46,7	0,283	0,0058	25	0,0023	13	28,9	0,272	0,0125	25	0,0064	27	60,0
12	0,287	0,0402	25	0,0158	27	60,0	0,274	0,0091	25	0,0036	14	31,1	0,249	0,0128	25	0,0050	24	53,3	0,281	0,0117	25	0,0046	19	42,2	0,279	0,0083	25	0,0043	23	51,1
13	0,308	0,0281	25	0,0110	12	26,7	0,250	0,0316	25	0,0124	24	53,3	0,250	0,0158	24	0,0063	26	57,8	0,257	0,0158	24	0,0063	22	48,9	0,279	0,0148	25	0,0076	28	62,2
14	0,311	0,0248	25	0,0097	9	20,0	0,253	0,0256	25	0,0100	24	53,3	0,251	0,0157	23	0,0064	30	66,7	0,258	0,0158	25	0,0062	22	48,9	0,282	0,0160	25	0,0082	27	60,0
15	0,248	0,0395	25	0,0155	27	60,0	0,246	0,0370	25	0,0145	27	60,0	0,248	0,0193	24	0,0077	26	57,8	0,277	0,0151	25	0,0059	23	51,1	0,279	0,0154	25	0,0080	28	62,2
16	0,242	0,0337	25	0,0132	23	51,1	0,235	0,0347	25	0,0136	22	48,9	0,246	0,0211	25	0,0083	25	55,6	0,279	0,0123	24	0,0049	22	48,9	0,273	0,0118	25	0,0061	27	60,0
17	0,262	0,0302	25	0,0118	28	62,2	0,253	0,0219	25	0,0086	24	53,3	0,267	0,0166	25	0,0065	15	33,3	0,286	0,0143	25	0,0056	13	28,9	0,296	0,0157	25	0,0081	9	20,0
18	0,263	0,0335	25	0,0131	30	66,7	0,256	0,0250	25	0,0098	25	55,6	0,264	0,0175	25	0,0069	20	44,4	0,286	0,0143	23	0,0059	13	28,9	0,289	0,0149	24	0,0078	18	40,0
19	0,250	0,0354	25	0,0139	27	60,0	0,243	0,0227	25	0,0089	22	48,9	0,234	0,0333	25	0,0131	22	48,9	0,258	0,0111	24	0,0045	21	46,7	0,277	0,0113	24	0,0060	24	53,3
20	0,242	0,0324	25	0,0127	22	48,9	0,242	0,0210	25	0,0082	20	44,4	0,234	0,0316	25	0,0124	20	44,4	0,258	0,0155	25	0,0061	22	48,9	0,267	0,0147	25	0,0076	25	55,6
21	0,235	0,0446	25	0,0175	21	46,7	0,237	0,0325	25	0,0127	23	51,1	0,231	0,0238	25	0,0093	10	22,2	0,264	0,0145	25	0,0057	28	62,2	0,263	0,0141	25	0,0073	20	44,4
22	0,233	0,0414	25	0,0162	18	40,0	0,235	0,0334	25	0,0131	22	48,9	0,228	0,0228	24	0,0091	8	17,8	0,261	0,0143	24	0,0057	24	53,3	0,255	0,0120	25	0,0062	6	13,3
23	0,261	0,0352	25	0,0138	32	71,1	0,314	0,0029	23	0,0012	1	2,2	0,252	0,0087	24	0,0035	22	48,9	0,258	0,0087	25	0,0034	21	46,7	0,280	0,0219	25	0,0113	30	66,7
24	0,266	0,0299	25	0,0117	28	62,2	0,317	0,0116	25	0,0046	1	2,2	0,254	0,0100	25	0,0039	25	55,6	0,262	0,0122	25	0,0048	24	53,3	0,282	0,0100	25	0,0052	19	42,2
25	0,278	0,0295	25	0,0116	25	55,6	0,279	0,0239	25	0,0094	14	31,1	0,262	0,0169	25	0,0066	27	60,0	0,245	0,0165	25	0,0065	8	17,8	0,278	0,0154	25	0,0079	28	62,2
26	0,275	0,0295	25	0,0116	27	60,0	0,277	0,0255	25	0,0100	14	31,1	0,263	0,0174	25	0,0068	21	46,7	0,253	0,0210	25	0,0082	22	48,9	0,274	0,0196	25	0,0101	32	71,1
28	0,228	0,0390	25	0,0153	14	31,1	0,219	0,0339	24	0,0136	12	26,7	0,229	0,0428	25	0,0168	20	44,4	0,267	0,0217	24	0,0087	34	75,6	0,263	0,0137	25	0,0071	20	44,4
29	0,270	0,0419	25	0,0164	30	66,7	0,260	0,0276	25	0,0108	31	68,9	0,254	0,0276	25	0,0108	36	80,0	0,271	0,0156	24	0,0063	26	57,8	0,277	0,0077	24	0,0041	19	42,2
31	0,258	0,0532	25	0,0208	34	75,6	0,271	0,0186	24	0,0075	17	37,8	0,272	0,0331	25	0,0130	20	44,4	0,272	0,0115	24	0,0046	20	44,4	0,294	0,0115	25	0,0059	9	20,0
32	0,260	0,0482	25	0,0189	34	75,6	0,268	0,0217	25	0,0085	22	48,9	0,268	0,0322	25	0,0126	31	68,9	0,274	0,0138	25	0,0054	23	51,1	0,292	0,0109	25	0,0056	11	24,4
33	0,254	0,0410	25	0,0161	29	64,4	0,223	0,0216	25	0,0085	10	22,2	0,237	0,0222	25	0,0087	20	44,4	0,259	0,0121	25	0,0047	21	46,7	0,265	0,0145	25	0,0075	19	42,2
34	0,259	0,0411	25	0,0161	32	71,1	0,224	0,0251	25	0,0098	12	26,7	0,240	0,0262	25	0,0103	24	53,3	0,257	0,0155	24	0,0062	22	48,9	0,261	0,0127	25	0,0065	15	33,3
35	0,350	0,0336	25	0,0132	1	2,2	0,271	0,0149	25	0,0059	16	35,6	0,270	0,0201	25	0,0079	15	33,3	0,261	0,0140	25	0,0055	24	53,3	0,286	0,0111	25	0,0057	21	46,7
36	0,343	0,0353	25	0,0138	2	4,4	0,266	0,0157	25	0,0062	22	48,9	0,273	0,0191	25	0,0075	17	37,8	0,265	0,0119	24	0,0048	27	60,0	0,286	0,0090	25	0,0046	17	37,8
37	0,318	0,0290	25	0,0114	6	13,3	0,299	0,0089	25	0,0035	3	6,7	0,287	0,0224	25	0,0088	6	13,3	0,276	0,0083	25	0,0032	19	42,2	0,302	0,0076	25	0,0039	2	4,4
38	0,319	0,0265	25	0,0104	6	13,3	0,299	0,0082	25	0,0032	3	6,7	0,292	0,0216	25	0,0085	3	6,7	0,278	0,0074	25	0,0029	21	46,7	0,301	0,0059	25	0,0030	2	4,4
39	0,236	0,0330	25	0,0129	18	40,0	0,234	0,0287	25	0,0112	21	46,7	0,222	0,0196	25	0,0077	7	15,6	0,252	0,0201	25	0,0079	20	44,4	0,268	0,0134	25	0,0069	25	55,6
40	0,247	0,0288	25	0,011311																										

Anexo B. Leitura média do TDR, (T_{TDR}), Desvio padrão (Dp), número de observações (n), intervalo de confiança a 95% de probabilidade para a média (IC95%), número de pontos concordantes (nC) e sua percentagem (%C) por camada para os dados do primeiro período de observações (2000).

Bat.	Camada A						Camada B						Camada C						Camada D						Camada E					
	T _{TDR}	D _p	n	IC _{95%}	nC	%C	T _{TDR}	D _p	n	IC _{95%}	nC	%C	T _{TDR}	D _p	n	IC _{95%}	nC	%C	T _{TDR}	D _p	n	IC _{95%}	nC	%C	T _{TDR}	D _p	n	IC _{95%}	nC	%C
1	3,343	0,3746	25	0,1468	22	48,9	3,915	0,2459	23	0,1005	34	75,6	2,809	0,1350	24	0,0540	31	68,9	3,503	0,1274	25	0,0499	28	62,2	3,235	0,0852	25	0,0334	14	31,1
2	3,304	0,3216	25	0,1261	21	46,7	3,690	0,3553	25	0,1393	35	77,8	2,883	0,0738	24	0,0295	31	68,9	3,534	0,0698	25	0,0274	26	57,8	3,502	0,0570	25	0,0223	7	15,6
3	3,527	0,3333	25	0,1306	12	26,7	3,873	0,2823	24	0,1129	37	82,2	2,917	0,1673	24	0,0669	35	77,8	3,561	0,0684	24	0,0274	25	55,6	3,372	0,1653	25	0,0648	16	35,6
4	3,497	0,3762	25	0,1475	13	28,9	3,700	0,2971	25	0,1164	34	75,6	3,066	0,2311	24	0,0925	15	33,3	3,419	0,1341	24	0,0536	17	37,8	3,559	0,1145	25	0,0449	7	15,6
5	3,328	0,3786	25	0,1484	22	48,9	3,924	0,3108	25	0,1218	35	77,8	2,831	0,2434	23	0,0995	37	82,2	3,551	0,2013	24	0,0805	32	71,1	3,479	0,2548	25	0,0999	17	37,8
6	3,029	0,3340	25	0,1309	26	57,8	3,820	0,3064	25	0,1201	42	93,3	2,794	0,2112	24	0,0845	34	75,6	3,611	0,1529	24	0,0612	31	68,9	3,362	0,1187	24	0,0475	15	33,3
7	2,724	0,3268	25	0,1281	13	28,9	4,085	0,2427	25	0,0951	17	37,8	2,888	0,1919	24	0,0768	35	77,8	3,493	0,2579	25	0,1011	33	73,3	3,372	0,0821	25	0,0322	14	31,1
8	2,735	0,2739	25	0,1074	12	26,7	3,947	0,2687	25	0,1053	30	66,7	2,985	0,1868	24	0,0747	28	62,2	3,612	0,1449	24	0,0580	29	64,4	3,250	0,1152	25	0,0452	16	35,6
9	2,932	0,2672	25	0,1047	25	55,6	3,982	0,2581	25	0,1012	25	55,6	3,130	0,1203	24	0,0481	6	13,3	3,685	0,1010	25	0,0396	14	31,1	3,416	0,2861	25	0,1122	20	44,4
10	2,789	0,2766	25	0,1084	13	28,9	3,740	0,2948	25	0,1155	35	77,8	2,997	0,1832	24	0,0733	25	55,6	3,542	0,1677	25	0,0657	31	68,9	3,201	0,1132	25	0,0444	13	28,9
11	3,095	0,3537	25	0,1386	32	71,1	3,965	0,2188	25	0,0858	25	55,6	3,218	0,0796	24	0,0319	1	2,2	3,482	0,1325	25	0,0519	28	62,2	3,253	0,0876	25	0,0344	14	31,1
12	2,667	0,2420	25	0,0949	9	20,0	3,690	0,3038	25	0,1191	33	73,3	2,829	0,2411	25	0,0945	37	82,2	3,583	0,1516	25	0,0594	30	66,7	3,212	0,1385	25	0,0543	14	31,1
13	3,277	0,3185	25	0,1248	26	57,8	3,828	0,3394	25	0,1330	42	93,3	3,063	0,1931	24	0,0773	13	28,9	3,543	0,1342	24	0,0537	30	66,7	3,031	0,1888	25	0,0740	9	20,0
14	2,867	0,2621	25	0,1028	23	51,1	3,630	0,3081	25	0,1208	25	55,6	2,581	0,2346	23	0,0959	7	15,6	3,523	0,2336	25	0,0916	34	75,6	3,162	0,1584	25	0,0621	18	40,0
15	3,148	0,3071	25	0,1204	27	60,0	3,918	0,3157	25	0,1238	35	77,8	2,829	0,2717	24	0,1087	37	82,2	3,763	0,1941	25	0,0761	12	26,7	3,464	0,1900	25	0,0745	16	35,6
16	3,306	0,2562	25	0,1004	20	44,4	3,601	0,2218	25	0,0869	19	42,2	2,882	0,2085	25	0,0817	35	77,8	3,554	0,0903	24	0,0361	26	57,8	3,068	0,1099	25	0,0431	8	17,8
17	3,012	0,2220	25	0,0870	24	53,3	3,745	0,2620	25	0,1027	35	77,8	2,716	0,2666	25	0,1045	31	68,9	3,528	0,1369	25	0,0537	28	62,2	3,220	0,1386	25	0,0543	15	33,3
18	3,042	0,2500	25	0,0980	25	55,6	3,967	0,2661	25	0,1043	27	60,0	2,986	0,2887	25	0,1131	36	80,0	3,587	0,1097	23	0,0448	27	60,0	3,180	0,0515	24	0,0206	9	20,0
19	2,565	0,1611	25	0,0631	4	8,9	3,601	0,2763	25	0,1083	23	51,1	2,483	0,2578	25	0,1010	4	8,9	3,327	0,1550	24	0,0620	8	17,8	3,094	0,0629	24	0,0252	7	15,6
20	3,047	0,2540	25	0,0996	25	55,6	3,899	0,3494	25	0,1370	38	84,4	2,656	0,2500	25	0,0980	23	51,1	3,621	0,2406	25	0,0943	34	75,6	3,174	0,1243	25	0,0487	14	31,1
21	3,144	0,2393	25	0,0938	26	57,8	3,735	0,3103	25	0,1216	35	77,8	2,839	0,1788	25	0,0701	32	71,1	3,338	0,1346	25	0,0528	8	17,8	2,970	0,0881	25	0,0345	2	4,4
22	3,107	0,2419	25	0,0948	27	60,0	3,628	0,2955	25	0,1158	25	55,6	2,891	0,2344	24	0,0938	36	80,0	3,256	0,1655	24	0,0662	5	11,1	2,867	0,0977	25	0,0383	2	4,4
23	3,091	0,3274	25	0,1283	31	68,9	3,888	0,2958	23	0,1209	38	84,4	2,842	0,2282	24	0,0913	36	80,0	3,432	0,1754	25	0,0687	21	46,7	2,813	0,1106	25	0,0433	3	6,7
24	3,278	0,2859	25	0,1121	22	48,9	3,453	0,3490	25	0,1368	12	26,7	2,809	0,2410	25	0,0945	34	75,6	3,079	0,1773	25	0,0695	0	0,0	2,733	0,0992	25	0,0389	1	2,2
25	3,283	0,3002	25	0,1177	24	53,3	3,723	0,2820	25	0,1105	34	75,6	2,807	0,2903	25	0,1138	35	77,8	3,409	0,2544	25	0,0997	23	51,1	2,915	0,2841	25	0,1114	6	13,3
26	3,536	0,2585	25	0,1013	7	15,6	3,720	0,2656	25	0,1041	33	73,3	3,040	0,2477	25	0,0971	21	46,7	3,720	0,1263	25	0,0495	14	31,1	3,542	0,1166	25	0,0457	8	17,8
28	3,059	0,2784	25	0,1091	29	64,4	3,746	0,3180	24	0,1272	36	80,0	2,932	0,2976	25	0,1167	38	84,4	3,699	0,1451	24	0,0581	17	37,8	3,316	0,1235	25	0,0484	19	42,2
29	3,325	0,4080	25	0,1599	25	55,6	3,656	0,3342	25	0,1310	30	66,7	2,644	0,2544	25	0,0997	21	46,7	3,446	0,1522	24	0,0609	21	46,7	3,080	0,1222	24	0,0489	9	20,0
31	2,681	0,2404	25	0,0942	10	22,2	3,861	0,3343	24	0,1338	42	93,3	2,747	0,4084	25	0,1601	35	77,8	3,610	0,1941	24	0,0776	33	73,3	3,237	0,2318	25	0,0909	22	48,9
32	2,880	0,2182	25	0,0855	21	46,7	3,682	0,2809	25	0,1101	30	66,7	2,736	0,3053	25	0,1197	33	73,3	3,579	0,1620	25	0,0635	30	66,7	3,307	0,1429	25	0,0560	20	44,4
33	3,089	0,3219	25	0,1262	31	68,9	3,802	0,2869	25	0,1124	41	91,1	2,818	0,2568	25	0,1007	35	77,8	3,612	0,2315	25	0,0908	33	73,3	3,335	0,1489	25	0,0584	20	44,4
34	2,889	0,3266	25	0,1280	26	57,8	3,740	0,3474	25	0,1362	37	82,2	2,855	0,4138	25	0,1622	40	88,9	3,806	0,2004	24	0,0802	6	13,3	3,375	0,1402	25	0,0549	15	33,3
35	2,855	0,2781	25	0,1090	24	53,3	3,837	0,2610	25	0,1023	40	88,9	2,843	0,3083	25	0,1209	38	84,4	3,497	0,1536	25	0,0602	31	68,9	3,340	0,1294	25	0,0507	18	40,0
36	3,037	0,3341	25	0,1310	29	64,4	3,947	0,3064	25	0,1201	32	71,1	2,865	0,2666	25	0,1045	36	80,0	3,699	0,1464	24	0,0586	17	37,8	3,590	0,0639	25	0,0251	4	8,9
37	2,975	0,2297	25	0,0900	25	55,6	3,664	0,2924	25	0,1146	30	66,7	2,808	0,2559	25	0,1003	34	75,6	3,555	0,1612	25	0,0632	31	68,9	3,166	0,1146	25	0,0449	13	28,9
38	2,679	0,2797	25	0,1096	11	24,4	3,621	0,2869	25	0,1125	24	53,3	2,650	0,3036	25	0,1190	27	60,0	3,368	0,2055	25	0,0806	14	31,1	3,269	0,0858	25	0,0336	13	28,9
39	2,836	0,3083	25	0,1209	22	48,9	3,995	0,3025	25	0,1186	26	57,8	2,857	0,2851	25	0,1118	37	82,2	3,538	0,2600	25	0,								

Anexo C. Umidade média (θ_m), Desvio padrão (Dp), número de observações (n), intervalo de confiança a 95% de probabilidade para a média (IC95%), número de pontos concordantes (nC) e sua percentagem (%C) por camada para os dados do segundo período de observações (2001).

Bat.	Camada A						Camada B						Camada C						Camada D						Camada E					
	θ_m	Dp	n	IC95%	nC	%C	θ_m	Dp	n	IC95%	nC	%C	θ_m	Dp	n	IC95%	nC	%C	θ_m	Dp	n	IC95%	nC	%C	θ_m	Dp	n	IC95%	nC	%C
1	0,300	0,0192	22	0,0080	11	26,2	0,268	0,0211	22	0,0088	13	30,2	0,249	0,0155	22	0,0065	24	54,5	0,276	0,0172	20	0,0075	26	60,5	0,270	0,0230	22	0,0096	29	65,9
2	0,297	0,0150	21	0,0064	11	26,2	0,263	0,0174	22	0,0073	12	27,9	0,247	0,0125	22	0,0052	23	52,3	0,275	0,0150	22	0,0063	26	60,5	0,275	0,0172	22	0,0072	31	70,5
3	0,263	0,0278	21	0,0119	18	42,9	0,236	0,0217	22	0,0091	19	44,2	0,243	0,0177	22	0,0074	23	52,3	0,266	0,0115	22	0,0048	26	60,5	0,267	0,0094	22	0,0039	21	47,7
4	0,310	0,0227	4	0,0223	13	31,0	0,236	0,0197	22	0,0082	19	44,2	0,243	0,0157	22	0,0066	23	52,3	0,264	0,0115	22	0,0048	26	60,5	0,282	0,0101	18	0,0047	24	54,5
5	0,279	0,0198	22	0,0083	11	26,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,283	0,0145	22	0,0060	18	41,9	0,283	0,0192	22	0,0080	30	68,2
6	0,284	0,0225	22	0,0094	13	31,0	0,257	0,0134	22	0,0056	14	32,6	0,248	0,0148	22	0,0062	24	54,5	0,285	0,0125	22	0,0052	13	30,2	0,305	0,0271	21	0,0116	12	27,3
7	-	-	-	-	-	-	0,240	0,0195	22	0,0081	19	44,2	0,250	0,0136	22	0,0057	24	54,5	0,264	0,0143	19	0,0064	31	72,1	-	-	-	-	-	-
8	0,287	0,0317	20	0,0139	16	38,1	0,244	0,0212	22	0,0089	20	46,5	0,247	0,0112	22	0,0047	22	50,0	0,261	0,0117	22	0,0049	22	51,2	0,271	0,0158	22	0,0066	29	65,9
9	0,239	0,0254	22	0,0106	17	40,5	0,225	0,0219	22	0,0092	12	27,9	0,245	0,0196	22	0,0082	25	56,8	0,252	0,0204	22	0,0085	20	46,5	0,294	0,0302	22	0,0126	26	59,1
10	0,241	0,0279	22	0,0116	20	47,6	0,230	0,0250	22	0,0105	18	41,9	0,250	0,0190	22	0,0080	25	56,8	0,256	0,0219	22	0,0091	24	55,8	0,273	0,0185	22	0,0077	30	68,2
11	0,281	0,0267	21	0,0114	15	35,7	0,271	0,0042	22	0,0017	6	14,0	0,247	0,0064	22	0,0027	21	47,7	0,288	0,0059	10	0,0036	7	16,3	0,272	0,0097	22	0,0040	25	56,8
12	0,315	0,0493	22	0,0206	10	23,8	0,273	0,0049	22	0,0021	5	11,6	0,245	0,0073	22	0,0030	19	43,2	0,278	0,0081	22	0,0034	18	41,9	0,278	0,0143	22	0,0060	28	63,6
13	0,353	0,0504	14	0,0264	6	14,3	0,247	0,0174	21	0,0074	20	46,5	0,246	0,0138	22	0,0058	23	52,3	0,253	0,0128	22	0,0053	16	37,2	0,278	0,0197	22	0,0082	32	72,7
14	0,303	0,0202	22	0,0085	8	19,0	0,250	0,0191	20	0,0084	19	44,2	0,250	0,0151	21	0,0065	25	56,8	0,258	0,0143	21	0,0061	23	53,5	0,282	0,0186	22	0,0078	29	65,9
15	0,242	0,0346	22	0,0145	21	50,0	0,233	0,0376	22	0,0157	20	46,5	0,247	0,0203	22	0,0085	24	54,5	0,273	0,0146	22	0,0061	24	55,8	0,276	0,0150	22	0,0063	31	70,5
16	0,244	0,0273	22	0,0114	19	45,2	0,248	0,0367	21	0,0157	25	58,1	0,240	0,0207	22	0,0086	25	56,8	0,266	0,0173	22	0,0072	30	69,8	0,268	0,0087	22	0,0036	21	47,7
17	0,251	0,0240	22	0,0100	18	42,9	0,243	0,0206	22	0,0086	20	46,5	0,260	0,0168	22	0,0070	20	45,5	0,280	0,0131	22	0,0055	19	44,2	0,295	0,0211	22	0,0088	19	43,2
18	0,251	0,0231	22	0,0097	17	40,5	0,254	0,0196	22	0,0082	16	37,2	0,258	0,0150	22	0,0063	20	45,5	0,279	0,0146	22	0,0061	20	46,5	0,289	0,0211	22	0,0088	26	59,1
19	0,236	0,0218	22	0,0091	16	38,1	0,239	0,0160	22	0,0067	17	39,5	0,229	0,0195	22	0,0081	11	25,0	0,254	0,0109	22	0,0045	17	39,5	0,273	0,0184	22	0,0077	31	70,5
20	0,236	0,0266	22	0,0111	19	45,2	0,242	0,0149	22	0,0062	17	39,5	0,227	0,0181	22	0,0076	8	18,2	0,254	0,0100	22	0,0042	15	34,9	0,270	0,0155	22	0,0065	26	59,1
21	0,219	0,0249	22	0,0104	11	26,2	0,231	0,0266	22	0,0111	18	41,9	0,225	0,0143	22	0,0060	6	13,6	-	-	-	-	-	-	0,237	0,0037	22	0,0016	0	0,0
22	0,225	0,0265	22	0,0111	13	31,0	0,232	0,0251	21	0,0107	19	44,2	0,228	0,0172	22	0,0072	9	20,5	0,261	0,0116	22	0,0048	22	51,2	0,265	0,0146	22	0,0061	21	47,7
23	0,254	0,0242	22	0,0101	18	42,9	0,315	0,0049	19	0,0022	2	4,7	0,252	0,0075	17	0,0036	23	52,3	0,257	0,0081	16	0,0040	20	46,5	0,277	0,0147	22	0,0062	31	70,5
24	0,282	0,0302	22	0,0126	17	40,5	0,317	0,0089	22	0,0037	2	4,7	0,254	0,0056	22	0,0023	18	40,9	0,260	0,0082	22	0,0034	22	51,2	0,283	0,0146	22	0,0061	26	59,1
25	0,283	0,0237	22	0,0099	14	33,3	0,289	0,0199	22	0,0083	6	14,0	0,263	0,0154	22	0,0064	14	31,8	0,247	0,0167	22	0,0070	11	25,6	0,280	0,0175	22	0,0073	30	68,2
26	0,278	0,0240	22	0,0100	12	28,6	0,299	0,0248	22	0,0104	8	18,6	0,266	0,0167	22	0,0070	10	22,7	0,251	0,0190	22	0,0079	19	44,2	0,286	0,0226	22	0,0095	30	68,2
28	0,219	0,0217	22	0,0091	9	21,4	0,224	0,0413	22	0,0172	18	41,9	0,223	0,0378	22	0,0158	13	29,5	0,266	0,0163	22	0,0068	30	69,8	0,267	0,0156	22	0,0065	23	52,3
29	0,257	0,0283	22	0,0118	18	42,9	0,298	0,0103	3	0,0116	8	18,6	0,250	0,0219	22	0,0091	26	59,1	0,275	0,0138	18	0,0064	26	60,5	0,293	0,0201	14	0,0105	22	50,0
31	0,234	0,0375	22	0,0157	19	45,2	0,269	0,0149	22	0,0062	11	25,6	0,208	0,0078	22	0,0032	1	2,3	0,272	0,0121	22	0,0051	23	53,5	0,292	0,0109	22	0,0046	16	36,4
32	0,237	0,0268	22	0,0112	19	45,2	0,262	0,0108	22	0,0045	9	20,9	0,256	0,0254	22	0,0106	28	63,6	0,268	0,0114	22	0,0048	25	58,1	0,295	0,0108	22	0,0045	11	25,0
33	0,254	0,0217	22	0,0091	17	40,5	0,226	0,0145	22	0,0061	10	23,3	0,242	0,0175	22	0,0073	24	54,5	0,259	0,0108	22	0,0045	22	51,2	0,273	0,0166	22	0,0069	29	65,9
34	0,252	0,0260	22	0,0109	18	42,9	0,223	0,0209	22	0,0088	9	20,9	0,245	0,0241	15	0,0122	29	65,9	0,257	0,0150	22	0,0063	23	53,5	0,262	0,0135	22	0,0057	19	43,2
35	0,353	0,0272	22	0,0114	3	7,1	0,276	0,0113	22	0,0047	6	14,0	0,273	0,0150	22	0,0063	8	18,2	0,264	0,0116	22	0,0049	27	62,8	0,298	0,0151	17	0,0072	13	29,5
36	0,353	0,0241	22	0,0101	3	7,1	0,273	0,0114	22	0,0048	8	18,6	0,280	0,0127	22	0,0053	6	13,6	0,274	0,0099	22	0,0042	22	51,2	0,296	0,0107	22	0,0045	11	25,0
37	0,345	0,0156	22	0,0065	4	9,5	0,309	0,0064	22	0,0027	4	9,3	0,300	0,0142	22	0,0060	2	4,5	-	-	-	-	-	-	0,309	0,0058	22	0,0024	2	4,5
38	0,333	0,0167	22	0,0070	4	9,5	0,306	0,0063	22	0,0026	5	11,6	0,301	0,0134	22	0,0056	2	4,5	0,283	0,0050	22	0,0021	13	30,2	0,306	0,0051	22	0,0021	5	11,4
39	-	-	-	-	-	-	0,247	0,0197	22	0,0082	20	46,5	0,223	0,0128	22	0,0053	6	13,6	0,270	0,0183	22	0,0076	31	72,1	0,269	0,0098	22	0,0041	23	52,3
40	0,238	0,0211	22	0,0088	16	38,1	0,246	0,0223	22	0,0093	21	48,8	0,224	0,0137	22	0,0057	6	13,6	0,244	0,0118	21	0,0050	5	11,6	0,265					

Anexo D. Leitura média do TDR, (T_{TDR}), Desvio padrão (Dp), número de observações (n), intervalo de confiança a 95% de probabilidade para a média (IC95%), número de pontos concordantes (nC) e sua percentagem (%C) por camada para os dados do segundo período de observações (2001).

Bat.	Camada A						Camada B						Camada C						Camada D						Camada E					
	T _{TDR}	D _p	n	IC95%	nC	%C	T _{TDR}	D _p	n	IC95%	nC	%C	T _{TDR}	D _p	n	IC95%	nC	%C	T _{TDR}	D _p	n	IC95%	nC	%C	T _{TDR}	D _p	n	IC95%	nC	%C
1	2,603	0,1611	22	0,0673	16	38,1	3,021	0,1046	22	0,0437	3	7,0	1,912	0,1539	22	0,0643	1	2,3	3,226	0,1387	20	0,0608	14	32,6	3,201	0,1307	22	0,0546	17	38,6
2	2,977	0,2670	21	0,1142	18	42,9	3,423	0,3437	22	0,1436	34	79,1	2,870	0,1722	22	0,0719	8	18,2	3,726	0,2127	22	0,0889	11	25,6	3,488	0,2027	22	0,0847	11	25,0
3	2,931	0,3153	21	0,1349	22	52,4	3,439	0,1624	22	0,0679	27	62,8	2,607	0,1972	22	0,0824	24	54,5	3,350	0,1724	22	0,0721	20	46,5	3,468	0,1311	22	0,0548	8	18,2
4	3,152	0,1297	4	0,1271	6	14,3	3,579	0,2414	22	0,1009	16	37,2	2,970	0,2178	22	0,0910	3	6,8	3,710	0,1764	22	0,0737	11	25,6	3,362	0,1394	18	0,0644	14	31,8
5	2,857	0,1740	22	0,0727	22	52,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,724	0,2282	22	0,0953	12	27,9	3,518	0,1507	22	0,0630	5	11,4
6	2,663	0,1477	22	0,0617	20	47,6	3,511	0,1793	22	0,0749	24	55,8	2,438	0,2873	22	0,1200	24	54,5	3,528	0,1297	22	0,0542	13	30,2	3,187	0,1437	21	0,0615	15	34,1
7	-	-	-	-	-	-	3,520	0,3079	22	0,1286	27	62,8	2,573	0,1091	22	0,0456	20	45,5	3,216	0,1415	19	0,0636	14	32,6	-	-	-	-	-	-
8	2,614	0,1151	20	0,0504	14	33,3	3,267	0,1504	22	0,0628	23	53,5	2,718	0,1584	22	0,0662	15	34,1	3,678	0,1399	22	0,0585	12	27,9	3,201	0,1572	22	0,0657	18	40,9
9	2,614	0,1522	22	0,0636	15	35,7	3,453	0,1610	22	0,0673	26	60,5	2,761	0,1502	22	0,0628	15	34,1	3,411	0,1873	22	0,0783	22	51,2	3,334	0,1150	22	0,0480	13	29,5
10	2,650	0,1789	22	0,0748	20	47,6	3,119	0,1914	22	0,0800	11	25,6	2,461	0,1495	22	0,0625	16	36,4	3,223	0,1611	22	0,0673	15	34,9	3,145	0,0764	22	0,0319	12	27,3
11	2,838	0,1513	21	0,0647	21	50,0	3,501	0,1546	22	0,0646	24	55,8	2,782	0,1063	22	0,0444	10	22,7	3,403	0,0867	10	0,0538	18	41,9	2,992	0,0908	22	0,0379	7	15,9
12	2,769	0,1564	22	0,0654	23	54,8	3,343	0,2264	22	0,0946	30	69,8	2,641	0,1564	22	0,0654	20	45,5	3,615	0,1606	22	0,0671	18	41,9	3,069	0,1753	22	0,0733	13	29,5
13	2,822	0,1630	14	0,0854	24	57,1	3,356	0,2517	21	0,1077	31	72,1	2,925	0,1533	22	0,0641	5	11,4	3,668	0,1354	22	0,0566	14	32,6	3,127	0,1180	22	0,0493	12	27,3
14	2,761	0,1849	22	0,0773	24	57,1	3,118	0,3088	20	0,1353	17	39,5	2,339	0,3211	21	0,1373	18	40,9	3,308	0,1987	21	0,0850	20	46,5	3,005	0,1564	22	0,0654	8	18,2
15	2,865	0,2080	22	0,0869	22	52,4	3,332	0,2041	22	0,0853	28	65,1	2,399	0,2975	22	0,1243	22	50,0	3,566	0,2589	22	0,1082	21	48,8	3,387	0,1224	22	0,0512	11	25,0
16	2,900	0,1119	22	0,0468	16	38,1	3,174	0,1325	21	0,0567	12	27,9	2,486	0,1252	22	0,0523	19	43,2	3,404	0,0667	22	0,0279	10	23,3	3,744	0,1111	22	0,0464	0	0,0
17	3,140	0,1230	22	0,0514	3	7,1	2,694	0,1089	22	0,0455	0	0,0	2,342	0,0835	22	0,0349	8	18,2	2,913	0,0622	22	0,0260	0	0,0	3,386	0,0891	22	0,0372	11	25,0
18	2,692	0,1241	22	0,0519	20	47,6	3,388	0,1699	22	0,0710	28	65,1	2,568	0,1147	22	0,0479	22	50,0	3,599	0,0957	22	0,0400	16	37,2	3,156	0,1397	22	0,0584	15	34,1
19	2,484	0,1472	22	0,0615	6	14,3	3,177	0,1461	22	0,0611	13	30,2	2,232	0,1343	22	0,0561	6	13,6	3,253	0,1056	22	0,0441	14	32,6	3,288	0,0803	22	0,0335	14	31,8
20	2,838	0,1347	22	0,0563	21	50,0	3,176	0,1749	22	0,0731	16	37,2	2,422	0,2222	22	0,0929	17	38,6	3,554	0,1952	22	0,0816	17	39,5	3,253	0,1830	22	0,0765	20	45,5
21	2,720	0,1282	22	0,0536	20	47,6	3,330	0,1511	22	0,0631	24	55,8	2,771	0,2274	22	0,0950	17	38,6	-	-	-	-	-	-	2,942	0,1088	22	0,0455	8	18,2
22	2,760	0,1350	22	0,0564	21	50,0	3,274	0,1723	21	0,0737	25	58,1	2,582	0,1456	22	0,0608	22	50,0	3,300	0,1226	22	0,0513	18	41,9	2,927	0,1153	22	0,0482	8	18,2
23	2,808	0,1965	22	0,0821	24	57,1	3,517	0,2475	19	0,1113	26	60,5	2,924	0,2742	17	0,1303	8	18,2	3,801	0,1168	16	0,0572	5	11,6	2,883	0,1285	22	0,0537	4	9,1
24	2,923	0,2360	22	0,0986	19	45,2	3,231	0,2274	22	0,0950	26	60,5	2,643	0,2029	22	0,0848	20	45,5	3,263	0,2392	22	0,0999	20	46,5	2,916	0,1448	22	0,0605	8	18,2
25	2,834	0,1654	22	0,0691	22	52,4	3,291	0,2200	22	0,0919	27	62,8	2,613	0,2117	22	0,0885	25	56,8	3,424	0,1868	22	0,0780	23	53,5	2,836	0,1810	22	0,0757	4	9,1
26	2,988	0,1666	22	0,0696	10	23,8	3,389	0,1743	22	0,0728	28	65,1	2,712	0,1216	22	0,0508	15	34,1	3,577	0,1191	22	0,0498	14	32,6	3,343	0,1456	22	0,0608	15	34,1
28	2,576	0,1497	22	0,0625	13	31,0	3,134	0,1389	22	0,0581	9	20,9	2,005	0,0926	22	0,0387	1	2,3	3,074	0,1419	22	0,0593	1	2,3	3,549	0,0879	22	0,0367	5	11,4
29	2,852	0,1579	22	0,0660	21	50,0	3,286	0,0927	3	0,1049	30	69,8	2,532	0,1636	22	0,0684	23	52,3	3,312	0,1615	18	0,0746	19	44,2	3,121	0,1358	14	0,0711	16	36,4
31	2,574	0,0838	22	0,0350	11	26,2	3,232	0,2295	22	0,0959	26	60,5	2,325	0,1720	22	0,0719	11	25,0	3,304	0,1685	22	0,0704	18	41,9	3,577	0,1005	22	0,0420	5	11,4
32	2,609	0,1869	22	0,0781	17	40,5	3,297	0,0855	22	0,0357	19	44,2	2,312	0,1122	22	0,0469	10	22,7	3,370	0,1280	22	0,0535	16	37,2	3,239	0,0903	22	0,0377	13	29,5
33	2,695	0,1592	22	0,0665	21	50,0	3,546	0,1414	22	0,0591	16	37,2	2,531	0,1258	22	0,0526	20	45,5	3,354	0,1534	22	0,0641	18	41,9	3,359	0,1509	22	0,0631	14	31,8
34	2,617	0,1559	22	0,0652	15	35,7	3,521	0,1405	22	0,0587	17	39,5	2,467	0,1647	15	0,0834	21	47,7	3,566	0,1289	22	0,0539	12	27,9	3,230	0,1307	22	0,0546	17	38,6
35	2,657	0,1375	22	0,0575	20	47,6	3,566	0,0974	22	0,0407	11	25,6	2,488	0,1387	22	0,0580	19	43,2	3,310	0,1227	22	0,0513	18	41,9	3,319	0,1417	17	0,0673	17	38,6
36	2,719	0,1771	22	0,0740	26	61,9	3,372	0,1793	22	0,0749	28	65,1	2,688	0,1744	22	0,0729	18	40,9	3,704	0,2019	22	0,0844	13	30,2	3,650	0,1100	22	0,0460	2	4,5
37	2,916	0,1022	22	0,0427	16	38,1	3,572	0,1718	22	0,0718	15	34,9	2,640	0,0841	22	0,0351	15	34,1	-	-	-	-	-	-	3,337	0,0820	22	0,0343	12	27,3
38	2,422	0,1712	22	0,0715	2	4,8	3,396	0,1345	22	0,0562	24	55,8	2,451	0,1109	22	0,0464	14	31,8	3,526	0,0799	22	0,0334	12	27,9	3,270	0,1533	22	0,0641	18	40,9
39	-	-	-	-	-	-	3,423	0,2342	22	0,0979	32	74,4	2,665	0,3267	22	0,1365	28	63,6	3,527	0,1953	22	0,0816	15	34,9	3,175	0,0914	22	0,0382	15	34,1
40	2,894	0,1815	22	0,0759	19	45,2	3,603	0,1929	22	0,0806	11	25,6	2,487																	

Anexo E. Umidade média (θ_m), Desvio padrão (Dp), número de observações (n), intervalo de confiança a 95% de probabilidade para a média (IC95%), número de pontos concordantes (nC) e sua percentagem (%C) por camada para todos os dados observados.

Bat.	Camada A						Camada B						Camada C						Camada D						Camada E					
	θ_m	Dp	n	IC95%	nC	%C	θ_m	Dp	n	IC95%	nC	%C	θ_m	Dp	n	IC95%	nC	%C	θ_m	Dp	n	IC95%	nC	%C	θ_m	Dp	n	IC95%	nC	%C
1	0,309	0,0232	47	0,0066	5	11,1	0,273	0,0215	45	0,0063	12	26,7	0,256	0,0158	46	0,0046	23	51,1	0,280	0,0153	45	0,0045	19	42,2	0,272	0,0187	47	0,0053	26	57,8
2	0,304	0,0192	46	0,0056	4	8,9	0,271	0,0237	47	0,0068	13	28,9	0,251	0,0135	46	0,0039	23	51,1	0,279	0,0155	47	0,0044	19	42,2	0,273	0,0146	47	0,0042	23	51,1
3	0,277	0,0388	46	0,0112	17	37,8	0,242	0,0219	46	0,0063	17	37,8	0,247	0,0169	46	0,0049	22	48,9	0,269	0,0102	46	0,0030	17	37,8	0,277	0,0136	47	0,0039	25	55,6
4	0,281	0,0358	29	0,0130	16	35,6	0,239	0,0225	47	0,0064	17	37,8	0,246	0,0159	46	0,0046	20	44,4	0,267	0,0109	46	0,0032	17	37,8	0,282	0,0094	43	0,0028	17	37,8
5	0,282	0,0271	47	0,0078	12	26,7	0,260	0,0180	26	0,0069	13	28,9	0,253	0,0138	24	0,0055	25	55,6	0,284	0,0143	46	0,0041	12	26,7	0,281	0,0163	47	0,0047	20	44,4
6	0,286	0,0277	47	0,0079	13	28,9	0,258	0,0157	47	0,0045	9	20,0	0,248	0,0152	46	0,0044	22	48,9	0,284	0,0118	46	0,0034	11	24,4	0,296	0,0240	45	0,0070	10	22,2
7	0,275	0,0445	26	0,0171	26	57,8	0,242	0,0256	47	0,0073	18	40,0	0,250	0,0134	46	0,0039	23	51,1	0,263	0,0137	44	0,0040	19	42,2	0,275	0,0190	27	0,0072	29	64,4
8	0,283	0,0319	45	0,0093	15	33,3	0,245	0,0257	47	0,0073	20	44,4	0,250	0,0125	46	0,0036	21	46,7	0,262	0,0113	46	0,0033	19	42,2	0,269	0,0137	47	0,0039	18	40,0
9	0,256	0,0378	47	0,0108	22	48,9	0,233	0,0301	47	0,0086	17	37,8	0,253	0,0191	46	0,0055	25	55,6	0,256	0,0200	47	0,0057	20	44,4	0,286	0,0241	47	0,0069	24	53,3
10	0,253	0,0375	47	0,0107	20	44,4	0,236	0,0303	47	0,0087	19	42,2	0,250	0,0183	46	0,0053	24	53,3	0,257	0,0197	47	0,0056	18	40,0	0,272	0,0168	47	0,0048	25	55,6
11	0,286	0,0337	46	0,0097	13	28,9	0,273	0,0070	47	0,0020	10	22,2	0,250	0,0074	46	0,0021	21	46,7	0,284	0,0063	35	0,0021	10	22,2	0,272	0,0111	47	0,0032	21	46,7
12	0,300	0,0464	47	0,0133	14	31,1	0,274	0,0074	47	0,0021	10	22,2	0,247	0,0107	47	0,0031	20	44,4	0,280	0,0102	47	0,0029	16	35,6	0,279	0,0114	47	0,0033	18	40,0
13	0,324	0,0428	39	0,0134	5	11,1	0,249	0,0259	46	0,0075	22	48,9	0,248	0,0148	46	0,0043	22	48,9	0,255	0,0144	46	0,0042	17	37,8	0,278	0,0170	47	0,0049	21	46,7
14	0,307	0,0229	47	0,0065	5	11,1	0,252	0,0227	45	0,0066	18	40,0	0,251	0,0153	44	0,0045	23	51,1	0,258	0,0150	46	0,0043	18	40,0	0,282	0,0171	47	0,0049	20	44,4
15	0,245	0,0370	47	0,0106	20	44,4	0,240	0,0374	47	0,0107	22	48,9	0,248	0,0195	46	0,0056	23	51,1	0,275	0,0148	47	0,0042	21	46,7	0,278	0,0151	47	0,0043	23	51,1
16	0,243	0,0305	47	0,0087	18	40,0	0,241	0,0359	46	0,0104	20	44,4	0,243	0,0208	47	0,0060	22	48,9	0,272	0,0161	46	0,0046	19	42,2	0,270	0,0106	47	0,0030	20	44,4
17	0,257	0,0277	47	0,0079	19	42,2	0,248	0,0216	47	0,0062	20	44,4	0,264	0,0168	47	0,0048	11	24,4	0,283	0,0139	47	0,0040	13	28,9	0,296	0,0182	47	0,0052	8	17,8
18	0,257	0,0294	47	0,0084	20	44,4	0,255	0,0224	47	0,0064	14	31,1	0,261	0,0165	47	0,0047	13	28,9	0,283	0,0147	45	0,0043	14	31,1	0,289	0,0179	46	0,0052	15	33,3
19	0,244	0,0304	47	0,0087	18	40,0	0,241	0,0198	47	0,0056	17	37,8	0,232	0,0276	47	0,0079	10	22,2	0,256	0,0110	46	0,0032	16	35,6	0,275	0,0151	46	0,0044	27	60,0
20	0,239	0,0297	47	0,0085	16	35,6	0,242	0,0182	47	0,0052	17	37,8	0,230	0,0261	47	0,0075	10	22,2	0,256	0,0133	47	0,0038	17	37,8	0,269	0,0150	47	0,0043	19	42,2
21	0,228	0,0373	47	0,0107	12	26,7	0,234	0,0297	47	0,0085	18	40,0	0,228	0,0200	47	0,0057	8	17,8	0,264	0,0145	25	0,0057	27	60,0	0,251	0,0170	47	0,0049	2	4,4
22	0,229	0,0351	47	0,0100	12	26,7	0,233	0,0296	46	0,0086	17	37,8	0,228	0,0201	46	0,0058	7	15,6	0,261	0,0129	46	0,0037	20	44,4	0,260	0,0141	47	0,0040	5	11,1
23	0,258	0,0304	47	0,0087	21	46,7	0,314	0,0039	42	0,0012	1	2,2	0,252	0,0081	41	0,0025	22	48,9	0,258	0,0084	41	0,0026	17	37,8	0,278	0,0188	47	0,0054	25	55,6
24	0,274	0,0308	47	0,0088	17	37,8	0,317	0,0103	47	0,0029	1	2,2	0,254	0,0082	47	0,0023	19	42,2	0,261	0,0105	47	0,0030	19	42,2	0,283	0,0123	47	0,0035	17	37,8
25	0,280	0,0268	47	0,0077	14	31,1	0,284	0,0225	47	0,0064	7	15,6	0,262	0,0160	47	0,0046	13	28,9	0,246	0,0165	47	0,0047	5	11,1	0,279	0,0163	47	0,0047	21	46,7
26	0,276	0,0268	47	0,0077	14	31,1	0,287	0,0273	47	0,0078	6	13,3	0,265	0,0169	47	0,0048	10	22,2	0,252	0,0199	47	0,0057	15	33,3	0,280	0,0218	47	0,0062	23	51,1
28	0,224	0,0321	47	0,0092	6	13,3	0,222	0,0373	46	0,0108	8	17,8	0,226	0,0403	47	0,0115	10	22,2	0,266	0,0191	46	0,0055	25	55,6	0,265	0,0146	47	0,0042	16	35,6
29	0,264	0,0364	47	0,0104	21	46,7	0,264	0,0288	28	0,0107	19	42,2	0,252	0,0249	47	0,0071	26	57,8	0,273	0,0148	42	0,0045	19	42,2	0,283	0,0155	38	0,0049	19	42,2
31	0,247	0,0476	47	0,0136	23	51,1	0,270	0,0168	46	0,0049	12	26,7	0,242	0,0402	47	0,0115	28	62,2	0,272	0,0117	46	0,0034	18	40,0	0,293	0,0112	47	0,0032	9	20,0
32	0,249	0,0409	47	0,0117	22	48,9	0,265	0,0176	47	0,0050	10	22,2	0,262	0,0296	47	0,0085	20	44,4	0,271	0,0130	47	0,0037	17	37,8	0,293	0,0109	47	0,0031	8	17,8
33	0,254	0,0330	47	0,0094	20	44,4	0,225	0,0185	47	0,0053	7	15,6	0,239	0,0200	47	0,0057	15	33,3	0,259	0,0114	47	0,0033	18	40,0	0,269	0,0158	47	0,0045	20	44,4
34	0,256	0,0347	47	0,0099	21	46,7	0,223	0,0230	47	0,0066	7	15,6	0,242	0,0253	40	0,0078	23	51,1	0,257	0,0151	46	0,0044	18	40,0	0,262	0,0130	47	0,0037	10	22,2
35	0,351	0,0305	47	0,0087	1	2,2	0,273	0,0134	47	0,0038	11	24,4	0,271	0,0178	47	0,0051	11	24,4	0,262	0,0129	47	0,0037	20	44,4	0,291	0,0140	42	0,0042	11	24,4
36	0,348	0,0307	47	0,0088	1	2,2	0,269	0,0142	47	0,0041	11	24,4	0,276	0,0167	47	0,0048	7	15,6	0,269	0,0117	46	0,0034	16	35,6	0,290	0,0109	47	0,0031	10	22,2
37	0,331	0,0273	47	0,0078	2	4,4	0,304	0,0094	47	0,0027	2	4,4	0,293	0,0200	47	0,0057	1	2,2	0,277	0,0087	27	0,0033	18	40,0	0,305	0,0075	47	0,0021	1	2,2
38	0,326	0,0232	47	0,0066	2	4,4	0,302	0,0080	47	0,0023	3	6,7	0,296	0,0186	47	0,0053	1	2,2	0,280	0,0068	47	0,0019	13	28,9	0,303	0,0061	47	0,0017	2	4,4
39	0,236	0,0330	25	0,0129	20	44,4	0,240	0,0255	47	0,0073	17	37,8	0,223	0,0166	47	0,0047	6	13,3	0,260	0,0211	47	0,0060	22	48,9	0,269	0,0118				

Anexo F. Leitura média do TDR, (T_{TDR}), Desvio padrão (Dp), número de observações (n), intervalo de confiança a 95% de probabilidade para a média (IC95%), número de pontos concordantes (nC) e sua percentagem (%C) por camada para todos os dados observados.

Bat.	Camada A						Camada B						Camada C						Camada D						Camada E					
	T _{TDR}	Dp	n	IC95%	nC	%C	T _{TDR}	Dp	n	IC95%	nC	%C	T _{TDR}	Dp	n	IC95%	nC	%C	T _{TDR}	Dp	n	IC95%	nC	%C	T _{TDR}	Dp	n	IC95%	nC	%C
1	2,997	0,4736	47	0,1354	30	66,7	3,478	0,4896	45	0,1431	38	84,4	2,380	0,4749	46	0,1372	10	22,2	3,380	0,1911	45	0,0558	20	44,4	3,219	0,1090	47	0,0312	11	24,4
2	3,155	0,3375	46	0,0975	16	35,6	3,565	0,3713	47	0,1061	39	86,7	2,877	0,1291	46	0,0373	13	28,9	3,624	0,1804	47	0,0516	19	42,2	3,496	0,1432	47	0,0409	9	20,0
3	3,255	0,4398	46	0,1271	14	31,1	3,665	0,3177	46	0,0918	35	77,8	2,769	0,2388	46	0,0690	26	57,8	3,460	0,1665	46	0,0481	24	53,3	3,417	0,1562	47	0,0447	14	31,1
4	3,450	0,3712	29	0,1351	4	8,9	3,644	0,2763	47	0,0790	35	77,8	3,020	0,2276	46	0,0658	6	13,3	3,558	0,2129	46	0,0615	26	57,8	3,477	0,1582	43	0,0473	9	20,0
5	3,108	0,3808	47	0,1089	22	48,9	3,918	0,3058	26	0,1175	10	22,2	2,835	0,2390	24	0,0956	27	60,0	3,634	0,2295	46	0,0663	19	42,2	3,497	0,2112	47	0,0604	10	22,2
6	2,858	0,3196	47	0,0914	25	55,6	3,676	0,2966	47	0,0848	33	73,3	2,624	0,3060	46	0,0884	29	64,4	3,572	0,1468	46	0,0424	22	48,9	3,281	0,1566	45	0,0458	16	35,6
7	2,712	0,3264	26	0,1255	19	42,2	3,821	0,3940	47	0,1126	24	53,3	2,737	0,2229	46	0,0644	27	60,0	3,373	0,2546	44	0,0752	21	46,7	3,381	0,0854	27	0,0322	13	28,9
8	2,681	0,2243	45	0,0655	12	26,7	3,628	0,4069	47	0,1163	39	86,7	2,857	0,2185	46	0,0631	22	48,9	3,644	0,1448	46	0,0419	17	37,8	3,227	0,1372	47	0,0392	13	28,9
9	2,784	0,2712	47	0,0775	18	40,0	3,734	0,3431	47	0,0981	31	68,9	2,953	0,2297	46	0,0664	11	24,4	3,557	0,2011	47	0,0575	26	57,8	3,378	0,2247	47	0,0642	17	37,8
10	2,724	0,2438	47	0,0697	14	31,1	3,449	0,3999	47	0,1143	26	57,8	2,741	0,3174	46	0,0917	30	66,7	3,393	0,2289	47	0,0654	22	48,9	3,175	0,1008	47	0,0288	10	22,2
11	2,978	0,3059	46	0,0884	27	60,0	3,748	0,3014	47	0,0862	28	62,2	3,010	0,2388	46	0,0690	7	15,6	3,460	0,1253	35	0,0415	23	51,1	3,131	0,1585	47	0,0453	12	26,7
12	2,714	0,2107	47	0,0602	13	28,9	3,528	0,3197	47	0,0914	36	80,0	2,741	0,2247	47	0,0642	27	60,0	3,598	0,1550	47	0,0443	20	44,4	3,145	0,1711	47	0,0489	14	31,1
13	3,113	0,3493	39	0,1096	21	46,7	3,613	0,3824	46	0,1105	38	84,4	2,997	0,1869	46	0,0540	7	15,6	3,602	0,1475	46	0,0426	18	40,0	3,076	0,1652	47	0,0472	8	17,8
14	2,817	0,2331	47	0,0666	22	48,9	3,402	0,3988	45	0,1165	21	46,7	2,465	0,3017	44	0,0891	14	31,1	3,425	0,2416	46	0,0698	24	53,3	3,088	0,1748	47	0,0500	8	17,8
15	3,016	0,2991	47	0,0855	27	60,0	3,644	0,3981	47	0,1138	38	84,4	2,623	0,3551	46	0,1026	30	66,7	3,671	0,2453	47	0,0701	18	40,0	3,428	0,1649	47	0,0471	14	31,1
16	3,116	0,2863	47	0,0818	17	37,8	3,406	0,2836	46	0,0819	18	40,0	2,697	0,2640	47	0,0755	31	68,9	3,482	0,1094	46	0,0316	21	46,7	3,385	0,3580	47	0,1023	21	46,7
17	3,072	0,1917	47	0,0548	17	37,8	3,253	0,5678	47	0,1623	9	20,0	2,541	0,2755	47	0,0788	17	37,8	3,240	0,3282	47	0,0938	10	22,2	3,298	0,1437	47	0,0411	14	31,1
18	2,878	0,2663	47	0,0761	23	51,1	3,696	0,3682	47	0,1053	34	75,6	2,790	0,3063	47	0,0876	27	60,0	3,593	0,1021	45	0,0298	17	37,8	3,169	0,1031	46	0,0298	10	22,2
19	2,527	0,1584	47	0,0453	2	4,4	3,402	0,3090	47	0,0883	18	40,0	2,365	0,2428	47	0,0694	3	6,7	3,292	0,1374	46	0,0397	9	20,0	3,187	0,1212	46	0,0350	11	24,4
20	2,949	0,2304	47	0,0659	23	51,1	3,560	0,4589	47	0,1312	40	88,9	2,547	0,2629	47	0,0752	18	40,0	3,590	0,2208	47	0,0631	24	53,3	3,211	0,1579	47	0,0452	13	28,9
21	2,946	0,2884	47	0,0825	25	55,6	3,545	0,3200	47	0,0915	37	82,2	2,807	0,2036	47	0,0582	25	55,6	3,338	0,1346	25	0,0528	14	31,1	2,957	0,0982	47	0,0281	1	2,2
22	2,945	0,2637	47	0,0754	24	53,3	3,466	0,3025	46	0,0874	25	55,6	2,743	0,2496	46	0,0721	28	62,2	3,277	0,1467	46	0,0424	7	15,6	2,895	0,1093	47	0,0313	2	4,4
23	2,959	0,3065	47	0,0876	26	57,8	3,720	0,3297	42	0,0997	32	71,1	2,876	0,2484	41	0,0760	22	48,9	3,576	0,2384	41	0,0730	25	55,6	2,846	0,1231	47	0,0352	3	6,7
24	3,112	0,3162	47	0,0904	18	40,0	3,349	0,3158	47	0,0903	14	31,1	2,731	0,2367	47	0,0677	26	57,8	3,165	0,2262	47	0,0647	1	2,2	2,819	0,1523	47	0,0435	2	4,4
25	3,073	0,3326	47	0,0951	24	53,3	3,521	0,3331	47	0,0952	35	77,8	2,716	0,2721	47	0,0778	30	66,7	3,416	0,2230	47	0,0638	21	46,7	2,878	0,2422	47	0,0692	4	8,9
26	3,280	0,3521	47	0,1007	12	26,7	3,565	0,2801	47	0,0801	38	84,4	2,887	0,2574	47	0,0736	20	44,4	3,653	0,1414	47	0,0404	16	35,6	3,449	0,1638	47	0,0468	11	24,4
28	2,833	0,3316	47	0,0948	25	55,6	3,454	0,3951	46	0,1142	28	62,2	2,498	0,5187	47	0,1483	21	46,7	3,400	0,3460	46	0,1000	29	64,4	3,425	0,1591	47	0,0455	14	31,1
29	3,103	0,3940	47	0,1126	23	51,1	3,617	0,3369	28	0,1248	39	86,7	2,591	0,2218	47	0,0634	20	44,4	3,388	0,1683	42	0,0509	18	40,0	3,095	0,1271	38	0,0404	8	17,8
31	2,631	0,1905	47	0,0545	8	17,8	3,560	0,4275	46	0,1235	40	88,9	2,549	0,3819	47	0,1092	21	46,7	3,464	0,2375	46	0,0686	26	57,8	3,396	0,2492	47	0,0712	18	40,0
32	2,753	0,2440	47	0,0698	18	40,0	3,502	0,2869	47	0,0820	29	64,4	2,538	0,3166	47	0,0905	18	40,0	3,481	0,1799	47	0,0514	26	57,8	3,275	0,1246	47	0,0356	13	28,9
33	2,905	0,3242	47	0,0927	25	55,6	3,682	0,2620	47	0,0749	33	73,3	2,683	0,2501	47	0,0715	32	71,1	3,491	0,2356	47	0,0674	28	62,2	3,346	0,1487	47	0,0425	16	35,6
34	2,762	0,2924	47	0,0836	19	42,2	3,638	0,2902	47	0,0830	36	80,0	2,710	0,3891	40	0,1206	36	80,0	3,691	0,2073	46	0,0599	13	28,9	3,307	0,1530	47	0,0437	16	35,6
35	2,763	0,2428	47	0,0694	17	37,8	3,710	0,2420	47	0,0692	29	64,4	2,677	0,3007	47	0,0860	32	71,1	3,410	0,1678	47	0,0480	19	42,2	3,332	0,1332	42	0,0403	13	28,9
36	2,888	0,3135	47	0,0896	24	53,3	3,678	0,3843	47	0,1099	35	77,8	2,782	0,2429	47	0,0694	26	57,8	3,701	0,1732	46	0,0501	8	17,8	3,618	0,0925	47	0,0264	2	4,4
37	2,948	0,1822	47	0,0521	20	44,4	3,621	0,2454	47	0,0702	36	80,0	2,729	0,2111	47	0,0604	25	55,6	3,546	0,1578	27	0,0595	28	62,2	3,246	0,1316	47	0,0376	11	24,4
38	2,558	0,2664	47	0,0762	5	11,1	3,516	0,2532	47	0,0724	29	64,4	2,557	0,2526	47	0,0722	18	40,0	3,442	0,1770	47	0,0506	22	48,9	3,269	0,1207	47	0,0345	13	28,9
39	2,836	0,3083	25	0,1209	27	60,0	3,727	0,3947	47	0,1128	34	75,6	2,767	0,3170	47	0,0906	29	64,4	3,533	0,2296	47	0,0656	27	60,0	3,125	0,1139	47	0,0326	10	22,2

Anexo G. Valores dos coeficientes linear (a), angular (b) e de determinação (R^2), o desvio padrão da regressão (DPR), a estatística F e sua respectiva probabilidade, para os ajustes do modelo linear nos dois períodos de observação e todos juntos para os dados agrupados por camada e com todas as camadas em conjunto.

Camada	2000						2001						2000 + 2001					
	a	b	R^2	DPR	F	Prob.	a	b	R^2	DPR	F	Prob.	a	b	R^2	DPR	F	Prob.
A	0,092	0,059	0,247	0,039	376,5	<0,0001	0,150	0,043	0,054	0,044	52,1	<0,0001	0,137	0,046	0,135	0,042	322,4	<0,0001
B	0,061	0,052	0,252	0,029	384,1	<0,0001	0,147	0,034	0,066	0,033	65,1	<0,0001	0,159	0,028	0,099	0,032	227,0	<0,0001
C	0,101	0,054	0,354	0,021	618,9	<0,0001	0,189	0,025	0,074	0,025	76,9	<0,0001	0,164	0,033	0,171	0,024	432,0	<0,0001
D	0,100	0,047	0,293	0,016	469,1	<0,0001	0,202	0,019	0,069	0,017	69,5	<0,0001	0,158	0,031	0,163	0,017	403,3	<0,0001
E	0,196	0,025	0,118	0,016	153,1	<0,0001	0,229	0,015	0,040	0,021	40,4	<0,0001	0,212	0,020	0,072	0,018	165,3	<0,0001
Média	0,110	0,047	0,253	0,024	400,3		0,183	0,027	0,061	0,028	60,8		0,166	0,032	0,128	0,027	310,0	
Todas	0,192	0,023	0,108	0,029	688,8	<0,0001	0,212	0,018	0,060	0,031	301,7	<0,0001	0,205	0,019	0,080	0,030	910,3	<0,0001

Anexo H. Coeficientes linear (a), angular (b) e de determinação (R^2), o desvio padrão da regressão (DPR), a estatística F e sua respectiva probabilidade, para os ajustes do modelo linear nos dois períodos de observação e todos juntos para os dados agrupados por haste com todas as camadas em conjunto.

Bateria	2000						2001						2000 + 2001					
	a	b	R^2	DPR	F	Prob.	a	b	R^2	DPR	F	Prob.	a	b	R^2	DPR	F	Prob.
1	0,189	0,0278	0,2096	0,0225	31,81	<0,0001	0,230	0,0152	0,0959	0,0242	11,24	0,0011	0,218	0,0196	0,1728	0,0234	47,64	<0,0001
2	0,145	0,0399	0,2998	0,0215	52,23	<0,0001	0,227	0,0133	0,0587	0,0216	6,67	0,0112	0,187	0,0265	0,1700	0,0223	47,33	<0,0001
3	0,166	0,0301	0,1590	0,0265	22,68	<0,0001	0,186	0,0217	0,1442	0,0209	18,02	<0,0001	0,166	0,0291	0,1980	0,0242	56,54	<0,0001
4	0,085	0,0519	0,4046	0,0206	82,23	<0,0001	0,206	0,0152	0,0422	0,0252	3,78	0,0550	0,138	0,0360	0,2107	0,0234	55,79	<0,0001
5	0,176	0,0279	0,2799	0,0203	46,65	<0,0001	0,238	0,0130	0,0940	0,0169	6,84	0,0110	0,200	0,0222	0,1915	0,0201	44,52	<0,0001
6	0,188	0,0255	0,1946	0,0232	29,00	<0,0001	0,224	0,0167	0,0848	0,0267	9,92	0,0021	0,214	0,0187	0,1138	0,0252	29,40	<0,0001
7	0,237	0,0070	0,0211	0,0256	2,63	0,1077	0,254	0,000	0,000	0,029	0,003	0,955	0,239	0,0058	0,0126	0,0268	2,40	0,1226
8	0,261	0,0002	0,0000	0,0245	0,00	0,9725	0,270	-0,003	0,002	0,025	0,227	0,6348	0,265	-0,0010	0,0003	0,0246	0,07	0,7869
9	0,255	0,0019	0,0008	0,0300	0,10	0,7577	0,177	0,0239	0,0785	0,0317	9,20	0,0030	0,211	0,0139	0,0376	0,0312	9,05	0,0029
10	0,202	0,0169	0,0568	0,0284	7,35	0,0077	0,168	0,0280	0,1297	0,0249	16,10	0,0001	0,188	0,0213	0,0983	0,0268	25,30	<0,0001
11	0,194	0,0235	0,1479	0,0209	21,17	<0,0001	0,191	0,0255	0,1773	0,0176	20,48	<0,0001	0,200	0,0223	0,1621	0,0195	42,35	<0,0001
12	0,214	0,0189	0,1314	0,0224	18,60	<0,0001	0,253	0,0080	0,0100	0,0321	1,09	0,2997	0,232	0,0138	0,0456	0,0275	11,14	0,0010
13	0,226	0,0129	0,0251	0,0314	3,11	0,0802	0,402	-0,0413	0,1117	0,0403	12,45	0,0006	0,296	-0,0081	0,0069	0,0369	1,54	0,2161
14	0,250	0,0068	0,0104	0,0304	1,27	0,2614	0,251	0,0061	0,0085	0,0270	0,89	0,3481	0,250	0,0066	0,0109	0,0287	2,50	0,1156
15	0,143	0,0341	0,2739	0,0264	46,03	<0,0001	0,176	0,0251	0,1506	0,0288	19,14	<0,0001	0,164	0,0285	0,2128	0,0276	62,72	<0,0001
16	0,135	0,0365	0,1646	0,0276	24,04	<0,0001	0,151	0,0324	0,3074	0,0218	47,50	<0,0001	0,147	0,0333	0,2176	0,0251	64,24	<0,0001
17	0,210	0,0193	0,1003	0,0245	13,72	0,0003	0,161	0,0362	0,2495	0,0236	35,90	<0,0001	0,192	0,0251	0,1705	0,0242	47,89	<0,0001
18	0,217	0,0162	0,0745	0,0249	9,65	0,0024	0,197	0,0226	0,1554	0,0222	19,87	<0,0001	0,208	0,0190	0,1147	0,0236	29,79	<0,0001
19	0,176	0,0255	0,1794	0,0262	26,45	<0,0001	0,152	0,0326	0,4021	0,0183	72,64	<0,0001	0,164	0,0290	0,2665	0,0228	83,92	<0,0001
20	0,163	0,0260	0,2378	0,0236	38,38	<0,0001	0,154	0,0300	0,3071	0,0194	47,87	<0,0001	0,163	0,0267	0,2616	0,0217	82,56	<0,0001
21	0,137	0,0340	0,1643	0,0288	24,18	<0,0001	0,174	0,0181	0,0648	0,0199	5,96	0,0167	0,132	0,0345	0,1902	0,0260	49,56	<0,0001
22	0,117	0,0396	0,2200	0,0265	34,12	<0,0001	0,130	0,0378	0,2086	0,0233	28,20	<0,0001	0,131	0,0362	0,2003	0,0252	57,59	<0,0001
23	0,144	0,0401	0,4038	0,0227	81,27	<0,0001	0,205	0,0210	0,1115	0,0260	11,80	0,0009	0,169	0,0322	0,2625	0,0245	76,88	<0,0001
24	0,128	0,0484	0,4137	0,0211	86,80	<0,0001	0,163	0,0387	0,1934	0,0247	25,89	<0,0001	0,145	0,0436	0,2971	0,0230	98,47	<0,0001
25	0,175	0,0291	0,2640	0,0212	44,13	<0,0001	0,246	0,0087	0,0169	0,0241	1,85	0,1763	0,213	0,0184	0,0989	0,0233	25,57	<0,0001
26	0,155	0,0323	0,1879	0,0221	28,46	<0,0001	0,231	0,0142	0,0327	0,0266	3,65	0,0587	0,222	0,0149	0,0449	0,0253	10,94	0,0011
28	0,064	0,0530	0,3353	0,0306	61,02	<0,0001	0,152	0,0307	0,2209	0,0317	30,62	<0,0001	0,140	0,0321	0,2205	0,0323	65,36	<0,0001
29	0,142	0,0384	0,3763	0,0221	73,00	<0,0001	0,132	0,0461	0,3321	0,0223	38,28	<0,0001	0,156	0,0356	0,3114	0,0228	90,43	<0,0001
31	0,186	0,0272	0,2163	0,0284	33,39	<0,0001	0,066	0,0629	0,7763	0,0170	374,72	<0,0001	0,127	0,0442	0,4583	0,0258	195,42	<0,0001
32	0,157	0,0357	0,2675	0,0260	44,92	<0,0001	0,175	0,0300	0,2556	0,0228	37,09	<0,0001	0,166	0,0330	0,2785	0,0245	89,92	<0,0001
33	0,169	0,0237	0,1298	0,0268	18,35	<0,0001	0,225	0,0084	0,0255	0,0226	2,82	0,0958	0,202	0,0146	0,0631	0,0253	15,70	<0,0001
34	0,174	0,0223	0,1442	0,0274	20,56	<0,0001	0,238	0,0031	0,0035	0,0246	0,36	0,5502	0,204	0,0137	0,0624	0,0265	14,98	0,0001
35	0,330	-0,0129	0,0228	0,0379	2,87	0,0925	0,364	-0,0234	0,0792	0,0357	8,86	0,0036	0,346	-0,0179	0,0475	0,0368	11,36	0,0009
36	0,313	-0,0078	0,0110	0,0355	1,35	0,2471	0,375	-0,0248	0,1230	0,0316	15,15	0,0002	0,347	-0,0169	0,0553	0,0339	13,58	0,0003
37	0,267	0,0090	0,0255	0,0221	3,21	0,0755	0,324	-0,0027	0,0024	0,0210	0,21	0,6450	0,301	0,0010	0,0002	0,0237	0,05	0,8183
38	0,281	0,0054	0,0142	0,0208	1,77	0,1858	0,363	-0,0192	0,2497	0,0166	35,93	<0,0001	0,326	-0,0079	0,0343	0,0201	8,27	0,0044
39	0,167	0,0231	0,1743	0,0261	25,97	<0,0001	0,133	0,0373	0,3701	0,0197	50,54	<0,0001	0,161	0,0265	0,2099	0,0244	56,05	<0,0001
40	0,179	0,0198	0,1330	0,0240	18,87	<0,0001	0,169	0,024	0,222	0,018	30,492	<0,0001	0,179	0,0202	0,1562	0,0217	42,96	<0,0001
41	0,215	0,0211	0,2939	0,0141	51,20	<0,0001	0,277	0,0025	0,0061	0,0139	0,64	0,4273	0,246	0,0122	0,1187	0,0145	30,69	<0,0001
42	0,211	0,0226	0,5062	0,0106	126,10	<0,0001	0,253	0,0124	0,0667	0,0162	7,14	0,0088	0,238	0,0158	0,2088	0,0141	59,39	<0,0001
43	0,123	0,0431	0,4019	0,0211	82,65	<0,0001	0,259	0,0048	0,0166	0,0220	1,81	0,1817	0,220	0,0158	0,1059	0,0237	27,48	<0,0001
44	0,134	0,0401	0,3503	0,0220	66,31	<0,0001	0,232	0,0129	0,0697	0,0204	4,80	0,0322	0,179	0,0279	0,2209	0,0223	53,59	<0,0001
45	0,180	0,0223	0,1975	0,0215	30,26	<0,0001	0,168	0,029	0,332	0,020	53,617	<0,0001	0,186	0,0217	0,2160	0,0215	64,20	<0,0001
46	0,168	0,0226	0,2281	0,0183	36,05	<0,0001	0,200	0,0162	0,1099	0,0198	13,09	0,0005	0,200	0,0144	0,1059	0,0199	27,25	<0,0001
47	0,124	0,0442	0,4654	0,0165	107,08	<0,0001	0,209	0,0224	0,1013	0,0253	10,03	0,0021	0,189	0,0261	0,1652	0,0226	42,36	<0,0001
48	0,162	0,0320	0,3708	0,0189	72,49	<0,0001	0,216	0,0222	0,1648	0,0240	21,50	<0,0001	0,213	0,0197	0,1384	0,0241	37,59	<0,0001
Média	0,183	0,0252	0,2019	0,0242	35,95		0,216	0,0164	0,1471	0,0237	25,54		0,204	0,0196	0,1510	0,0246	43,75	

Anexo I. Coeficientes linear (a), angular (b) e de determinação (R²), o desvio padrão da regressão (DPR), a estatística F e sua respectiva probabilidade, para os ajustes do modelo linear nos dois períodos de observação e todos juntos aos dados da camada A.

Bateria	2000						2001						2000 + 2001					
	a	b	R ²	DPR	F	Prob.	a	b	R ²	DPR	F	Prob.	a	b	R ²	DPR	F	Prob.
1	0,125	0,0570	0,7723	0,0118	78,02	<0,0001	0,192	0,0418	0,1227	0,0184	2,80	0,1100	0,208	0,0337	0,4755	0,0170	40,80	<0,0001
2	0,128	0,0551	0,7465	0,0105	67,74	<0,0001	0,177	0,0401	0,5066	0,0108	19,51	0,0003	0,154	0,0476	0,6961	0,0107	100,80	<0,0001
3	-0,109	0,1130	0,7770	0,0206	80,13	<0,0001	0,109	0,0525	0,3543	0,0229	10,42	0,0044	0,056	0,0680	0,5934	0,0251	64,23	<0,0001
4	-0,041	0,0906	0,9161	0,0105	251,19	<0,0001	0,144	0,0527	0,0905	0,0265	0,20	0,6991	0,039	0,0700	0,5261	0,0251	29,97	<0,0001
5	0,015	0,0810	0,8930	0,0108	191,99	<0,0001	0,098	0,0635	0,3118	0,0168	9,06	0,0069	0,120	0,0523	0,5394	0,0186	52,70	<0,0001
6	0,018	0,0887	0,8633	0,0120	145,22	<0,0001	0,130	0,0577	0,1427	0,0214	3,33	0,0831	0,117	0,0589	0,4633	0,0205	38,84	<0,0001
7	-0,018	0,1059	0,9117	0,0110	237,38	<0,0001	-	-	-	-	-	-	0,042	0,0860	0,3975	0,0353	15,84	0,0006
8	0,034	0,0900	0,5847	0,0212	32,38	<0,0001	0,235	0,020	0,005	0,033	0,095	0,761	0,093	0,0708	0,2481	0,0280	14,19	0,0005
9	-0,115	0,1315	0,7296	0,0218	62,05	<0,0001	0,116	0,047	0,080	0,025	1,729	0,2034	-0,044	0,1078	0,5990	0,0242	67,22	<0,0001
10	-0,075	0,1217	0,6439	0,0256	41,59	<0,0001	0,009	0,0874	0,3147	0,0236	9,18	0,0066	-0,066	0,1170	0,5773	0,0247	61,46	<0,0001
11	-0,034	0,1043	0,9075	0,0120	225,73	<0,0001	-0,065	0,1219	0,4768	0,0198	17,32	0,0005	0,007	0,0934	0,7196	0,0180	112,89	<0,0001
12	-0,064	0,1314	0,6249	0,0252	38,32	<0,0001	0,213	0,0366	0,0135	0,0501	0,27	0,6067	-0,015	0,1160	0,2779	0,0398	17,32	0,0001
13	0,038	0,0826	0,8738	0,0102	159,22	<0,0001	0,358	-0,0021	0,0000	0,0525	0,00	0,9815	0,311	0,0044	0,0013	0,0433	0,05	0,8273
14	0,046	0,0923	0,9557	0,0053	495,60	<0,0001	0,212	0,0326	0,0891	0,0198	1,96	0,1771	0,097	0,0744	0,5745	0,0151	60,75	<0,0001
15	-0,100	0,1106	0,7399	0,0206	65,42	<0,0001	-0,138	0,1327	0,6359	0,0214	34,92	<0,0001	-0,043	0,0956	0,5960	0,0238	66,39	<0,0001
16	-0,184	0,1290	0,9633	0,0066	604,02	<0,0001	-0,351	0,2050	0,7058	0,0152	47,97	<0,0001	0,038	0,0658	0,3799	0,0243	27,57	<0,0001
17	-0,106	0,1222	0,8083	0,0135	96,98	<0,0001	-0,276	0,1679	0,7379	0,0126	56,31	<0,0001	-0,073	0,1072	0,5489	0,0188	54,75	<0,0001
18	-0,112	0,1231	0,8422	0,0136	122,76	<0,0001	0,193	0,0217	0,0136	0,0235	0,22	0,6059	0,046	0,0733	0,4409	0,0222	35,49	<0,0001
19	-0,289	0,2105	0,9182	0,0103	258,33	<0,0001	0,027	0,0839	0,3213	0,0184	9,47	0,0059	-0,158	0,1587	0,6831	0,0173	97,02	<0,0001
20	-0,107	0,1147	0,8083	0,0145	96,98	<0,0001	0,079	0,0553	0,0786	0,0262	1,71	0,2063	-0,018	0,0872	0,4592	0,0220	38,21	<0,0001
21	-0,273	0,1616	0,7509	0,0228	69,32	<0,0001	0,266	-0,0175	0,0081	0,0254	0,16	0,6904	-0,002	0,0780	0,3633	0,0301	25,68	<0,0001
22	-0,252	0,1561	0,8308	0,0174	112,94	<0,0001	-0,085	0,1123	0,3281	0,0222	9,77	0,0053	-0,041	0,0918	0,4764	0,0257	40,94	<0,0001
23	-0,042	0,0980	0,8297	0,0148	112,05	<0,0001	0,145	0,0390	0,1002	0,0236	2,23	0,1513	0,049	0,0706	0,5057	0,0216	46,05	<0,0001
24	-0,054	0,0978	0,8743	0,0108	160,02	<0,0001	0,117	0,0565	0,1952	0,0277	4,85	0,0395	0,144	0,0416	0,1831	0,0281	10,09	0,0027
25	-0,028	0,0930	0,8980	0,0096	202,52	<0,0001	-0,032	0,1111	0,6000	0,0154	30,01	<0,0001	0,139	0,0461	0,3269	0,0222	21,86	<0,0001
26	0,080	0,0551	0,2325	0,0264	6,97	0,0146	0,104	0,0581	0,1624	0,0225	3,88	0,0629	0,217	0,0181	0,0565	0,0264	2,69	0,1077
28	-0,167	0,1292	0,8515	0,0153	131,89	<0,0001	0,053	0,0643	0,1972	0,0199	4,91	0,0384	0,043	0,0638	0,4351	0,0244	34,66	<0,0001
29	-0,043	0,0940	0,8389	0,0172	119,73	<0,0001	-0,090	0,1215	0,4584	0,0214	16,93	0,0005	0,041	0,0718	0,6034	0,0232	68,48	<0,0001
31	-0,265	0,1952	0,7797	0,0255	81,39	<0,0001	-0,650	0,3433	0,5876	0,0247	28,50	<0,0001	-0,308	0,2109	0,7115	0,0259	110,96	<0,0001
32	-0,305	0,1961	0,7897	0,0226	86,35	<0,0001	0,159	0,0299	0,0435	0,0269	0,91	0,3519	-0,072	0,1167	0,4837	0,0297	42,15	<0,0001
33	-0,125	0,1228	0,9290	0,0112	300,87	<0,0001	0,081	0,0645	0,2246	0,0195	5,79	0,0259	0,050	0,0702	0,4750	0,0242	40,71	<0,0001
34	-0,086	0,1196	0,9016	0,0132	210,81	<0,0001	-0,037	0,1102	0,4360	0,0200	15,46	0,0008	-0,016	0,0984	0,6856	0,0197	98,13	<0,0001
35	0,029	0,1125	0,8642	0,0127	146,39	<0,0001	0,045	0,1157	0,3416	0,0226	10,38	0,0043	0,098	0,0918	0,5345	0,0210	51,67	<0,0001
36	0,041	0,0993	0,8820	0,0124	171,95	<0,0001	0,150	0,0749	0,3043	0,0206	8,75	0,0078	0,171	0,0611	0,3894	0,0243	28,70	<0,0001
37	0,042	0,0925	0,5355	0,0202	26,51	<0,0001	0,177	0,0578	0,1433	0,0148	3,35	0,0823	0,117	0,0725	0,2348	0,0241	13,81	0,0006
38	0,087	0,0868	0,8418	0,0107	122,35	<0,0001	0,296	0,0154	0,0247	0,0169	0,51	0,4850	0,222	0,0405	0,2155	0,0208	12,36	0,0010
39	-0,056	0,1031	0,9312	0,0088	311,18	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-0,056	0,1031	0,9312	0,0088	311,18	<0,0001
40	0,096	0,0463	0,3474	0,0238	12,24	0,0019	0,132	0,0366	0,0992	0,0205	2,20	0,1533	0,125	0,0382	0,2735	0,0221	16,94	0,0002
41	0,042	0,0811	0,9283	0,0069	297,59	<0,0001	0,172	0,0424	0,2411	0,0164	6,04	0,0238	0,130	0,0544	0,5192	0,0155	47,52	<0,0001
42	0,134	0,0465	0,8757	0,0080	161,97	<0,0001	0,083	0,074	0,467	0,017	17,549	0,000	0,203	0,0293	0,3318	0,0186	22,34	<0,0001
43	-0,064	0,0954	0,7473	0,0142	68,02	<0,0001	-0,043	0,099	0,404	0,018	13,570	0,0015	0,068	0,0600	0,3333	0,0212	22,49	<0,0001
44	-0,128	0,1269	0,9207	0,0086	266,86	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-0,128	0,1269	0,9207	0,0086	266,86	<0,0001
45	-0,041	0,0884	0,8586	0,0096	139,71	<0,0001	0,215	0,0046	0,0008	0,0194	0,02	0,9012	0,118	0,0391	0,3112	0,0188	20,33	<0,0001
46	0,043	0,0569	0,6896	0,0095	51,10	<0,0001	0,082	0,0499	0,3265	0,0127	9,70	0,0055	0,126	0,0321	0,3252	0,0132	21,69	<0,0001
47	-0,037	0,0965	0,6483	0,0195	42,40	<0,0001	-0,043	0,1146	0,5110	0,0266	20,90	0,0002	0,087	0,0606	0,2907	0,0294	18,44	<0,0001
48	-0,084	0,1173	0,5637	0,0231	29,72	<0,0001	0,160	0,0423	0,2064	0,0242	5,46	0,0294	0,184	0,0273	0,0944	0,0297	4,79	0,0337
Média	-0,052	0,1070	0,7918	0,0148	147,69	0,0083	0,068	0,0730	0,2654	0,0223	10,43	0,1749	0,057	0,0740	0,4524	0,0228	52,13	0,0212

Anexo J. Coeficientes linear (a), angular (b) e de determinação (R2), o desvio padrão da regressão (DPR), a estatística F e sua respectiva probabilidade, para os ajustes do modelo linear nos dois períodos de observação e todos juntos aos dados da camada B.

Bateria	2000						2001						2000 + 2001					
	a	b	R2	DPR	F	Prob.	a	b	R2	DPR	F	Prob.	a	b	R2	DPR	F	Prob.
1	-0,003	0,0715	0,6845	0,0122	45,57	<0,0001	-0,039	0,1018	0,2543	0,0187	6,82	0,0167	0,203	0,0201	0,2095	0,0193	11,40	0,0016
2	0,024	0,0688	0,8566	0,0102	137,34	<0,0001	0,165	0,0285	0,3152	0,0148	9,21	0,0065	0,088	0,0514	0,6502	0,0142	83,66	<0,0001
3	-0,016	0,0679	0,8166	0,0093	97,95	<0,0001	-0,055	0,0847	0,4030	0,0171	13,50	0,0015	0,058	0,0500	0,5249	0,0153	48,61	<0,0001
4	-0,048	0,0786	0,8972	0,0081	200,67	<0,0001	0,061	0,0490	0,3598	0,0162	11,24	0,0032	-0,005	0,0670	0,6792	0,0129	95,29	<0,0001
5	0,083	0,0445	0,6797	0,0097	48,80	<0,0001	-	-	-	-	-	-	0,095	0,0420	0,5082	0,0129	24,80	<0,0001
6	0,065	0,0508	0,7686	0,0087	76,38	<0,0001	0,194	0,0180	0,0578	0,0134	1,23	0,2809	0,138	0,0325	0,3768	0,0126	27,21	<0,0001
7	-0,208	0,1106	0,7890	0,0142	85,99	<0,0001	0,111	0,0365	0,3330	0,0163	9,98	0,0049	0,104	0,0360	0,3068	0,0215	19,91	<0,0001
8	-0,122	0,0933	0,7281	0,0157	61,60	<0,0001	-0,057	0,092	0,427	0,016	14,878	0,0010	0,139	0,0292	0,2143	0,0230	12,28	0,0010
9	-0,249	0,1229	0,8368	0,0143	117,97	<0,0001	-0,054	0,0808	0,3519	0,0181	10,86	0,0036	0,003	0,0616	0,4939	0,0216	43,92	<0,0001
10	-0,115	0,0954	0,6908	0,0192	51,40	<0,0001	-0,090	0,1027	0,6153	0,0159	31,99	<0,0001	0,066	0,0492	0,4222	0,0233	32,88	<0,0001
11	0,137	0,0346	0,7400	0,0046	65,45	<0,0001	0,205	0,0190	0,5002	0,0030	20,01	0,0002	0,217	0,0148	0,4032	0,0055	30,40	<0,0001
12	0,177	0,0262	0,7615	0,0046	73,44	<0,0001	0,217	0,0168	0,5978	0,0032	29,73	<0,0001	0,213	0,0173	0,5560	0,0050	56,35	<0,0001
13	-0,080	0,0862	0,8570	0,0122	137,83	<0,0001	0,079	0,0500	0,5252	0,0123	21,02	0,0002	0,074	0,0483	0,5106	0,0183	45,91	<0,0001
14	-0,035	0,0792	0,9114	0,0078	236,50	<0,0001	0,128	0,0392	0,4017	0,0152	12,08	0,0027	0,123	0,0378	0,4421	0,0171	34,07	<0,0001
15	-0,149	0,1009	0,7423	0,0192	66,25	<0,0001	-0,072	0,0915	0,2468	0,0334	6,55	0,0187	0,036	0,0559	0,3547	0,0304	24,73	<0,0001
16	-0,277	0,1422	0,8271	0,0147	110,04	<0,0001	-0,422	0,2113	0,5839	0,0243	26,66	<0,0001	0,076	0,0484	0,1466	0,0335	7,56	0,0086
17	-0,026	0,0746	0,7975	0,0101	90,57	<0,0001	-0,234	0,1772	0,8801	0,0073	146,82	<0,0001	0,185	0,0195	0,2627	0,0188	16,03	0,0002
18	-0,062	0,0802	0,7298	0,0133	62,12	<0,0001	0,048	0,0608	0,2789	0,0170	7,74	0,0115	0,147	0,0293	0,2329	0,0198	13,66	0,0006
19	-0,033	0,0766	0,8663	0,0085	149,02	<0,0001	-0,032	0,0855	0,6089	0,0103	31,13	<0,0001	0,088	0,0450	0,4950	0,0142	44,10	<0,0001
20	0,028	0,0548	0,8280	0,0089	110,73	<0,0001	0,138	0,0326	0,1477	0,0141	3,46	0,0774	0,174	0,0189	0,2266	0,0162	13,19	0,0007
21	-0,108	0,0924	0,7797	0,0156	81,42	<0,0001	0,165	0,0198	0,0127	0,0271	0,26	0,6179	0,043	0,0538	0,3359	0,0245	22,76	<0,0001
22	-0,166	0,1104	0,9529	0,0074	465,64	<0,0001	-0,107	0,1034	0,5027	0,0182	19,21	0,0003	-0,024	0,0741	0,5720	0,0196	58,82	<0,0001
23	0,281	0,0084	0,7316	0,0015	57,23	<0,0001	0,293	0,0063	0,1002	0,0048	1,89	0,1867	0,299	0,0041	0,1211	0,0037	5,51	0,0239
24	0,218	0,0287	0,7432	0,0060	66,56	<0,0001	0,275	0,0129	0,1099	0,0086	2,47	0,1317	0,246	0,0212	0,4205	0,0079	32,66	<0,0001
25	-0,020	0,0803	0,9013	0,0077	210,06	<0,0001	0,161	0,0391	0,1856	0,0184	4,56	0,0453	0,186	0,0277	0,1680	0,0207	9,09	0,0042
26	-0,028	0,0821	0,7313	0,0135	62,60	<0,0001	-0,030	0,0972	0,4659	0,0186	17,44	0,0005	0,174	0,0319	0,1076	0,0261	5,42	0,0244
28	-0,172	0,1046	0,9597	0,0070	523,72	<0,0001	0,201	0,0074	0,0006	0,0423	0,01	0,9124	0,117	0,0303	0,1032	0,0357	5,06	0,0295
29	-0,025	0,0779	0,8892	0,0094	184,62	<0,0001	0,573	-0,0836	0,5714	0,0095	1,33	0,4544	0,064	0,0555	0,4211	0,0223	18,91	0,0002
31	0,070	0,0521	0,8740	0,0068	152,58	<0,0001	0,156	0,0349	0,2867	0,0129	8,04	0,0102	0,188	0,0232	0,3472	0,0137	23,40	<0,0001
32	-0,004	0,0740	0,9183	0,0063	258,63	<0,0001	0,113	0,0450	0,1273	0,0103	2,92	0,1031	0,103	0,0463	0,5720	0,0116	60,14	<0,0001
33	-0,039	0,0691	0,8408	0,0088	121,45	<0,0001	-0,061	0,0809	0,6199	0,0092	32,62	<0,0001	0,035	0,0514	0,5307	0,0128	50,89	<0,0001
34	-0,036	0,0694	0,9212	0,0072	268,96	<0,0001	-0,181	0,1146	0,5905	0,0137	28,84	<0,0001	-0,013	0,0649	0,6694	0,0134	91,10	<0,0001
35	0,054	0,0566	0,9770	0,0023	978,56	<0,0001	0,147	0,0361	0,0972	0,0110	2,15	0,1579	0,156	0,0316	0,3242	0,0112	21,59	<0,0001
36	0,068	0,0501	0,9534	0,0035	470,53	<0,0001	0,087	0,0552	0,7481	0,0059	59,41	<0,0001	0,213	0,0153	0,1715	0,0130	9,31	0,0038
37	0,190	0,0297	0,9524	0,0020	460,59	<0,0001	0,247	0,0174	0,2168	0,0058	5,53	0,0290	0,225	0,0219	0,3268	0,0078	21,85	<0,0001
38	0,201	0,0271	0,9101	0,0025	232,87	<0,0001	0,255	0,0148	0,1002	0,0061	2,23	0,1512	0,253	0,0140	0,1967	0,0073	11,02	0,0018
39	-0,129	0,0907	0,9142	0,0086	244,96	<0,0001	0,139	0,0316	0,1413	0,0187	3,29	0,0847	0,163	0,0206	0,1010	0,0245	5,06	0,0295
40	-0,028	0,0664	0,7029	0,0133	54,40	<0,0001	0,076	0,047	0,168	0,021	4,027	0,0585	0,131	0,0291	0,1705	0,0214	9,25	0,0039
41	0,124	0,0450	0,7437	0,0064	66,75	<0,0001	0,251	0,0139	0,1335	0,0084	2,93	0,1034	0,249	0,0135	0,1861	0,0098	10,06	0,0028
42	0,204	0,0248	0,6167	0,0054	37,01	<0,0001	0,189	0,0332	0,3285	0,0103	9,78	0,0053	0,255	0,0127	0,2283	0,0092	13,31	0,0007
43	0,003	0,0717	0,8938	0,0089	193,61	<0,0001	-0,021	0,0977	0,5170	0,0139	20,34	0,0002	0,202	0,0225	0,1913	0,0214	10,41	0,0024
44	-0,069	0,0879	0,8751	0,0100	161,20	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-0,069	0,0879	0,8751	0,0100	161,20	<0,0001
45	-0,083	0,0837	0,8720	0,0092	156,68	<0,0001	0,066	0,0572	0,5650	0,0140	25,98	<0,0001	0,166	0,0242	0,2140	0,0206	12,25	0,0011
46	0,005	0,0616	0,8948	0,0063	195,62	<0,0001	0,135	0,036	0,055	0,020	1,113	0,3047	0,202	0,0133	0,0385	0,0210	1,76	0,1910
47	-0,128	0,1112	0,8670	0,0106	149,95	<0,0001	0,755	-0,1191	0,8952	0,0062	8,54	0,2099	0,025	0,0718	0,2378	0,0308	8,11	0,0085
48	-0,011	0,0734	0,6435	0,0163	41,52	<0,0001	-0,055	0,1061	0,1200	0,0308	2,73	0,1143	0,287	0,0006	0,0000	0,0324	0,00	0,9645
Média	-0,012	0,0715	0,8232	0,0093	172,25	0,0004	0,094	0,0519	0,3533	0,0148	15,51	0,1749	0,133	0,0356	0,3402	0,0176	29,67	0,0212

Anexo K. Coeficientes linear (a), angular (b) e de determinação (R²), o desvio padrão da regressão (DPR), a estatística F e sua respectiva probabilidade, para os ajustes do modelo linear nos dois períodos de observação e todos juntos aos dados da camada C.

Bateria	2000						2001						2000 + 2001					
	a	b	R ²	DPR	F	Prob.	a	b	R ²	DPR	F	Prob.	a	b	R ²	DPR	F	Prob.
1	0,031	0,0824	0,6776	0,0078	46,24	<0,0001	0,171	0,0412	0,1668	0,0145	4,00	0,0591	0,212	0,0188	0,3191	0,0132	20,62	<0,0001
2	-0,176	0,1491	0,6313	0,0086	37,67	<0,0001	0,166	0,0283	0,1532	0,0117	3,62	0,0717	0,108	0,0497	0,2270	0,0120	12,92	0,0008
3	0,013	0,0817	0,8060	0,0069	91,39	<0,0001	0,022	0,0847	0,8932	0,0059	167,22	<0,0001	0,081	0,0599	0,7186	0,0091	112,33	<0,0001
4	0,055	0,0630	0,8226	0,0069	102,00	<0,0001	0,106	0,0463	0,4093	0,0124	13,86	0,0013	0,078	0,0554	0,6255	0,0099	73,50	<0,0001
5	0,137	0,0403	0,6786	0,0069	44,34	<0,0001	-	-	-	-	-	-	0,132	0,0427	0,5447	0,0095	26,32	<0,0001
6	0,063	0,0662	0,7789	0,0076	77,52	<0,0001	0,172	0,0312	0,3655	0,0121	11,52	0,0029	0,171	0,0296	0,3542	0,0124	24,13	<0,0001
7	0,086	0,0570	0,6500	0,0082	40,86	<0,0001	-0,004	0,0989	0,6286	0,0085	33,85	<0,0001	0,161	0,0328	0,2959	0,0114	18,49	<0,0001
8	0,071	0,0606	0,7200	0,0072	56,56	<0,0001	0,100	0,054	0,584	0,007	28,130	<0,0001	0,126	0,0432	0,5712	0,0083	58,61	<0,0001
9	-0,070	0,1056	0,6403	0,0097	39,16	<0,0001	-0,001	0,0893	0,4656	0,0147	17,43	0,0005	0,079	0,0591	0,5050	0,0136	44,89	<0,0001
10	-0,030	0,0937	0,9081	0,0056	217,48	<0,0001	0,019	0,0935	0,5393	0,0132	23,41	<0,0001	0,176	0,0270	0,2193	0,0164	12,36	0,0010
11	0,158	0,0294	0,1032	0,0070	2,53	0,1258	0,146	0,0362	0,3574	0,0053	11,12	0,0033	0,201	0,0163	0,2756	0,0064	16,74	0,0002
12	0,132	0,0412	0,6004	0,0083	34,56	<0,0001	0,168	0,0290	0,3918	0,0058	12,88	0,0018	0,150	0,0353	0,5491	0,0073	54,79	<0,0001
13	0,032	0,0711	0,7529	0,0080	67,04	<0,0001	0,178	0,0233	0,0670	0,0137	1,44	0,2448	0,100	0,0494	0,3883	0,0117	27,93	<0,0001
14	0,087	0,0638	0,9050	0,0050	200,15	<0,0001	0,229	0,0089	0,0359	0,0152	0,71	0,4105	0,189	0,0252	0,2474	0,0134	13,80	0,0006
15	0,050	0,0700	0,9751	0,0031	861,35	<0,0001	0,242	0,0020	0,0009	0,0208	0,02	0,8958	0,189	0,0226	0,1693	0,0180	8,97	0,0045
16	-0,039	0,0987	0,9540	0,0046	476,95	<0,0001	-0,106	0,1390	0,7104	0,0114	49,07	<0,0001	0,096	0,0546	0,4790	0,0152	41,37	<0,0001
17	0,103	0,0605	0,9392	0,0042	355,25	<0,0001	-0,111	0,1585	0,6237	0,0105	33,16	<0,0001	0,151	0,0444	0,5283	0,0117	50,40	<0,0001
18	0,092	0,0577	0,9029	0,0056	213,78	<0,0001	-0,032	0,1129	0,7415	0,0078	57,36	<0,0001	0,148	0,0408	0,5723	0,0109	60,21	<0,0001
19	-0,067	0,1215	0,8843	0,0116	175,75	<0,0001	0,018	0,0946	0,4263	0,0151	14,86	0,0010	0,017	0,0907	0,6380	0,0168	79,31	<0,0001
20	-0,064	0,1120	0,7860	0,0149	84,47	<0,0001	0,139	0,0363	0,1983	0,0166	4,95	0,0378	0,050	0,0707	0,5064	0,0186	46,16	<0,0001
21	-0,106	0,1186	0,7920	0,0111	87,57	<0,0001	0,108	0,0421	0,4491	0,0109	16,30	0,0006	0,019	0,0743	0,5729	0,0132	60,37	<0,0001
22	-0,028	0,0886	0,8305	0,0096	107,79	<0,0001	0,086	0,0550	0,2163	0,0156	5,52	0,0292	0,094	0,0489	0,3686	0,0161	25,69	<0,0001
23	0,168	0,0295	0,6061	0,0056	33,85	<0,0001	0,229	0,0079	0,0823	0,0074	1,34	0,2644	0,200	0,0180	0,3060	0,0068	17,20	0,0002
24	0,169	0,0306	0,5393	0,0070	26,92	<0,0001	0,205	0,0184	0,4531	0,0042	16,57	0,0006	0,191	0,0233	0,4543	0,0061	37,46	<0,0001
25	0,104	0,0564	0,9387	0,0043	352,06	<0,0001	0,114	0,0569	0,6128	0,0098	31,65	<0,0001	0,129	0,0491	0,6921	0,0090	101,14	<0,0001
26	0,080	0,0601	0,7370	0,0091	64,44	<0,0001	0,103	0,0600	0,1916	0,0154	4,74	0,0416	0,173	0,0316	0,2306	0,0150	13,49	0,0006
28	-0,153	0,1301	0,8170	0,0187	102,71	<0,0001	-0,343	0,2822	0,4777	0,0280	18,29	0,0004	0,146	0,0319	0,1685	0,0371	9,12	0,0042
29	-0,015	0,1014	0,8726	0,0101	157,50	<0,0001	0,106	0,0570	0,1814	0,0203	4,43	0,0481	0,030	0,0856	0,5825	0,0163	62,80	<0,0001
31	0,071	0,0732	0,8159	0,0145	101,93	<0,0001	0,120	0,0381	0,7111	0,0043	49,24	<0,0001	0,003	0,0938	0,7930	0,0185	172,43	<0,0001
32	-0,019	0,1049	0,9866	0,0038	1694,32	<0,0001	-0,205	0,1994	0,7738	0,0124	68,42	<0,0001	0,070	0,0756	0,6535	0,0176	84,88	<0,0001
33	0,007	0,0815	0,8926	0,0074	191,16	<0,0001	-0,066	0,1214	0,7598	0,0088	63,26	<0,0001	0,096	0,0533	0,4424	0,0151	35,71	<0,0001
34	0,062	0,0624	0,9689	0,0047	717,64	<0,0001	0,059	0,0757	0,2679	0,0214	4,76	0,0482	0,120	0,0451	0,4829	0,0184	35,48	<0,0001
35	0,088	0,0639	0,9624	0,0040	587,92	<0,0001	0,029	0,0979	0,8180	0,0066	89,91	<0,0001	0,160	0,0413	0,4889	0,0128	43,04	<0,0001
36	0,074	0,0695	0,9420	0,0047	373,37	<0,0001	0,150	0,0486	0,4461	0,0097	16,11	0,0007	0,139	0,0492	0,5124	0,0118	47,29	<0,0001
37	0,061	0,0805	0,8470	0,0089	127,35	<0,0001	-0,013	0,1184	0,4882	0,0104	19,08	0,0003	0,136	0,0575	0,3699	0,0160	26,42	<0,0001
38	0,114	0,0671	0,8865	0,0074	179,68	<0,0001	0,247	0,0220	0,0331	0,0135	0,68	0,4179	0,179	0,0459	0,3897	0,0147	28,73	<0,0001
39	0,052	0,0594	0,7434	0,0102	66,64	<0,0001	0,214	0,0032	0,0068	0,0130	0,14	0,7153	0,150	0,0262	0,2492	0,0145	14,94	0,0004
40	0,048	0,0613	0,7554	0,0103	71,02	<0,0001	0,112	0,045	0,262	0,012	7,119	0,0148	0,129	0,0351	0,3576	0,0142	25,05	<0,0001
41	0,225	0,0194	0,8992	0,0018	205,21	<0,0001	0,261	0,0071	0,2654	0,0030	6,86	0,0169	0,246	0,0123	0,5559	0,0031	55,07	<0,0001
42	0,234	0,0165	0,8969	0,0017	200,16	<0,0001	0,232	0,0202	0,4462	0,0032	9,67	0,0090	0,256	0,0095	0,3596	0,0040	20,77	<0,0001
43	0,085	0,0632	0,9218	0,0053	271,09	<0,0001	0,004	0,1178	0,7977	0,0059	78,88	<0,0001	0,216	0,0201	0,2332	0,0142	13,69	0,0006
44	0,051	0,0693	0,7382	0,0103	64,85	<0,0001	0,193	0,0280	0,2058	0,0122	5,18	0,0339	0,182	0,0294	0,2557	0,0148	15,46	0,0003
45	-0,044	0,1089	0,8940	0,0082	193,88	<0,0001	-0,038	0,123	0,391	0,015	12,826	0,0019	0,129	0,0500	0,4068	0,0172	30,86	<0,0001
46	-0,006	0,0907	0,9298	0,0063	304,68	<0,0001	0,287	-0,0160	0,0158	0,0179	0,32	0,5767	0,197	0,0204	0,1099	0,0196	5,55	0,0229
47	0,137	0,0429	0,4083	0,0130	15,87	0,0006	0,207	0,0262	0,0474	0,0198	1,00	0,3303	0,242	0,0100	0,0177	0,0193	0,81	0,3729
48	0,100	0,0558	0,7553	0,0087	71,00	<0,0001	0,191	0,0378	0,2113	0,0172	5,09	0,0360	0,246	0,0116	0,0272	0,0211	1,23	0,2734
Média	0,048	0,0724	0,7933	0,0077	208,60	0,0004	0,094	0,0645	0,3860	0,0120	22,80	0,1749	0,141	0,0417	0,4090	0,0137	38,88	0,0212

Anexo L. Coeficientes linear (a), angular (b) e de determinação (R²), o desvio padrão da regressão (DPR), a estatística F e sua respectiva probabilidade, para os ajustes do modelo linear nos dois períodos de observação e todos juntos aos dados da camada D.

Bateria	2000						2001						2000 + 2001					
	a	b	R ²	DPR	F	Prob.	a	b	R ²	DPR	F	Prob.	a	b	R ²	DPR	F	Prob.
1	-0,005	0,0821	0,6128	0,0085	36,40	<0,0001	0,155	0,0377	0,0920	0,0169	1,82	0,1935	0,147	0,0392	0,2405	0,0135	13,61	0,0006
2	-0,090	0,1056	0,2320	0,0137	6,95	0,0148	0,275	-0,0001	0,0000	0,0154	0,00	0,9973	0,291	-0,0033	0,0015	0,0156	0,07	0,7953
3	0,014	0,0723	0,3589	0,0068	12,32	0,0020	0,220	0,0136	0,0415	0,0115	0,87	0,3632	0,185	0,0242	0,1543	0,0095	8,03	0,0069
4	0,044	0,0659	0,7726	0,0049	74,75	<0,0001	0,110	0,0417	0,4115	0,0090	13,98	0,0013	0,200	0,0187	0,1333	0,0103	6,77	0,0126
5	0,074	0,0594	0,6884	0,0082	48,61	<0,0001	0,204	0,0213	0,1131	0,0140	2,55	0,1260	0,168	0,0319	0,2620	0,0124	15,62	0,0003
6	0,062	0,0613	0,6922	0,0064	49,47	<0,0001	0,081	0,0579	0,3603	0,0103	11,26	0,0031	0,093	0,0535	0,4454	0,0089	35,33	<0,0001
7	0,091	0,0494	0,8938	0,0045	193,66	<0,0001	-0,026	0,090	0,794	0,007	65,545	<0,0001	0,131	0,0391	0,5310	0,0095	47,55	<0,0001
8	0,064	0,0551	0,5299	0,0077	24,80	<0,0001	0,086	0,0475	0,3229	0,0099	9,54	0,0058	0,091	0,0469	0,3628	0,0091	25,05	<0,0001
9	-0,155	0,1126	0,3493	0,0159	12,34	0,0019	-0,003	0,0747	0,4680	0,0153	17,60	0,0004	0,048	0,0583	0,3433	0,0164	23,52	<0,0001
10	-0,067	0,0917	0,7247	0,0097	60,55	<0,0001	-0,020	0,0857	0,3988	0,0174	13,27	0,0016	0,093	0,0483	0,3137	0,0165	20,57	<0,0001
11	0,156	0,0364	0,6803	0,0034	48,94	<0,0001	0,347	-0,0173	0,0650	0,0060	0,56	0,4770	0,213	0,0208	0,1732	0,0058	6,91	0,0129
12	0,060	0,0617	0,6367	0,0072	40,31	<0,0001	0,182	0,0267	0,2818	0,0070	7,85	0,0110	0,126	0,0429	0,4247	0,0078	33,21	<0,0001
13	-0,085	0,0964	0,6704	0,0093	44,75	<0,0001	0,305	-0,0142	0,0225	0,0129	0,46	0,5049	0,147	0,0298	0,0935	0,0139	4,54	0,0388
14	0,052	0,0583	0,7380	0,0083	64,77	<0,0001	0,277	-0,0057	0,0062	0,0146	0,12	0,7345	0,165	0,0271	0,1906	0,0136	10,36	0,0024
15	0,074	0,0538	0,4777	0,0111	21,04	0,0001	0,223	0,0142	0,0629	0,0145	1,34	0,2604	0,173	0,0277	0,2100	0,0133	11,96	0,0012
16	-0,092	0,1043	0,5861	0,0081	31,15	<0,0001	-0,157	0,1243	0,2301	0,0155	5,98	0,0239	-0,072	0,0988	0,4513	0,0121	36,19	<0,0001
17	-0,036	0,0913	0,7592	0,0072	72,51	<0,0001	-0,243	0,1796	0,7265	0,0070	53,14	<0,0001	0,220	0,0193	0,2082	0,0125	11,84	0,0013
18	-0,001	0,0800	0,3752	0,0116	12,61	0,0019	0,237	0,0118	0,0060	0,0149	0,12	0,7311	0,106	0,0492	0,1174	0,0139	5,72	0,0212
19	0,077	0,0543	0,5707	0,0075	29,24	<0,0001	-0,016	0,0833	0,6542	0,0065	37,83	<0,0001	0,054	0,0614	0,5875	0,0071	62,68	<0,0001
20	0,071	0,0516	0,6382	0,0095	40,57	<0,0001	0,148	0,0299	0,3406	0,0083	10,33	0,0044	0,098	0,0441	0,5387	0,0091	52,55	<0,0001
21	-0,066	0,0986	0,8376	0,0060	118,65	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-0,066	0,0986	0,8376	0,0060	118,65	<0,0001
22	0,002	0,0795	0,8491	0,0057	123,75	<0,0001	0,090	0,0516	0,3004	0,0099	8,59	0,0083	0,036	0,0685	0,6061	0,0082	67,70	<0,0001
23	0,100	0,0460	0,8593	0,0033	140,42	<0,0001	0,182	0,0197	0,0818	0,0080	1,25	0,2830	0,203	0,0152	0,1879	0,0076	9,03	0,0046
24	0,080	0,0591	0,7435	0,0063	66,67	<0,0001	0,182	0,0238	0,4787	0,0061	18,36	0,0004	0,169	0,0290	0,3929	0,0082	29,12	<0,0001
25	0,033	0,0624	0,9201	0,0048	264,79	<0,0001	0,049	0,0577	0,4171	0,0131	14,31	0,0012	0,038	0,0610	0,6824	0,0094	96,68	<0,0001
26	-0,226	0,1288	0,6019	0,0135	34,78	<0,0001	-0,073	0,0906	0,3238	0,0160	9,58	0,0057	-0,063	0,0863	0,3778	0,0158	27,33	<0,0001
28	-0,204	0,1274	0,7247	0,0117	57,91	<0,0001	0,172	0,0304	0,0697	0,0161	1,50	0,2351	0,211	0,0162	0,0858	0,0185	4,13	0,0483
29	-0,038	0,0898	0,7659	0,0077	71,96	<0,0001	0,371	-0,0290	0,1164	0,0133	2,11	0,1658	0,184	0,0262	0,0893	0,0143	3,92	0,0545
31	0,070	0,0558	0,8796	0,0041	160,77	<0,0001	0,050	0,0673	0,8729	0,0044	137,41	<0,0001	0,154	0,0341	0,4796	0,0085	40,55	<0,0001
32	-0,026	0,0838	0,9603	0,0028	556,43	<0,0001	0,098	0,0504	0,3189	0,0097	9,36	0,0062	0,072	0,0572	0,6252	0,0081	75,07	<0,0001
33	0,128	0,0363	0,4823	0,0089	21,42	0,0001	0,074	0,0552	0,6181	0,0068	32,36	<0,0001	0,159	0,0288	0,3554	0,0092	24,81	<0,0001
34	0,009	0,0652	0,7128	0,0085	54,61	<0,0001	-0,025	0,0792	0,4614	0,0113	17,13	0,0005	0,092	0,0447	0,3769	0,0121	26,61	<0,0001
35	-0,033	0,0840	0,8514	0,0055	131,76	<0,0001	0,046	0,0658	0,4831	0,0086	18,69	0,0003	0,101	0,0473	0,3780	0,0103	27,35	<0,0001
36	-0,002	0,0723	0,7956	0,0055	85,63	<0,0001	0,159	0,0311	0,4006	0,0079	13,37	0,0016	0,097	0,0466	0,4757	0,0086	39,92	<0,0001
37	0,107	0,0477	0,8658	0,0031	148,36	<0,0001	-	-	-	-	-	-	0,130	0,0416	0,5660	0,0059	32,61	<0,0001
38	0,162	0,0345	0,9063	0,0023	222,54	<0,0001	0,146	0,0388	0,3932	0,0040	12,96	0,0018	0,164	0,0339	0,7878	0,0031	167,08	<0,0001
39	-0,010	0,0742	0,9190	0,0059	261,07	<0,0001	0,087	0,0518	0,3048	0,0156	8,77	0,0077	0,028	0,0659	0,5157	0,0148	47,92	<0,0001
40	-0,154	0,1184	0,9075	0,0068	225,61	<0,0001	0,205	0,0116	0,0202	0,0120	0,39	0,5385	-0,009	0,0760	0,5052	0,0127	44,93	<0,0001
41	0,084	0,0537	0,7887	0,0054	85,85	<0,0001	0,243	0,008	0,047	0,007	0,936	0,3455	0,156	0,0330	0,4068	0,0075	30,17	<0,0001
42	0,199	0,0222	0,4678	0,0065	20,22	0,0002	0,143	0,0401	0,3917	0,0082	12,88	0,0018	0,209	0,0200	0,3284	0,0078	22,01	<0,0001
43	-0,303	0,1672	0,8513	0,0152	131,68	<0,0001	-0,634	0,2905	0,8654	0,0120	128,62	<0,0001	-0,026	0,0919	0,3930	0,0277	29,13	<0,0001
44	-0,603	0,2355	0,6274	0,0234	38,73	<0,0001	0,139	0,0376	0,0463	0,0297	0,97	0,3360	-0,146	0,1138	0,2459	0,0296	14,67	0,0004
45	0,035	0,0630	0,6514	0,0079	42,97	<0,0001	-0,183	0,1369	0,8146	0,0083	87,87	<0,0001	0,166	0,0291	0,1715	0,0148	9,32	0,0038
46	-0,012	0,0737	0,9060	0,0048	211,94	<0,0001	-0,170	0,133	0,625	0,008	31,616	<0,0001	0,169	0,0250	0,2062	0,0128	11,17	0,0017
47	0,058	0,0610	0,8542	0,0036	134,77	<0,0001	0,255	0,0060	0,0139	0,0087	0,28	0,6014	0,175	0,0284	0,2415	0,0078	14,32	0,0005
48	0,150	0,0344	0,4239	0,0063	16,93	0,0004	0,194	0,0237	0,3886	0,0064	12,71	0,0019	0,196	0,0224	0,2835	0,0069	17,81	0,0001
Média	-0,003	0,0765	0,6987	0,0077	94,70	0,0004	0,095	0,0517	0,3239	0,0110	19,00	0,1749	0,115	0,0439	0,3562	0,0115	31,83	0,0212

Anexo M. Coeficientes linear (a), angular (b) e de determinação (R²), o desvio padrão da regressão (DPR), a estatística F e sua respectiva probabilidade, para os ajustes do modelo linear nos dois períodos de observação e todos juntos aos dados da camada E.

Bateria	2000						2001						2000 + 2001					
	a	b	R ²	DPR	F	Prob.	a	b	R ²	DPR	F	Prob.	a	b	R ²	DPR	F	Prob.
1	-0,082	0,1099	0,4478	0,0106	18,65	0,0003	-0,023	0,0915	0,2693	0,0202	7,37	0,0133	-0,043	0,0979	0,3267	0,0155	21,83	<0,0001
2	0,026	0,0704	0,1106	0,0116	2,86	0,1043	0,242	0,0092	0,0118	0,0175	0,24	0,6298	0,225	0,0139	0,0186	0,0146	0,85	0,3605
3	0,141	0,0429	0,5169	0,0070	24,61	<0,0001	0,135	0,0380	0,2804	0,0082	7,79	0,0113	0,214	0,0183	0,0445	0,0134	2,10	0,1544
4	0,065	0,0612	0,5968	0,0059	34,05	<0,0001	0,378	-0,0286	0,1562	0,0096	2,96	0,1045	0,243	0,0113	0,0360	0,0094	1,53	0,2230
5	0,127	0,0438	0,6802	0,0078	48,91	<0,0001	-0,016	0,0849	0,4465	0,0146	16,13	0,0007	0,093	0,0538	0,4846	0,0118	42,32	<0,0001
6	-0,156	0,1319	0,7768	0,0086	76,58	<0,0001	0,230	0,0235	0,0155	0,0276	0,30	0,5907	0,241	0,0166	0,0117	0,0242	0,51	0,4790
7	-0,235	0,1503	0,7380	0,0075	64,78	<0,0001	-	-	-	-	-	-	-0,356	0,1867	0,7036	0,0105	59,36	<0,0001
8	-0,009	0,0847	0,7270	0,0061	61,24	<0,0001	0,079	0,060	0,356	0,013	11,071	0,0034	0,062	0,0640	0,4081	0,0107	31,02	<0,0001
9	0,317	-0,0112	0,0487	0,0144	1,18	0,2889	-0,150	0,1330	0,2560	0,0267	6,88	0,0163	0,285	0,0003	0,0000	0,0244	0,00	0,9872
10	-0,098	0,1156	0,7131	0,0085	57,18	<0,0001	0,083	0,0603	0,0620	0,0183	1,32	0,2638	-0,014	0,0902	0,2931	0,0143	18,66	<0,0001
11	-0,115	0,1190	0,6976	0,0070	53,06	<0,0001	0,097	0,0586	0,3041	0,0082	8,74	0,0078	0,184	0,0281	0,1600	0,0103	8,57	0,0053
12	0,112	0,0520	0,7484	0,0043	68,41	<0,0001	0,140	0,0451	0,3054	0,0122	8,79	0,0076	0,153	0,0400	0,3611	0,0092	25,44	<0,0001
13	0,283	-0,0014	0,0003	0,0151	0,01	0,9306	0,280	-0,0005	0,0000	0,0201	0,00	0,9895	0,283	-0,0013	0,0002	0,0172	0,01	0,9312
14	-0,010	0,0923	0,8384	0,0066	119,34	<0,0001	0,108	0,0577	0,2353	0,0167	6,15	0,0221	0,092	0,0615	0,3969	0,0134	29,61	<0,0001
15	0,081	0,0570	0,4919	0,0112	22,27	<0,0001	0,188	0,0260	0,0451	0,0150	0,95	0,3425	0,113	0,0479	0,2730	0,0130	16,90	0,0002
16	-0,028	0,0981	0,8303	0,0050	112,57	<0,0001	0,101	0,0446	0,3287	0,0073	9,79	0,0053	0,269	0,0003	0,0001	0,0108	0,00	0,9459
17	-0,008	0,0945	0,6937	0,0089	52,08	<0,0001	0,152	0,0422	0,0316	0,0213	0,65	0,4284	0,126	0,0513	0,1630	0,0169	8,76	0,0049
18	-0,362	0,2046	0,4992	0,0108	21,93	0,0001	0,082	0,0658	0,1897	0,0195	4,68	0,0427	0,028	0,0824	0,2241	0,0160	12,71	0,0009
19	-0,022	0,0967	0,2888	0,0098	8,93	0,0068	-0,085	0,1089	0,2265	0,0166	5,86	0,0252	0,204	0,0223	0,0323	0,0150	1,47	0,2322
20	-0,086	0,1112	0,8835	0,0051	174,40	<0,0001	0,276	-0,0016	0,0004	0,0159	0,01	0,9316	0,148	0,0375	0,1556	0,0139	8,29	0,0061
21	-0,147	0,1383	0,7444	0,0073	66,98	<0,0001	0,239	-0,0009	0,0007	0,0038	0,01	0,9070	0,023	0,0771	0,1979	0,0154	11,10	0,0017
22	-0,057	0,1087	0,7895	0,0056	86,24	<0,0001	0,153	0,0384	0,0923	0,0142	2,03	0,1694	0,035	0,0777	0,3645	0,0113	25,81	<0,0001
23	0,198	0,0293	0,0218	0,0221	0,51	0,4812	0,263	0,0049	0,0018	0,0151	0,04	0,8509	0,248	0,0106	0,0049	0,0189	0,22	0,6418
24	0,115	0,0611	0,3643	0,0082	13,18	0,0014	0,170	0,0387	0,1472	0,0138	3,45	0,0779	0,195	0,0312	0,1507	0,0114	7,98	0,0070
25	0,142	0,0467	0,7410	0,0080	65,80	<0,0001	0,121	0,0563	0,3382	0,0146	10,22	0,0045	0,144	0,0470	0,4888	0,0118	43,04	<0,0001
26	-0,032	0,0865	0,2642	0,0172	8,26	0,0086	0,152	0,0403	0,0671	0,0224	1,44	0,2445	0,231	0,0142	0,0114	0,0219	0,52	0,4749
28	-0,073	0,1012	0,8293	0,0058	111,76	<0,0001	0,048	0,0616	0,1211	0,0150	2,75	0,1126	0,095	0,0495	0,2914	0,0124	18,50	<0,0001
29	0,124	0,0495	0,6121	0,0049	34,72	<0,0001	0,131	0,0517	0,1221	0,0196	1,67	0,2206	0,101	0,0587	0,2332	0,0137	10,95	0,0021
31	0,145	0,0459	0,8565	0,0045	137,27	<0,0001	-0,053	0,0964	0,7885	0,0051	74,58	<0,0001	0,209	0,0247	0,3050	0,0094	19,75	<0,0001
32	0,058	0,0708	0,8571	0,0042	137,93	<0,0001	0,157	0,0425	0,1261	0,0104	2,88	0,1049	0,113	0,0551	0,3982	0,0085	29,77	<0,0001
33	-0,030	0,0886	0,8281	0,0061	110,76	<0,0001	0,088	0,0549	0,2490	0,0147	6,63	0,0181	0,020	0,0742	0,4874	0,0114	42,79	<0,0001
34	-0,010	0,0804	0,7898	0,0059	86,43	<0,0001	0,059	0,0630	0,3701	0,0110	11,75	0,0027	0,082	0,0544	0,4120	0,0100	31,53	<0,0001
35	0,043	0,0728	0,7155	0,0061	57,84	<0,0001	0,192	0,0318	0,0887	0,0149	1,46	0,2458	0,122	0,0507	0,2325	0,0124	12,12	0,0012
36	-0,047	0,0926	0,4321	0,0069	17,50	0,0004	0,128	0,0460	0,2234	0,0097	5,75	0,0263	0,038	0,0698	0,3525	0,0088	24,49	<0,0001
37	0,154	0,0469	0,5045	0,0054	23,42	<0,0001	0,281	0,0083	0,0138	0,0059	0,28	0,6025	0,188	0,0363	0,4063	0,0058	30,80	<0,0001
38	0,123	0,0544	0,6232	0,0037	38,03	<0,0001	0,290	0,0047	0,0203	0,0051	0,42	0,5266	0,245	0,0179	0,1269	0,0057	6,54	0,0140
39	-0,065	0,1081	0,8579	0,0052	138,81	<0,0001	0,115	0,0486	0,2061	0,0089	5,19	0,0338	0,038	0,0739	0,5126	0,0083	47,33	<0,0001
40	0,053	0,0695	0,7301	0,0049	62,22	<0,0001	0,109	0,050	0,467	0,005	17,506	0,0005	0,086	0,0580	0,5720	0,0052	60,13	<0,0001
41	-0,076	0,1076	0,8318	0,0053	113,76	<0,0001	0,104	0,0538	0,3413	0,0086	9,85	0,0054	0,014	0,0806	0,5821	0,0075	61,28	<0,0001
42	0,084	0,0602	0,8140	0,0049	100,67	<0,0001	0,277	0,0050	0,0028	0,0128	0,06	0,8148	0,211	0,0245	0,1431	0,0110	7,51	0,0088
43	-0,050	0,0924	0,6813	0,0079	49,18	<0,0001	0,156	0,0276	0,0847	0,0146	1,85	0,1890	0,199	0,0177	0,2100	0,0133	11,96	0,0012
44	-0,165	0,1276	0,7291	0,0063	61,91	<0,0001	0,142	0,0396	0,0886	0,0159	1,94	0,1784	0,113	0,0471	0,1350	0,0133	7,02	0,0111
45	0,016	0,0701	0,7070	0,0067	55,49	<0,0001	0,003	0,076	0,239	0,014	6,284	0,0209	0,000	0,0755	0,4188	0,0115	32,43	<0,0001
46	0,042	0,0647	0,6909	0,0060	51,41	<0,0001	0,176	0,0257	0,1476	0,0089	3,46	0,0775	0,174	0,0251	0,1758	0,0092	9,60	0,0033
47	-0,090	0,1156	0,7811	0,0064	82,08	<0,0001	0,234	0,0138	0,0138	0,0195	0,28	0,6022	0,160	0,0361	0,0806	0,0166	3,94	0,0532
48	0,041	0,0707	0,5331	0,0106	26,26	<0,0001	0,027	0,0803	0,4645	0,0137	18,22	0,0003	0,072	0,0635	0,3349	0,0143	23,16	<0,0001
Média	0,009	0,0823	0,6230	0,0078	60,03	0,0004	0,135	0,0439	0,1855	0,0139	6,44	0,1749	0,124	0,0473	0,2548	0,0127	18,92	0,0212

Anexo N – Exemplos de curvas de calibração para os dados agrupados por haste. A primeira coluna corresponde ao primeiro período, a segunda ao segundo período e a terceira coluna com todos os dados em conjunto. Primeira linha corresponde à bateria 1, a segunda à 10 e a terceira à 19. Dados da camada A (◆), camada B (●), Camada C (⊠), camada D (■) e camada E (▲).

Anexo O – Exemplos de equações de calibração para os dados agrupados por haste. A primeira coluna corresponde ao primeiro período, a segunda ao segundo período e a terceira coluna com todos os dados em conjunto. Primeira linha corresponde à bateria 28, a segunda à 36 e a terceira à 45. Dados da camada A (◆), camada B (○), Camada C (⊠), camada D (◻) e camada E (△).

Anexo P – Equações de calibração e dados observados agrupados por camada. A primeira coluna corresponde ao primeiro período, a segunda ao segundo período e a terceira coluna com todos os dados em conjunto. Primeira linha corresponde à camada A, a segunda à B e a terceira à C.

Anexo Q – Equações de calibração e dados observados agrupados por camada. A primeira coluna corresponde ao primeiro período, a segunda ao segundo e a terceira coluna com todos os dados em conjunto. Primeira linha corresponde à camada D, a segunda à E e a terceira à todas juntas.

Anexo R– Exemplos de equações de calibração com os dados dos dois períodos para os segmentos da camada A. (a) bateria 1, (b) bateria 10, (c) bateria 19, (d) bateria 28, (e) bateria 36 e (f) bateria 45. (■) Dados de 2000 e (▲) de 2001.

Anexo S – Exemplos de equações de calibração com os dados dos dois períodos para os segmentos da camada B. (a) bateria 1, (b) bateria 10, (c) bateria 19, (d) bateria 28, (e) bateria 36 e (f) bateria 45. ($\square$) Dados de 2000 e ($\blacktriangle$) de 2001.

Anexo T – Exemplos de equações de calibração com os dados dos dois períodos para os segmentos da camada C. (a) bateria 1, (b) bateria 10, (c) bateria 19, (d) bateria 28, (e) bateria 36 e (f) bateria 45. ($\square$) Dados de 2000 e ($\triangle$) de 2001.

Anexo U— Exemplos de equações de calibração com os dados dos dois períodos para os segmentos da camada D. (a) bateria 1, (b) bateria 10, (c) bateria 19, (d) bateria 28, (e) bateria 36 e (f) bateria 45. (◻) Dados de 2000 e (▲) de 2001.

Anexo V – Exemplos de equações de calibração com os dados dos dois períodos para os segmentos da camada E. (a) bateria 1, (b) bateria 10, (c) bateria 19, (d) bateria 28, (e) bateria 36 e (f) bateria 45. (■) Dados de 2000 e (▲) de 2001.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARRUDA, F. B.; LELIS, L. G. L.; BARROS, S. B. M. **Montagem e teste de tensiômetro simplificado**. Campinas:CATI, 1987. 13 p. (Boletim Tecnico CATI, 112).
- BAKER, J. M.; LASCANO, R. J. The spatial sensitivity of time domain reflectometry. **Soil Science**. v. 147, n. 5, p. 378-384, 1989.
- BARTHEM, R. **Vocabulário de metrologia legal**. Instituto de Física-UFRJ. <http://www.if.ufrj.br/metrologia> (16 mar. 2001).
- BRIDGE, B. J.; SABBURG, J.; HABASH, K. O.; BALL, J. A. R.; HANCOCK, N. H. The dielectric behavior of clay soils and its application to time domain reflectometry. **Australian Journal of Soil Researches**. n. 34, p. 825-835, 1996.
- BRUCE R. R.; LUXMOORE, R. J. Water retention: field methods. In KLUTE, A. (Ed.). **Methods of Soil Analysis I**, Physical and Mineralogical Methods. Madison: Soil Science Society of America, 1986. cap. 27, p. 663-686.
- CASSEL, D. K.; KLUTE, A. Water potential: tensiometry. In KLUTE, A. (Ed.). **Methods of Soil Analysis I**, Physical and Mineralogical Methods. Madison: Soil Science Society of America, 1986. cap. 23 p. 563-596.
- CAUDURO, F. A.; DORFMAN, R. **Manual de ensaios de laboratório e campo para irrigação e drenagem**. Porto Alegre: PRONI - IPH-UFRGS, s.d., 216 p.
- CHUDINOVA, S. M.; PONIZOVSKII, A. A. The effect of soil texture on time domain reflectometry calibration for soil water measurement. **Eurasian Soil Science**, v. 31, n. 1, p. 17-24, 1998.
- COSTA NETO, P. L. O. **Estatística**. São Paulo: Edgard Blücher, 1977. 265 p.

- DALTON, F. N.; VAN GENUCHTEN, M. T. The time-domain reflectometry method for measuring soil water content and salinity. **Geoderma**, n. 38, p. 237-250, 1986.
- DASBERG, S.; DALTON, F. N. Time domain reflectometry field measurements of soil water content and electrical conductivity. **Soil Science Society of America Journal**, n. 49, p. 293-297, 1985.
- DASBERG, S.; ALKSNIS, H.; DANIEL, P.; KALMA, J. D.; ZEGELIN, S. J. **Calibration of the "Moisture Point" TDR system**. Victoria: Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, 1995. 15 p. (Report 95/4).
- DASBERG, S.; HOPMANS, J. W. Time domain reflectometry calibration for uniformly and nonuniformly wetted sandy and clayey loam soils. **Soil Science Society of America Journal**, n. 56, p. 1341-1345, 1992.
- DAVIS, J. L.; CHUDOBIAK, W. J. In-situ meter for measuring relative permittivity of soils. **Geology Survey of Canada** (Paper 75-1A), p. 75-79, 1975.
- DIRKSEN, C. **Soil physics measurements**. Reiskirchen: Catena-Verlag, 1999, 154 p.
- DIRKSEN, C.; DASBERG, S. Improved calibration of time domain reflectometry soil water content measurements. **Soil Science Society of America Journal**, n. 57, p. 660-667, 1993.
- DOBSON, M. C.; ULABY, F.T.; HALLIKAINEN, M. T.; EL-RAYES, M. A. Microwave dielectric behavior of wet soil II. Dielectric mixing models. **IEEE Transactions. Geoscience Remote Sensors**. n. 23, p. 35-46, 1985.
- DRUNGIL, C. E. C.; ABT, K.; GISH, T. J. Soil moisture determination in gravely soils with time domain reflectometry. **Transactions of ASAE**, n. 32, p. 177-180, 1989.
- FELLNER-FELDEGG, H. The measurement of dielectrics in time domain. **The Journal of Physical Chemistry**. v. 73, n. 3 p.616-623, 1969.
- FENG, W.; LIN, C. P.; DESCHAMPS, R. J.; DRNEVICH, V. P. Theoretical model of a multisection time domain reflectometry measurement system. **Water Resouces Research**. v. 35, n. 8, p. 2321-2331, 1999.

- FLETCHER, J. E. A dielectric method for determining soil moisture. **Soil Science Society of America Proceedings**. v. 4, p. 84-88, 1939.
- GARDNER, W. H. Water content. In KLUTE, A. (Ed.). **Methods of Soil Analysis I**, Physical and Mineralogical Methods. Madison: Soil Science Society of America, 1986. cap. 21, p. 493-544.
- GARDNER, W.; ISRAELSE, O. W.; EDLEFSEN, N. E.; CLYDE, D. The Capillary potential function and its relation to irrigation practice. **Physics Review** n. 20, p. 196, 1922.
- GRANTZ, D. A.; PERRY, M. H.; MEINZER, F. C. Using time-domain reflectometry to measure soil water in hawaiian sugarcane. **Agronomy Journal**, n. 82, p. 144-146, 1990.
- HERKELRATH, W. N.; HAMBURG, S. P.; MURPHY, F. Automatic, real-time monitoring of soil moisture in a remote field area with time domain reflectometry. **Water Resources Research**, v. 27, n. 5, p. 875-864, 1991.
- HIPP, J. E. Soil electromagnetic parameters as a function of frequency, soil density, and soil moisture. **Proceedings IEEE**, n. 62, p. 98-103, 1974.
- HOEKSTRA, P.; DENALEY, A. Dielectrical properties of soil at UHF and microwave frequencies. **Journal of Geophysics Research**. N. 79, p. 1699-1708, 1974.
- HOOK, W. R.; LIVINGSTON, N. J.; SUN Z. J.; HOOK P. B. Remote diode shorting improves measurements of soil water by time domain reflectometry. **Soil Science Society of America Journal**, n. 56, p. 1384-1391, 1992.
- HOOK, W. R.; LIVINGSTON, N. J. Propagation velocity errors in time domain reflectometry measurements of soil water content. **Soil Science Society of America Journal**, n. 59, p. 92-96, 1995.
- HOOK, W. R.; LIVINGSTON, N. J. Errors in converting time domain reflectometry measurements of propagation velocity to estimates of soil water content. **Soil Science Society of America Journal**, n. 60, p. 35-41, 1996.
- HUISMAN, J. A.; SPERL, C.; BOUTEN, W.; VERSTRATEN, J. M. Soil water content measurements at different scales: accuracy of time domain reflectometry and ground-penetrating radar. **Journal of Hydrology**. n. 245, p. 48-58, 2001.

- JACOBSEN, O. H.; SCHJØNNING, P. A laboratory calibration of time domain reflectometry for soil water measurement including effects of bulk density and texture. **Journal of Hydrology**, n. 151, p. 147-157, 1993.
- KENG, J. C.; TOPP, G. C. Measuring water content os soil columns in the laboratory: a comparison of gamma ray attenuation and TDR techniques. **Canadian Journal of Soil Science**, n. 63, p. 3-43, 1983.
- KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In KLUTE, A. (Ed.). **Methods of Soil Analisis I**, Physical and Mineralogical Methods. Madison: Soil Science Societe of America, 1986. cap. 26, p. 635-661.
- KLUTE, A.; GARDNER, W. R. Tensiometer response time. **Soil Science** n. 93, p. 204-207, 1965.
- KLUTE, A.; DIRKSEN, C. Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods. In KLUTE, A. (Ed.), **Methods of Soil Analisis I**, Physical and Mineralogical Methods. Madison: Soil Science Societe of America, 1986. Cap. 28, p. 687-734.
- KNIGHT, J. H. Sensitivity of time domain reflectometry measurements to lateral variations in soil water content. **Water Resources Research**, v. 28, n. 9, p. 2345-2352, 1992.
- LIBARDI, P. L. **Dinâmica da Água no Solo**. 2.ed. Piracicaba: O próprio, 2000. 509 p.
- LIDIEU, J.; DE RIDDER, P.; DE CLERCK, P.; DAUTREBANDE, S. A method of measuring soil moisture by time domain reflectometry. **Journal of Hydrology**, n. 88, p. 319-328, 1986.
- MARCIANO, C. R.; MORAES, S. O.; SAAD, A. M.; LIBARDI, P. L. Variabilidade do potencial mátrico e do conteúdo de água no solo em experimento de manejo de irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 22, p. 563-571, 1998.
- MELLO FILHO, J. F.; LIBARDI, P. L.; JONG VAN LIER, Q.; CORRENTE, J. E. Método convencional e “bootstrap” para estimar o número de observações na determinação dos parâmetros da função $K(\Theta)$. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.26, p. 895-903, 2002.
- MIYAMOTO, T.; KOBAYASHI, R. ANNAKA, T.; CHIKUSHI, J. Applicability of multiple length TDR probes to measure water distributions in an andisol under different tillage systems in Japan. **Soil & Tillage Research**, n. 60, p. 91-99, 2001.

- MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. **Water Resources Researches**, n. 12, p. 513-522, 1976.
- NOBORIO, K. Measurements of soil water content and electrical conductivity by time domain reflectometry: a review. **Computers and Electronics in Agriculture**, n. 31, p. 213-237, 2001.
- OR, D.; WRAITH, J. M. Temperature effects on soil bulk dielectrical permittivity measured by time domain reflectometry: a physical model. **Water Resources Research**, v. 35, n. 2, p. 371-383, 1999.
- PEPIN, S.; LIVINGSTON, N. J.; HOOK, W. R. Temperature-dependent measurements errors in time domain reflectometry determinations of soil water. **Soil Science Society of America Journal**, n. 59, p. 38-43, 1995.
- PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 14.ed. Piracicaba: O próprio, 2000. 477 p.
- PONIZOVSKY, A. A.; CHUDINOVA, S. M.; PACHEPSKY, Y. A. Performance of TDR calibration models as affected by soil texture. **Journal of Hydrology**, v. 218, p. 35-43, 1999.
- PESSOA, N. S. **O Tensiômetro simplificado na determinação da umidade do solo**. Campinas: CATI, 1983. 5 p. (Boletim Técnico CATI, 176).
- ROBINSON, D. A.; BELL, J. P.; BAHELOR, C. H. Influence of iron minerals on the determination do soil water content using dielectric techniques. **Journal of Hydrology**, v. 161, p. 169-180, 1994.
- ROTH, C. H.; MALICKI, M. A.; PLAGGE, R. Empirical evaluation of the relationship between soil dielectric constant and volumetric water content as basis for calibrating soil moisture measurements. **Journal of Soil Science**, n.43, p. 1-13, 1992.
- SABBURG, J.; BALL, J. A. R.; HANCOCK, N. H. Dielectric behavior of moist swelling soils at microwave frequencies. **IEEE Transactions Geosciences in Remote Sensing**, n. 35, p. 784-787, 1997.

- SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. **Metrologia:** Calibração. <http://www.sebrae-sc.com.br/sebraetib/conceitos/metrologia/calibração> (04 out. 2001).
- SEN, A. K.; SRIVASTAVA M. **Regression Analysis:** Theory and Applications. Nova Iorque: Springer-Verlag., 1990. 347 p.
- SERRARENS, D.; MACINTYRE J. L.; HOPMANS, J.W; BASSOI, L. H. Soil moisture calibration of TDR multilevel probes. **Scientia Agrícola**. v. 57, n. 2, p. 349-354, 2000.
- SOUZA, L. D.; REICHARDT, K. Estimativas da capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. N. 20, p. 183-189, 1996.
- TOMASELLI, J. T. G. **Influência de algumas características do solo sobre a calibração de um aparelho de TDR (time-domain reflectometry)**. Piracicaba, 1997. 109 p. Tese Doutorado – Centro Nacional de Energia na Agricultura, Universidade de São Paulo.
- TOPP, G. C.; DAVIS, J. L. Measurements of soil water content using time domain reflectometry (TDR): a field evaluation. **Soil Science Society of America Journal**, n. 49, p. 19-24, 1985.
- TOPP, G. C.; DAVIS, J. L.; ANNAN, A. P. Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. **Water Resources Research**. V. 16, N. 3, p. 574-582, 1980.
- TOPP, G. C.; DAVIS, J. L.; ANNAN, A. P. Electromagnetic determination of soil water content using TDR: I. Applications to wetting fronts and steep gradients. **Soil Science Society of America Journal**, n. 46, p. 672-684, 1982a.
- TOPP, G. C.; DAVIS, J. L.; ANNAN, A. P. Electromagnetic determination of soil water content using TDR: II. Evaluation of installation and configuration of parallel transmission lines. **Soil Science Society of America Journal**, n. 46, p. 672-684, 1982b.
- VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, n. 44, p. 892-898, 1980.

- VOGELER, I.; CLOTHIER, B. E.; GREEN, S. R.; SCOTTER, D. R.; TILLMAN, R. W. Characterizing water and solute movement by time domain reflectometry and disk permeametry. **Soil Science Society of America Journal**, n. 60, p. 5-12, 1996.
- VUOLO, J. H. **Fundamentos da teoria dos erros**. 2.ed. São Paulo: Ed. Edgar Blüncher, 1996. 249 p.
- VUOLO, J. H. Avaliação e expressão de incerteza em medição. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 21, n. 3, p. 350-358, 1999.
- WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In HILLEL, D., (Ed.) **Applications of Soil Physics**. Nova Iorque: Academy Press, 1980. p. 319-344.
- WHALLEY, W. R. Considerations of the use of time domain reflectometry (TDR) for measuring soil water content. **Journal of Soil Science**. n. 44, p. 1-9, 1993.
- YU, C.; WARRICK, A. W.; CONKLIN, M. H. Derived functions of time domain reflectometry for soil moisture measurement. **Water Resources Research**, v. 35, n. 6, p. 1789-1796, 1999.
- YU, C.; WARRICK, A. W.; CONKLIN, M. H.; YOUNG, M. H.; ZREDA, M. Two and three parameter calibrations of time domain reflectometry for soil moisture measurement. **Water Resources Research**, v. 33, n. 10, p. 2417-2421, 1997.
- YOUNG, M. H.; FLEMING, J. B.; WIERENGA, P. J.; WARRICK, A. W. Rapid laboratory calibration of time domain reflectometry using upward infiltration. **Soil Science Society of America Journal**, n. 61, p. 707-712, 1997.
- ZEGELIN, S. J.; WHITE, I.; JENKINS, D. R. Improved field probes for soil water content and electrical conductivity measurements using time domain reflectometry. **Water Resources Research**, n. 25, p. 2367-2376, 1989.