



Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Engenharia Agronómica

Dissertação

**Caracterização de parâmetros da qualidade do solo através
da análise de satélite de observação da terra**

Ivo Miguel Lourenço Dias

Orientador(es) | José Rafael Silva
Jose María Terrón López

Évora 2021





Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Engenharia Agronómica

Dissertação

**Caracterização de parâmetros da qualidade do solo através
da análise de satélite de observação da terra**

Ivo Miguel Lourenço Dias

Orientador(es) | José Rafael Silva
Jose María Terrón López

Évora 2021





A dissertação foi objeto de apreciação e discussão pública pelo seguinte júri nomeado pelo Diretor da Escola de Ciências e Tecnologia:

Presidente | Vasco Fitas da Cruz (Universidade de Évora)

Vogais | Carlos Alexandre (Universidade de Évora) (Arguente)
José Rafael Silva (Universidade de Évora) (Orientador)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e avós a quem, reconhecidamente, dedico este trabalho. Todos os gestos e palavras serão poucos para lhes agradecer. O seu exemplo, os seus ensinamentos de vida e os valores que me transmitiram, dos quais destaco a humildade e a perseverança, determinantes nesta etapa do meu percurso, contribuíram decisivamente para a pessoa que hoje sou.

A todos quantos se cruzaram no meu percurso académico. À minha turma e a todos aqueles com que tive o grato prazer de conviver e aprender ao longo destes anos, alunos, professores e funcionários, com principal destaque à TAUÉ.

Uma palavra especial para a minha namorada, o meu pilar em todas as situações.

Aos meus orientadores, Professor Doutor José Rafael Marques da Silva e Doutor José María Térron López que, juntamente com Luís Paixão, partilharam o seu conhecimento e disponibilizaram o seu tempo, material e dados dos seus projetos de investigação para a realização deste trabalho.

Por fim, agradecer às entidades que forneceram os meios para a concretização deste projeto, nomeadamente, ao Projeto INNOACE, à Herdade dos Conqueiros, à AgroInsider, à Cicytex, à Junta de la Extremadura e ao FEDER.

Caracterização do solo através da análise de imagens de satélite de observação da Terra

RESUMO

A realização de mapas da condutividade elétrica aparente do solo, associados ao tipo textural do mesmo é usual, contudo, este é um procedimento que requer equipamento especializado e mão-de-obra para realizar a operação, aspetos que o tornam dispendioso.

O uso de imagens de satélite das missões Sentinel 1 e 2, para observação da superfície terrestre, podem contornar essa situação, disponibilizando continuamente informação. Face ao exposto, este estudo tem como objetivo principal avaliar a capacidade dos satélites de observação da Terra para descrever as propriedades do solo. Com amostras texturais de solo e medições *in loco* obtém-se um método de comparação, acompanhando a evolução temporal. As medições foram realizadas por sonda TDR. Além dos dados retirados no local foram recolhidos os dados pluviométricos, para compreender o respetivo regime hidrológico.

O método que mostrou melhores resultados foi a sonda TDR, contudo, as imagens de satélite do Sentinel-1 na polarização VV assemelharam-se aos sensores próximos, tanto na distinção textural do solo como, no teor de água. Também as imagens do Sentinel-2 mostraram uma correlação com o solo através do índice *Clay Ratio*, esta de menor expressão que os métodos anteriores. A polarização VH não apresentou nenhuma relação. Cada método apresentou distintas épocas de melhor eficácia.

PALAVRAS-CHAVE: Humidade do solo; Textura do Solo; Sensores próximos; Sentinel-1; Sentinel-2

Characterization of soil through the analysis of Earth observation satellite images

ABSTRACT

The making of maps with apparent electrical conductivity of the soil, associated with its textural type is usual, but, this is a procedure that requires skilled equipment to perform the operation, aspects that make it expensive.

The use of satellite images from the Sentinel 1 and 2 missions, to observe the Earth's surface, can work around this situation, making information available continuously. So, this study aims to evaluate the ability of Earth observation satellites to describe soil properties. With the soil textures and chosen *in loco*, a comparison method is obtained, following the temporal evolution. Those were performed by a TDR probe. In addition to the data collected at the site, rainfall data were collected to understand the respective hydrological regime.

The method that showed the best results was the TDR probe, however, the satellite images of the Sentinel-1 in the VV polarization resembled the nearby sensors, both in the textural distinction of the soil and in the water content. Also, the images of Sentinel-2 showed a correlation with the soil through the Clay Ratio index, this one of lesser expression than the previous methods. The VH polarization had no relationship. Each method has different times of best effectiveness.

KEY WORDS: Soil moisture; Soil texture; Close sensors; Sentinel-1; Sentinel-2

ÍNDICE GERAL

RESUMO.....	II
ABSTRACT	III
ÍNDICE DE EQUAÇÕES.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE GRÁFICOS	VIII
ÍNDICE DE TABELAS	IX
ÍNDICE DE ANEXOS	X
LISTA DE SIGLAS.....	XII
1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....	1
2. ESTADO DA ARTE.....	2
2.1 Solos	3
2.1.1. Textura	3
2.1.2. Humidade-Retenção	5
2.1.3. Condutividade Elétrica	7
2.1.4. Propriedades dielétricas.....	8
2.1.5. Fertilidade e Produtividade	8
2.2. Sensores Geoelétricos	9
2.3. Zoonificação de solo e amostragem inteligente.....	10
2.4 Imagens de Satélite	11
2.4.1. Sentinel-1	13
2.4.2. Sentinel-2	17
3. MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1. Caracterização do local de estudo	20
3.2. Condutividade Elétrica	21
3.3. Seleção dos pontos de amostragem	21
3.4. Marcação dos pontos no terreno	22
3.5. Recolha de amostras de solo	23
3.6. Amostras analíticas de solo	24
3.7. Medições de humidade e Eca do solo	26
3.8. Tratamento de dados.....	26

3.9. Fotografias no local	31
3.10. Imagens Sentinel	33
3.11. Dados Pluviométricos do local	34
3.12. Medidor TDR	39
3.12.1 Eletrocondutividade	40
3.12.2. Volume water content	41
4. APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS	41
4.1. Mapas de satélite	41
4.1.1. Parcela 8	42
4.1.2. Parcela 10	43
4.1.2. Comparação entre imagens	43
5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS	45
5.1 Sensores remotos	45
5.1.1. Clay Ratio	45
5.1.2. Polarização VV	47
5.1.3 Polarização VH	49
5.2 Sensores próximos	50
5.3 Comparação entre resultados	53
5.4 Classificação por classes texturais	59
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	60
7. BIBLIOGRAFIA	61
ANEXOS	75

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Equação do cálculo do teor de humidade do solo	6
Equação 2 - Equação para obtenção do coeficiente de correlação	27
Equação 3 - Equação para o valor T-estatística.....	27
Equação 4 - Equação de uma regressão linear	28
Equação 5 - Equação para obtenção do R^2	29
Equação 6 - Equação para obtenção do V de Crammer	29
Equação 7 - Equação de Hargreaves-Samani	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Observação de um alvo físico pelo SAR	13
Figura 2 - Evolução espacial dos componentes de uma onda monocromática plana (ESA)	14
Figura 3 - Interação entre uma onda eletromagnética e um objeto	14
Figura 4 - Comportamento de diferentes ondas eletromagnéticas penetrando diferentes objetos.....	15
Figura 5 - SENTINEL-2 Bandas de Resolução Espacial com 10 m: B2 (490 nm), B3 (560 nm), B4 (665 nm) and B8 (842 nm) (ESA, 2020).....	18
Figura 6 - SENTINEL-2 Bandas de Resolução Espacial com 20 m: B5 (705 nm), B6 (740 nm), B7 (783 nm), B8a (865 nm), B11 (1610 nm) and B12 (2190 nm) (ESA, 2020)	19
Figura 7 - SENTINEL-2 Bandas de Resolução Espacial com 60 m: B1 (443 nm), B9 (940 nm) and B10 (1375 nm) (ESA, 2020)	19
Figura 8 - Espectrometria com infravermelho de diferentes arenitos.	20
Figura 9 - Espectrometria com infravermelho de diferentes minerais de argila a) e olivinas b).....	20
Figura 10 - Mapa de Condutividade Elétrica Aparente - a) Parcela 8; b) Parcela 10	21
Figura 11 - Distribuição dos pontos de amostragem	22
Figura 12 - Distribuição textural dos pontos de amostragem - a) Parcela 8; b) Parcela 10	25
Figura 13 - Evolução do coberto do solo na parcela 8 - ponto 30.....	32
Figura 14 - Evolução do coberto do solo na parcela 10 - ponto 1	32
Figura 15 - Associação entre os diferentes métodos de observação do solo:.....	44

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comportamento dos solos de acordo com a sua disponibilidade de água em função da textura.	6
Gráfico 2 - Comportamento da Eca perante a textura do solo.....	7
Gráfico 3 -Permitividade dielétrica relativa de diferentes materiais.	8
Gráfico 4 - Precipitação diária no local das parcelas.....	37
Gráfico 5 - Precipitação acumulada no local das parcelas	38
Gráfico 6 - Evapotranspiração potencial diária no local das parcelas	38
Gráfico 7 - Balanço entre a precipitação e no local das parcelas	39
Gráfico 8 - Evolução temporal da Eca.....	40
Gráfico 9 - Evolução temporal do VWC	41
Gráfico 10 - Representação gráfica da relação do índice Clay Ratio com a textura argilosa na primeira metade do ensaio	45
Gráfico 11 - Representação gráfica da relação do índice Clay Ratio com a textura na segunda metade do ensaio	45
Gráfico 12 - Representação gráfica da relação da polarização VV com a textura das amostras.....	48
Gráfico 13 - Representação gráfica da relação da polarização VH com a textura das amostras.....	49
Gráfico 14 - Diferenças temporais no comportamento da Eca perante a textura argilosa ..	51
Gráfico 15 - Diferenças temporais no comportamento do VWC perante a textura arenosa	52
Gráfico 16 - Comportamento do VWC perante duas texturas no início do ensaio	55
Gráfico 17 - Comportamento do VWC perante duas texturas no final do ensaio	56
Gráfico 18 - Relação entre o índice Clay Ratio e os parâmetros do solo	56
Gráfico 19 - Relação entre a polarização VV e os parâmetros do solo	57
Gráfico 20 - Relação entre a polarização VH e os parâmetros do solo	57

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização dos constituintes do solo.....	4
Tabela 2 - Constituição e características das frações do solo.....	4
Tabela 3- Definição das Bandas de Frequência do RADAR SAR.....	16
Tabela 4 - Caracterização das polarizações do instrumento C-SAR do Sentinel-1.....	16
Tabela 5 - Caraterísticas Espectrais dos Satélites Sentinel-2	18
Tabela 6 - Análises texturais das amostras de solo fornecidas por laboratório.....	24
Tabela 7 - Calendário das recolhas de campo efetuadas	26
Tabela 8 - Intensidade de medidas de associação.....	28
Tabela 9 - Interpretação das medidas do V de <i>Crammer</i>	30
Tabela 10 - Classificações categóricas das texturas dos solos	30
Tabela 11 - Resolução temporal no local de ensaio	33
Tabela 12 - Identificação das estações meteorológicas utilizadas.....	36
Tabela 13 - Influência de cada estação meteorológica no local de amostragem.....	36
Tabela 14 - Especificações da sonda FieldScout TDR 350 (Sonda 4.8"; Timezone GMT -1)	40
Tabela 15 - Tabela resumo das médias dos valores das imagens de satélite e dos parâmetros recolhidos por TDR em cada ponto	42
Tabela 16 - Correlação entre Clay Ratio e textura	46
Tabela 17 - Correlação entre VV e Textura	48
Tabela 18 - Correlação entre VH e Textura	49
Tabela 19 - Correlação entre VWC e Eca	50
Tabela 20 - Correlação entre Ec e Textura	50
Tabela 21 - Correlação entre VWC e Textura	50
Tabela 22 - Tabela resumo dos testes de correlação entre textura e imagens de satélite	53
Tabela 23 - Tabela resumo dos testes de correlação entre parâmetros do solo e imagens de satélite.....	54
Tabela 24 - Tabela resumo dos testes de correlação entre parâmetros do solo e textura	54

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I - Evolução temporal da polarização VV na parcela 8.....	75
ANEXO II - Evolução temporal da polarização VH na parcela 8.....	76
ANEXO III - Evolução temporal do índice de Clay Ratio na parcela 8	77
ANEXO IV - Evolução temporal da polarização VV na parcela 10.....	78
ANEXO V - Evolução temporal da polarização VH na parcela 10	79
ANEXO VI - Evolução temporal do índice Clay Ratio na parcela 10.....	80
ANEXO VII - Correlação entre Eca e Imagens de Satélite.....	81
ANEXO VIII - Correlação entre VWC e Imagens de Satélite	81
ANEXO IX - Tabela de Contingência entre Correlação (Clay Ratio vs Ec) e Textura	81
ANEXO X - Medidas Simétricas da Tabela de Contingência entre Correlação (Clay Ratio vs Ec).....	82
ANEXO XI - Representação Gráfica Clay Ratio vs Ec e Textura	82
ANEXO XII - Tabela de Contingência entre Correlação (VH vs Ec) e Textura	82
ANEXO XIII - Medidas Simétricas da Tabela de Contingência entre Correlação (VH vs Ec) e Textura.....	83
ANEXO XIV - Representação Gráfica VH vs Ec e Textura.....	83
ANEXO XV - Tabela de Contingência entre Correlação (VV vs Ec) e Textura	83
ANEXO XVI - Medidas Simétricas da Tabela de Contingência entre Correlação (VV vs Ec) e Textura.....	84
ANEXO XVII - Representação Gráfica VV vs Ec e Textura	84
ANEXO XVIII - Variação da Eca ao longo do tempo	85
ANEXO XIX - Variação do VWC ao longo do tempo	86
ANEXO XX - Variação do Índice Clay Ratio ao longo do tempo entre argila e areia.....	87
ANEXO XXI - Relação entre Clay Ratio e Parâmetros do Solo.....	88
ANEXO XXII - Variação do Índice VV ao longo do tempo entre areia e argila.....	89
ANEXO XXIII - Relação entre VV e Parâmetros do Solo	90
ANEXO XXIV - Variação do Índice VH ao longo do tempo entre argila e areia	91
ANEXO XXV - Relação entre VH e Parâmetros do Solo	92
ANEXO XXVI - Dados de Medições de Ec (mS/cm) com TDR	93
ANEXO XXVII - Dados de Medições de VWC (%) com TDR.....	94
ANEXO XXVIII - Dados Da Polarização VV.....	95

ANEXO XXIX - Dados Da Polarização VH	97
ANEXO XXX - Dados do Índice Clay Ratio.....	99
ANEXO XXXI - Correlação entre VV e Ec.....	100
ANEXO XXXII - Correlação entre VV e VWC	101
ANEXO XXXIII - Correlação Entre VH e Ec	102
ANEXO XXXIV - Correlação entre VH e VWC.....	103
ANEXO XXXV - Correlação entre Clay Ratio e Ec.....	104
ANEXO XXXVI - Correlação entre Clay Ratio e VWC	105

LISTA DE SIGLAS

CTC – Capacidade de Troca Catiónica
DR – Detecção Remota
Eca – Condutividade Elétrica Aparente
EMI – Indução Eletromagnética
ETo - Evapotranspiração
GIS – Sistema de Informação Geográfica
GNNS – *Global Navigation Satelital System*
GPR – Radar de Penetração do Solo
GPS – Sistema de Posicionamento Global
HS – Espetroscopia hiperespectral
IoT – Internet das Coisas
IW – Faixa Interferométrica Ampla
MODIS – Espetroradiómetro de Imagem com Resolução Moderada
MSI – Instrumento Multiespectral
NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*
PAC – Política Agrícola Comum
R – Coeficiente de Correlação
R² – Coeficiente de Determinação
SAR – *Synthetic Aperture Radar*
SBAS – *Satellite Based Augmentation System*
SWC – Teor de Água do Solo
SWIR – Infravermelho de Onda Curta
TDR – *Time Domain Reflectometry*
VH – Onda Vertical Transmitida e Horizontal Recebida
VNIR – Infravermelho Próximo
VRT – Tecnologia de Taxa Variável
VV – Onda Vertical Transmitida e Vertical Recebida
VWC – Conteúdo Volumétrico de Água

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

O conhecimento das características do solo e das suas diferenças constitui uma informação valiosa e um procedimento fundamental na agricultura de precisão. O seu estudo aprofundado, rigoroso e científico, com recurso a tecnologias avançadas, permite-nos descortinar as diferenças existentes e, em conformidade com essas mesmas diferenças, respeitar as especificidades e tomar as melhores e mais consentâneas decisões para responder às necessidades sentidas. Em suma, é possível, inteligente e rentável tratar de forma diferente aquilo que é diferente e, conseqüentemente, proceder a uma gestão diferenciada do terreno/parcela agrícola, num processo que designamos “zonificação” e que pode concretizar-se através de vários métodos.

Os processos para a tomada de decisão para operações em zonas específicas e aplicação de *inputs* podem ocorrer antes, durante e após um ciclo cultural. Os meios utilizados para se garantir uma boa tomada de decisão são diversos e podem ser disponibilizados em diferentes situações, tendo como vantagens o interesse económico da sua utilização e a facilidade no seu uso.

Este trabalho tem assim como objetivo avaliar a capacidade da informação dos satélites de observação da terra (Sentinel 1 e Sentinel 2) para descrever as propriedades do solo. Para apoiar e sustentar esta informação, recorre-se a amostras de solo e análises no local, as quais fornecem dados da evolução temporal dessas propriedades e servem como método de comparação. Desta forma, a hipótese que se coloca é se os satélites podem substituir os métodos de avaliação e análise *in situ*, ou se podem servir como apoio à utilização destes últimos. Ambos os métodos de análise fornecem informação para a agricultura, a qual permite a um produtor criar soluções de gestão, de forma a aumentar o lucro na sua atividade e economizar fatores de produção.

Caso a primeira situação seja confirmada, a substituição dos métodos recorrentes permite obter a informação de uma forma periódica e mais económica, sem a necessidade de equipamentos especializados, nem da presença de condições no terreno adequadas para a entrada de máquinas e pessoas.

Relativamente à segunda situação, caso esta seja válida, a necessidade de recolha de dados *in situ* poderá ser reduzida ou simplificada, permitindo um menor custo na aquisição de informação.

2. ESTADO DA ARTE

Os dois maiores desafios que a agricultura moderna enfrenta, e para os quais precisa de encontrar resposta eficaz, são a necessidade de aumentar a produção e o imperativo da redução dos impactos ambientais. A agricultura de precisão pode ser um instrumento para resolver esses problemas (Barnes, *et al.*, 2019 ; Tarabella, 2019).

As sucessivas reformas da Política Agrícola Comum (PAC) europeia, através de uma alteração ao regime de pagamentos de apoio, reduziu o ponto económico ótimo do uso de fertilizantes aplicados, resultando dessas medidas uma forte redução e a estabilização do seu uso.

Nos dias de hoje, a agricultura de precisão permite adaptar a aplicação de nutrientes, de acordo com as necessidades das plantas, aumentando a produtividade enquanto reduz o uso de fertilizantes (Fertilisers in the EU Prices, trade and use, 2019).

De acordo com Reddy (2017), a agricultura de precisão, também chamada de *precision farming*, agricultura de prescrição ou gestão específica do local, é uma estratégia de gestão que utiliza informações detalhadas específicas do local para uma gestão de *inputs* de produção, como sementes, fertilizantes e pesticidas. A otimização dos *inputs* de produção em pequenas áreas do campo é baseada nas características da cultura e do solo.

Como tal, o princípio da agricultura de precisão é a aplicação de *inputs* de produção somente quando e onde for necessário para uma produção agrícola mais económica e amiga do ambiente. Aplicando a agricultura de precisão, os custos de produção agrícola e os danos ambientais e das colheitas podem ser potencialmente reduzidos.

As ferramentas e tecnologias usadas para implementar a agricultura de precisão incluem sistemas de informação geográfica (GIS), sistema de posicionamento global (GPS), tecnologia de taxa variável (VRT) e deteção remota (DR).

As decisões de gestão podem ser aplicadas de maneira mais precisa, usando técnicas de VRT baseadas nas informações recolhidas do GIS, em combinação com GPS e DR.

Face ao exposto, verifica-se que a agricultura de precisão é um dos meios, porventura um dos mais interessantes, para se conseguir alcançar os objetivos da Agricultura 4.0. Perspetivamos, portanto, aquela que será a próxima revolução agrícola, a qual utiliza tecnologia de sensores e de informação, *robots*, imagens aéreas e tecnologia GPS, com o objetivo de tornar a agricultura mais lucrativa, eficiente, segura e ambientalmente sustentável (Agriculture 4.0: The Future of Farming Technology, 2018).

Para a implementação deste novo tipo de agricultura são necessárias várias soluções do ponto de vista tecnológico, com base nos dados a interpretar, para uma rápida decisão nas operações a efetuar (Kong *et al.*, 2019). São especialmente interessantes as aplicações mais recentes da *Internet of Things* (IoT), em português “Internet das Coisas”, concebidas para o campo da agricultura de precisão (Khanna & Kaur, 2019) e que, por um lado, possibilitam um melhor acesso e uma melhor utilização da informação dos equipamentos, para fundamentar e apoiar decisões e que, por outro lado, informam quem controla o estado, o local e a eficácia de um ou de vários equipamentos.

Concretizar os objetivos da agricultura de precisão de uma gestão diferenciada de *inputs*, implica a criação de subzonas numa parcela, onde os fatores limitantes para a produção se manifestam homoganeamente no espaço (Méndez-Vázquez *et al.*, 2019).

A utilização destas zonas permite executar decisões e recolher informações de uma forma mais fácil e organizada (Bazzi *et al.*, 2019) e os respetivos mapas tornam-se um produto comercial agrícola que fornece lucro e benefícios ambientais aos produtores (Nawar *et al.*, 2017).

2.1 Solos

2.1.1. Textura

O tamanho das frações das partículas do solo (argila, limo e areia) e os mapas de textura são elementos-chave para modelos de física do solo, de química, hidrológicos, agronómicos e ecológicos (Li, Wan, & Shang, 2020). A caracterização rápida e não invasiva de areia, limo e argila do solo é cada vez mais procurada devido à natureza laboriosa das análises texturais tradicionais (Swetha *et al.*, 2020).

A textura do solo é definida em função do tamanho das suas partículas, como é apresentado na **Tabela 1**:

Tabela 1 - Caracterização dos constituintes do solo.

Adaptado de Botelho da Costa (Caracterização e Constituição do Solo, 2011, p. 46)

Designação	Diâmetro das partículas (mm)
Areia grossa	2 - 0,2
Areia fina	0,2 – 0,02
Limo	0,02 – 0,002
Argila	< 0,002

A textura do solo é um dos fatores mais importantes a ter em conta numa gestão agrícola sustentável pois tal parâmetro influencia indiretamente a gestão da fertilidade do solo (Aarthi & Sivakumar, 2020).

Segundo Sampaio (MINERALOGIA DO SOLO, 2006), as frações do solo apresentam as constituições e características descritas na **Tabela 2**:

Tabela 2 - Constituição e características das frações do solo
Adaptado de Sampaio (MINERALOGIA DO SOLO, 2006)

Fração arenosa	Constituição	Características
Areia grossa	Quartzo; Feldspato; Agregados de quartzo com argila; Agregados de minerais de argila.	Fraco poder de retenção para a água e substâncias dissolvidas; Muito permeável; Quase sem plasticidade; solta e incoerente quando seca; Quimicamente é relativamente inerte.
Areia fina	Propriedades intermédias entre a areia grossa e o limo, sem sofrer variações bruscas.	Minerais primários de reduzida dimensão; Material ferruginoso e calcário; Agregados de quartzo e argila; Agregados de argila; minerais de argila.
Fração limosa	Constituição Minerais primários de reduzida dimensão; Material ferruginoso e calcário;	Caraterísticas Considerável poder de retenção para a água; Difícil penetração da água no solo;

	Agregados de quartzo e argila; Agregados de argila; minerais de argila.	Plástica quando húmida; pouco ou nada pegajosa; Relativamente tenaz quando seca; Relativamente inerte quimicamente; Se rica em material calcário e/ou ferruginoso é quimicamente ativa afetando a reação do solo.
Fração argilosa	Minerais de argila; Óxidos e hidróxidos de Al e Fe.	Grande superfície específica; Propriedades coloidais; Muito ativa quimicamente; Retenção de elementos nutritivos; confere poder de agregação; Elevado poder de retenção para a água; Muito plástica e pegajosa quando húmida; Muito tenaz quando seca.

2.1.2. Humidade-Retenção

O teor de água do solo (SWC) apresenta variações espaciais e temporais. Varia espacialmente, devido à heterogeneidade das propriedades do solo, da topografia, vegetação e clima, e varia temporalmente, em função da pluviosidade, rega, escoamento superficial, movimento freático, ascensão capilar, percolação, evaporação e absorção de água pela raiz (Kassaye *et al.*, 2020).

De acordo com Molina Jr. (2017), a variação do teor de água útil do solo, em relação à sua textura, pode apresentar o comportamento demonstrado no **Gráfico 1**:

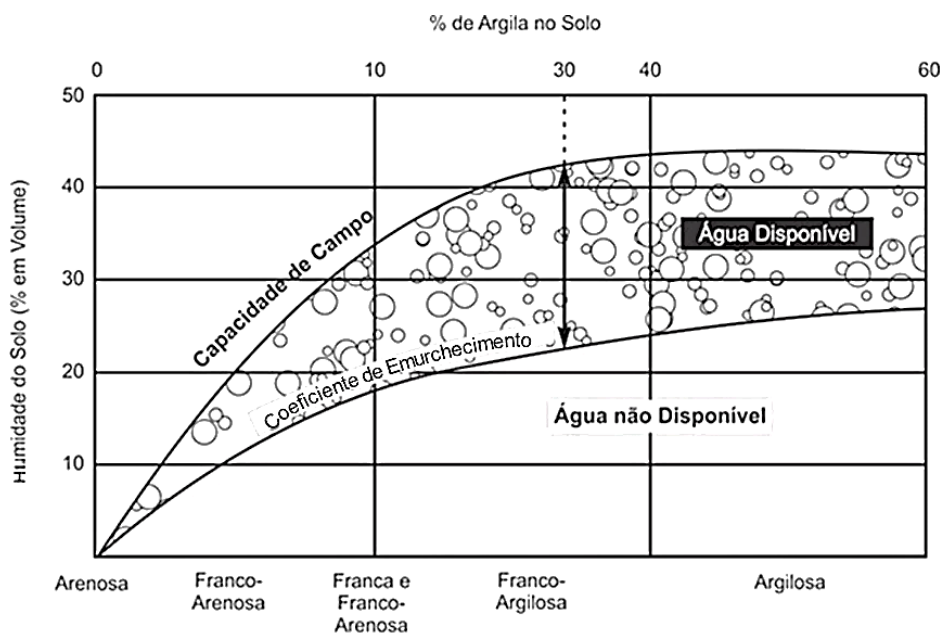


Gráfico 1 - Comportamento dos solos de acordo com a sua disponibilidade de água em função da textura. (Molina Jr, 2017, p. 47)

O teor de água do solo pode ser definido em função do volume pela seguinte fórmula (Santos, 2003, p. 12 ;Sena *et al.*, 2019):

$$\theta = \frac{V_w}{V_s} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

θ – teor de humidade volúmica do solo (%);

V_w – volume de água do solo (m^3);

V_s – volume de solo da amostra (m^3)

Equação 1 - Equação do cálculo do teor de humidade volúmica do solo

O teor de água na superfície do solo desempenha um papel importante na condução da troca de calor latente e sensível entre a atmosfera e a superfície da terra, através de processos de transpiração e evaporação, regulando os principais processos fisiológicos que afetam o crescimento das plantas, podendo ser estimado com base em imagens de

satélite na gama das micro-ondas ou ótico/térmico infravermelho (Ambrosone et al., 2020).

Medições rápidas e eficazes do teor de água do solo são importantes na investigação e em aplicações diversas tais como processos hidrológicos, gestão de rega e problemas ambientais (Ma *et al.*, 2016).

2.1.3. Condutividade Elétrica

Nos solos não salinos, a condutividade elétrica aparente (Eca) é uma medida substituta para a textura do solo, sendo diretamente relacionada com a capacidade de retenção de água do solo e a capacidade de troca catiónica, elementos-chave da produtividade.

São associados os valores de Condutividade Elétrica do solo à sua textura, assim como à Capacidade de Troca Catiónica (CTC) (Lund, Christy, & Drummon, 1999), sendo essa relação apresentada no **Gráfico 2**:

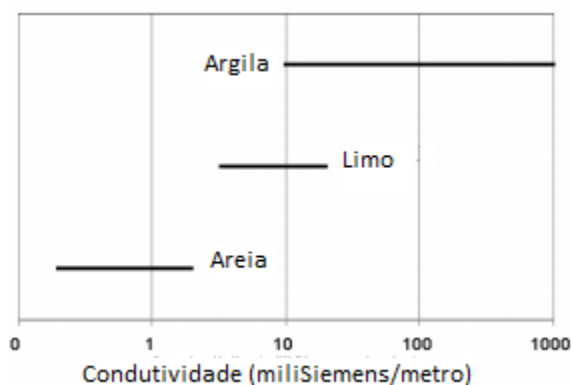


Gráfico 2 - Comportamento da Eca perante a textura do solo.
Adaptado de Lund, Christy, & Drummon (1999)

Segundo Peralta & Costa (2013), a ECa permite delimitar zonas de gestão de solo, com potencial para estimar as propriedades do solo e os seus nutrientes.

A amostragem direta de solo baseada em medições geoespaciais de condutividade elétrica aparente do solo (Eca) é um meio potencial de caracterizar a variabilidade espacial de qualquer propriedade do solo que influencia esta propriedade, incluindo salinidade do solo, teor de água do solo, textura, densidade aparente, matéria orgânica e capacidade de troca catiónica (Corwin, *et al.*, 2010).

2.1.4. Propriedades dielétricas

A constante dielétrica ou permissividade é a medida da polarização elétrica de um material, cuja carga muda quando se encontra num campo eletromagnético (Schön, 2015). A permissividade dielétrica influencia a magnitude de um campo eletromagnético que, em espaço livre, apresenta um valor constante ao passo que em materiais polarizáveis, como é o caso de material geológico, aumenta (Fitterman, 2015).

A medição desta propriedade não apresenta unidades de grandeza, sendo coeficientes que comparam a facilidade de um material se tornar polarizável por um campo eletromagnético relativamente ao vácuo (Speight, 2020).

Tendo em conta que a água apresenta um grande momento dipolar e que, no estado líquido, as suas moléculas podem ser facilmente reorientadas, a constante dielétrica deste material é muito elevada (Speight, 2020).

A constante dielétrica pode determinar a resposta de um solo a uma onda eletromagnética que nele incide e a sua respetiva emissão (Emery & Camps, 2017).

Conforme o tipo de material (gás, óleo, minerais, xisto, água) a constante dielétrica pode apresentar diferentes valores, tal como se observa no **Gráfico 3**:

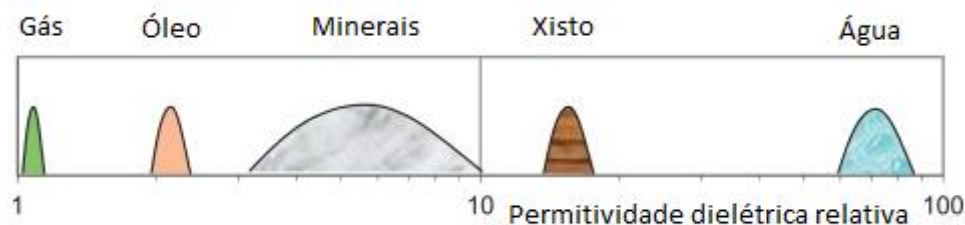


Gráfico 3 -Permissividade dielétrica relativa de diferentes materiais.
Adaptado (Schön, 2015)

2.1.5. Fertilidade e Produtividade

Oechaiyaphum *et al.* (2020) indicam que o arejamento do solo, capacidade de retenção de água e retenção de nutrientes são as propriedades físico-químicas e parâmetros de fertilidade que servem como indicadores para quantificar a capacidade produtiva de um solo. Já Chi *et al.* (2020) apontam a salinidade, o carbono total, o azoto total, a matéria orgânica, o fósforo disponível e o potássio disponível como os principais parâmetros de fertilidade.

Segundo Córdoba *et al.* (2016), a condutividade elétrica, a elevação e a profundidade do solo são as variáveis-chave para a zonificação, enquanto a produtividade, a matéria orgânica e a argila são as variáveis que validam essas zonas de gestão.

2.2. Sensores Geoelétricos

Segundo Wayayok (2009), um sensor de Eca é uma ferramenta útil no mapeamento para identificação de áreas onde as propriedades do solo são contrastantes. Segundo Lund *et al.* (1999), existem dois métodos principais de medir a condutividade do solo, nomeadamente, por meio de contacto direto ou por indução eletromagnética (EMI). Ou seja, por um lado, métodos de contato, como é o caso do usado pelo Veris® modelo 3100, que usa pelo menos quatro elétrodos que estejam em contato físico com o solo para injetar uma corrente e medir a tensão resultante. Por outro lado, a EMI, que não faz contacto, mas usa uma bobina transmissora para induzir um campo no solo e uma bobina recetora para medir a resposta.

A construção robusta, liberdade de interferência de metal e eliminação da calibração diária são algumas das características do método de contato direto que o tornam vantajoso para uso generalizado na agricultura. As experiências levadas a cabo mostraram que os dois métodos produzem resultados semelhantes.

Ambos métodos permitem medir a camada superficial do solo (0-30 cm) como camadas mais profundas (0-90 cm), permitindo obter mapas do local (Uribeetxebarria *et al.*, 2018).

O *Time Domain Reflectometry* (TDR) tem sido usado pela comunidade científica como um método de medição indireta fiável para o conteúdo volumétrico de água dos solos (Cristi *et al.*, 2016). Entre as técnicas de medição do solo, o TDR é conhecido pela precisão, robustez e fácil realização *in situ* de medições (Gurav, 2018). Esta tecnologia utiliza um condutor de ondas dielétricas, usado para determinar a humidade do solo e outras propriedades como a condutividade elétrica e salinidade (Aghda, Ganjalipour, & Nabiollahi, 2018).

A caracterização da relação entre o teor volumétrico de água no solo e a condutividade elétrica (ou resistência elétrica) é de grande interesse nos ramos de engenharia (Chung *et al.*, 2019).

De acordo com o manual do equipamento FieldScout TDR 350, utilizado neste trabalho:

“O princípio básico do TDR consiste na medição do tempo de viagem de uma onda eletromagnética ao longo de um guia de ondas. A velocidade da onda no solo depende da permissividade dielétrica volumétrica (ϵ) da matriz do solo. O facto que a água ($\epsilon = 80$) tem uma constante dielétrica muito maior do que o ar ($\epsilon = 1$) ou sólidos do solo ($\epsilon = 3-7$) é explorado para determinar o teor de água do solo. O teor de água medido pelo TDR é uma média do comprimento do guia de ondas. Vinte e sete elétrodos dentro do TDR geram e sentem o retorno de um sinal de alta energia que viaja para baixo e retorna, através do solo, ao longo do guia de ondas composto por duas hastes de aço inoxidável substituíveis. O volume de amostragem é um cilindro elíptico que se estende aproximadamente 3 cm fora das hastes. As informações do sinal de alta frequência são então convertidas em conteúdo volumétrico de água (VWC). Alta quantidade de argila ou alta condutividade elétrica ($E_{ca} > 2 \text{ mS/cm}$) atenuam o sinal de alta frequência e afetam a leitura exibida pelo medidor. Muito alto conteúdo de matéria orgânica afetará de forma semelhante a leitura do VWC.” (Spectrum Technologies, Inc, 2020). Esta informação merece idêntica validação por parte de Kargas & Soulis (2019).

2.3. Zoonificação de solo e amostragem inteligente

A realização de uma única amostragem não se revela suficiente para caracterizar a variabilidade físico-química de um solo pois, em cada estação, durante determinadas alturas, tornam-se evidentes variações nas propriedades do solo. Considerando que as análises laboratoriais apresentam como desvantagens o facto de serem produtoras de resíduos perigosos para o ambiente, caras e demoradas na obtenção de resultados, uma alternativa bastante válida e interessante será a sua substituição por técnicas de medição no campo (pH, condutividade elétrica, temperatura e teor de água do solo), e análise dos resultados de *Machine Learning*, fornecendo dados para uma tomada de decisão (Helfer *et al.*, 2020).

Os mapas de solo constituem uma valia significativa dado que apoiam a gestão de zonas, fornecendo informação importante, como por exemplo, para onde se deve diferenciar a gestão e qual deve ser a mais apropriada (Miller B. A., 2017).

Demattê, Moreti & Vasconcelos (2005) usaram informações espectrais obtidas por detecção remota com satélite para realizar uma discriminação do tipo de solo e, desta forma, facilitar a obtenção de mapas de solo.

As bandas do satélite Landsat-7 que melhor discriminaram o solo, em zonas de cobertura vegetal baixa ou nula, foram as bandas, B5 (1.550–1.750 nm) e B7 (2.080–2.350 nm). Solos de textura arenosa apresentaram uma maior reflectância da banda B5 em comparação com os solos de textura argilosa e os solos com maior quantidade de minerais de argila apresentaram uma maior absorção da radiação eletromagnética da faixa B7.

Regista-se uma procura crescente por informações rápidas e não invasivas do local relativas à variação do solo e das plantas com vista a uma gestão específica. A detecção próxima por EMI, radar de penetração no solo (GPR), espectroscopia hiperespectral (HS) e a detecção remota (DR) podem complementar a amostragem direta. Sendo estas técnicas de integração de dados de sensores, analisando conjuntamente dados de diferentes fontes, são desenvolvidas constantemente (Benedetto *et al.*, 2013).

Bier & Godoy de Souza (2017) descrevem o uso de métodos de interpolação de dados tais como a distância inversa, a distância inversa quadrada, *normal kringing* e *cokringing*, para a obtenção de mapas temáticos que apoiem a compreensão do comportamento das variáveis de uma parcela agrícola.

2.4 Imagens de Satélite

As missões de satélite do Sentinel foram projetadas para fornecer capacidade de observação de detecção remota para muitas aplicações operacionais, inclusive no campo da agricultura e da segurança alimentar. Realizam observações frequentes de uma combinação de sensores óticos, térmicos e de micro-ondas em várias resoluções espaciais (Guzinski & Nieto, 2019). Os sensores de observação da Terra podem fornecer dados de diferentes formas, multiespectrais e hiperespectrais. Esta informação não indica apenas a presença ou ausência de componentes visto que é suscetível de apresentar, igualmente, ruído e informação indesejados (Amigo & Santos, 2020).

A imagem multiespectral pode funcionar como base para o desenvolvimento da imagem hiperespectral, que captura imagens em várias bandas de ondas no espectro eletromagnético e associa as assinaturas espectrais aos compostos químicos que os

produzem, absorvendo as frequências de luz que ressoam nas ligações químicas (Pantazi, Moshou, & Bochtis, 2020). No que se refere à imagem hiperespectral, a informação hiperespectral consiste num conjunto de dados multidimensionais, geralmente um conjunto de dados 3D ou um cubo de dados, que pode ser apresentado como um conjunto de espectros (Mohammad-Djafari & Knuth, 2010).

Através do Sentinel-1, foram elaborados modelos que definem a capacidade utilizável de água de um solo que, segundo os autores, são passíveis de serem aplicados em qualquer lugar (Huang *et al.*, 2019). É descrita a capacidade de realçar argilas utilizando detecção remota, graças ao Sentinel-2 (Adiri *et al.*, 2020).

Loiseau *et al.* (2019), usaram os primeiros três componentes principais de um espectro radiométrico de imagem com resolução moderada (MODIS) com ondas na gama do visível, infravermelho próximo, infravermelho médio e térmico, com dados de NDVI, para estimar o teor de argila de solos sem cobertura. Contudo, indicam que a utilização de dados de satélite não foi satisfatória, devendo as próximas pesquisas incorporar parâmetros como o teor de água de um solo e a sua rugosidade.

Liu *et al.* (2008) demonstraram ser possível mapear a drenagem de um solo de forma eficaz utilizando a detecção remota com C-Band Radar e reflectância hiperespectral de alta resolução, em conjunto com a Eca do Solo e modelos de altimetria de alta precisão.

Vaudour *et al.* (2019) exploraram a capacidade do Sentinel-2A, através das suas imagens multiespectrais, para prever as propriedades da superfície de dois solos de ambientes pedoclimáticos contrastantes, apresentando-se sem cobertura, sendo as imagens adquiridas em condições de ausência de nuvens, prevendo o teor de argila através da reflectância da banda B12, mas com baixa correlação, sugerindo que outras condições podem dificultar a capacidade de previsão.

A gama do espectro visível, infravermelho próximo e infravermelho de onda curta (VNIR/SWIR, 400-2500 nm) de imagens hiperespectrais são as ferramentas de mapeamento das características do solo mais promissoras (Gomez *et al.*, 2018).

El Hajj *et al.* (2017) estimaram a capacidade útil de água no solo através da integração das polarizações VV, VH e o índice de NDVI, sendo a polarização VV aquela que demonstra melhores resultados, com a possibilidade de prever esta característica com um erro de 5%, com melhores resultados em solos de rugosidade moderada (1 a 3 cm). Até

agora, a maioria das obtenções de umidade do solo com o Sentinel-1 SAR tendem a centrar-se em métodos empíricos ou de *machine learning*, nenhum dos quais interpreta diretamente o processo de retro dispersão nem funciona bem sem a calibração dos algoritmos em relação às medições no solo (Ma, Li, & McCabe, 2020).

2.4.1. Sentinel-1

O instrumento SAR (*Synthetic Aperture Radar*) tem a capacidade de obter informação sobre a superfície do solo, mesmo em condições meteorológicas adversas, como chuva ou nuvens. Apresenta, no entanto, algumas limitações devido à rugosidade do terreno, cobertura vegetal, constante dielétrica e topografia (Sekertekin, Murat, & Abdikan, 2020), procedimento ilustrado na **Figura 1**.

Esta técnica permite mapear a refletividade de objetos ou ambientes através da emissão e recepção de sinais eletromagnéticos (Ferro-Famil & Pottier, 2017).

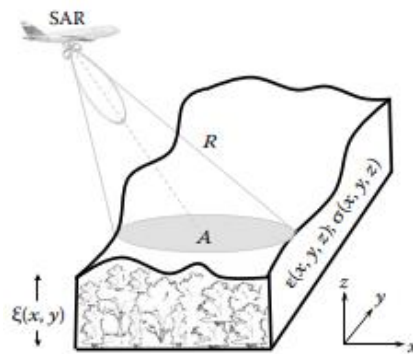


Figura 1 - Observação de um alvo físico pelo SAR

(Chen, 2016)

Onde:

$E(\vec{r})$ – Permitividade

$\sigma(\vec{r})$ – Condutividade

$\xi(x, y)(\vec{r})$ – Altura aleatória = z

Este tipo de ondas eletromagnéticas apresenta o seguinte comportamento, ilustrado na **Figura 2**, cuja análise permite observar que o campo eletromagnético é composto por duas

ondas sinusoides ortogonais, geralmente com diferentes amplitudes e fases na origem (ESA).

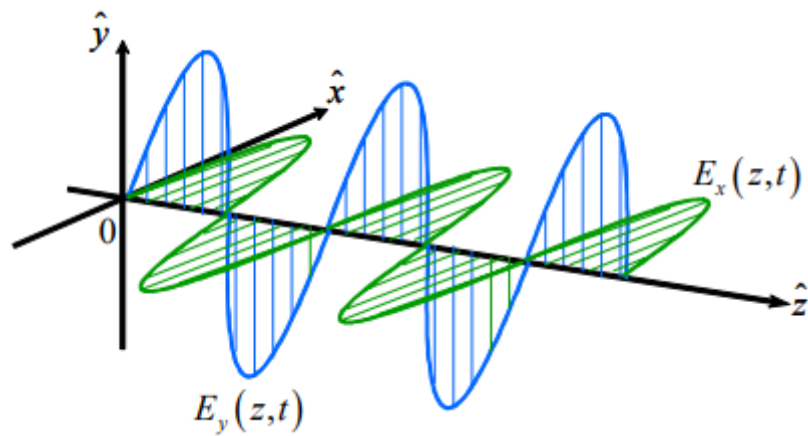


Figura 2 - Evolução espacial dos componentes de uma onda monocromática plana (ESA)

As características das interações entre uma onda eletromagnética e um objeto ou um ambiente dependem fortemente da frequência, da razão entre o comprimento de onda e as dimensões do alvo (Baghdadi & Zribi, 2016). Segundo os mesmos autores, esta interação pode ocorrer da forma que se pode apreciar na imagem da **Figura 3**:

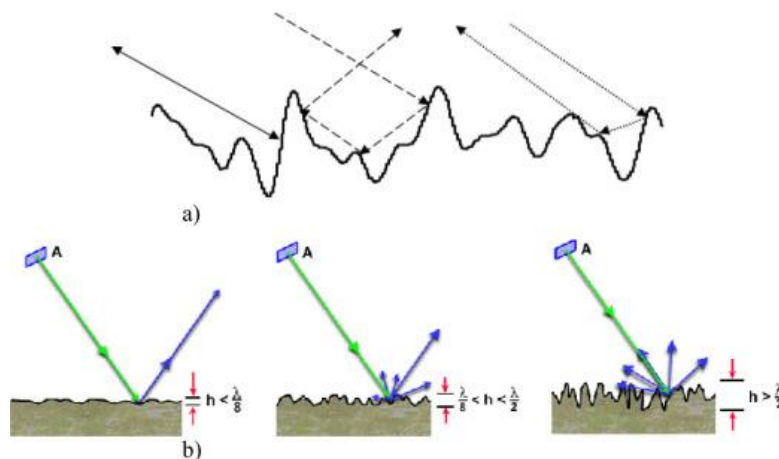


Figura 3 - Interação entre uma onda eletromagnética e um objeto
(Fonte: (Baghdadi & Zribi, 2016))

Desta forma, para uma dada polarização, uma onda eletromagnética pode ser refletida na totalidade ou pode ser dissipada, não chegando ao sensor a mesma energia que foi emitida, em função da rugosidade de um objeto. Para um dado solo, diferentes polarizações estão sujeitas a valores de dissipação diferentes, podendo o mesmo apresentar-se liso numa polarização e muito rugoso noutra, sendo o fator responsável por

este fenómeno o comprimento de onda, em função do qual, maiores comprimentos penetram volumes e comprimentos menores são absorvidos ou mais dissipados (Baghdadi & Zribi, 2016).

Este fenómeno é explicado, de acordo com os mesmos autores, na **Figura 4**:

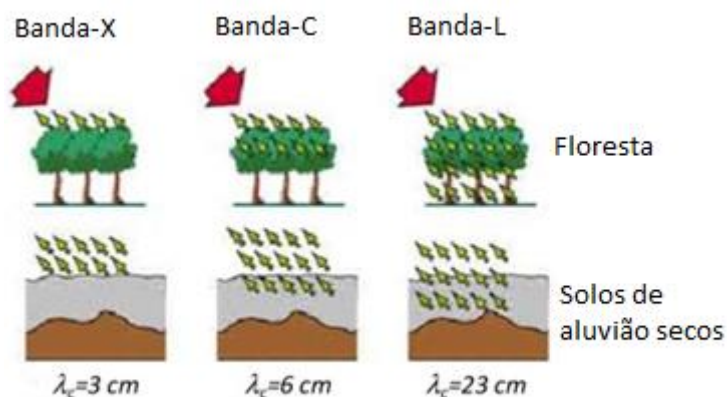


Figura 4 - Comportamento de diferentes ondas eletromagnéticas penetrando diferentes objetos (Adaptado de Baghdadi & Zribi (2016))

O satélite Sentinel-1 apresenta o modo de Faixa Interferométrica Ampla (*Interferometric Wide Swath – IW*) sendo o modo operacional padrão para uso florestal e agrícola, recorrendo a duas polarizações, nomeadamente, a VV (Vertical Transmitida e Vertical Recebida) e a VH (Vertical Transmitida e Horizontal Recebida) (Talema & Hailu, 2020).

Ambos os satélites Sentinel-1 são construídos pelo consórcio industrial *Thales Alenia Space* (Itália), o responsável pelo CSAR (Banda-C) a *Astrium UK*, tendo sido realizado o primeiro lançamento em 2013. Apresentam uma vida útil de 7 anos, que pode estender-se aos 12 anos, tendo uma órbita polar com um ciclo de 12 dias. Refira-se que o instrumento CSAR transmite e recebe polarizações verticais e horizontais (European Space Agency, 2012).

As bandas utilizadas pelo radar SAR são apresentadas na **Tabela 3**:

Tabela 3- Definição das Bandas de Frequência do RADAR SAR

(USGS EROS Archive - Radar - Synthetic Aperture Radar (SAR) Processing System, 2020)

Banda RADAR SAR	Alcance de Frequência (GHz)	Faixa de Onda Correspondente (cm)
P	0.230 - 1	130 – 30
L	1 - 2	30 - 15
S	2 - 4	15 – 7.5
C	4 - 8	7.5 – 3.75
X	8 – 12.5	3.75 – 2.40
Ku	12.5 - 18	2.40 – 1.67
K	18 – 26.5	1.67 – 1.13
Ka	26.5 - 40	1.13 – 0.75

O instrumento C-SAR, com o qual o satélite Sentinel-1 está equipado, fornece, entre outras, as seguintes polarizações, apresentadas na **Tabela 4**.

Tabela 4 - Caracterização das polarizações do instrumento C-SAR do Sentinel-1

(sentinels.copernicus.eu, 2020)

Polarização da Banda	Frequência de Onda Central (GHz)	Comprimento de Onda (cm)	Ângulo de incidência (°Angulares)	Resolução Espacial (m)	Resolução Temporal (dias)
VH	5.405	7.5 – 3.75	31-41	5 x 20	12
VV	5.405	7.5 – 3.75	31-41	5 x 20	12

Devido à maior capacidade de penetração a comprimentos de onda mais longos, as bandas P e L são capazes de detetar a cobertura da vegetação e quantificar a humidade do solo, enquanto comprimentos de onda mais curtos, como as bandas C e X, apresentam melhor desempenho na classificação da cobertura do solo em área aberta (Cai *et al.*, 2020).

No seu estudo, onde utilizam dados multipolarizados e multiangulares de um satélite SAR, Gherboudj *et al.* (2011) indicam que, para a estimativa do teor de água no solo, a banda L (24 cm de amplitude) é mais adequada do que a banda X (3 cm de amplitude). Para a banda C (6 cm de amplitude), o sinal recebido provém tanto da cobertura vegetal como da superfície do solo.

De acordo com Holah *et al.* (2005), quando o volume de água no solo está acima de 35%, o coeficiente de retrodifusão das polarizações HH e VH torna-se independente da rugosidade.

Sá *et al.* (2018) utilizaram as polarizações VH e VV para detetar bancos de areia no rio Amazonas, sendo a polarização VV a que mais se destacou. Em estudos que calculavam a humidade superficial em solos sem revestimento, a polarização VV demonstrou ser a que mais se relacionava, apresentando um coeficiente de determinação de 0.74 (Sekertekin, Marangoz, & Abdikan, 2020).

2.4.2. Sentinel-2

A missão Sentinel-2 compreende dois satélites idênticos (Sentinel-2A e Sentinel-2B), com a mesma órbita polar hélio-sincronizada, separados por 180°, com tempo de vida de 7,25 anos. Estes satélites monitorizam a variabilidade das condições na superfície terrestre, em condições sem nuvens, com um ciclo de dez dias cada, disponibilizando imagens multiespectrais de alta resolução numa ampla gama, fornecidas pelo seu instrumento multiespectral (MSI) ótico de treze bandas espectrais. Proporcionam informação relativa ao tipo de cobertura da superfície terrestre e às suas modificações, contribuindo para a avaliação de parâmetros bio geofísicos, tais como, o estado da vegetação e o ciclo da água e fornecendo apoio ao planeamento espacial, à gestão florestal, à gestão da água, à agricultura e à segurança alimentar (SENTINEL-2 User Handbook, 2013).

O instrumento multiespectral (MSI) atua passivamente, recolhendo a radiação solar que é refletida pela superfície terrestre e que, quando chega ao equipamento, é separada em dois planos focais dentro do instrumento, um adaptado para as bandas da radiação visível e infravermelho próximo (VNIR) e outro para as bandas do infravermelho de onda curta (SWIR), sendo cada banda separada individualmente (SENTINEL-2 User Handbook, 2013).

As características do satélite Sentinel-2 são apresentadas na **Tabela 5** e na **Figura 5**, **Figura 6** e **Figura 7**:

Tabela 5 - Características Espectrais dos Satélites Sentinel-2
(ESA, 2020)

Número de Banda	S2A		S2B		Resolução Espacial (m)	Resolução Temporal (dias)
	Comprimento de Onda Central (nm)	Comprimento de Onda (nm)	Comprimento de Onda Central (nm)	Comprimento de Onda (nm)		
1	442.7	21	442.3	21	60	10
2	492.4	66	492.1	66	10	10
3	559.8	36	559.0	36	10	10
4	664.6	31	665.0	31	10	10
5	704.1	15	703.8	16	20	10
6	740.5	15	739.1	15	20	10
7	782.8	20	779.7	20	20	10
8	832.8	106	833.0	106	10	10
8a	864.7	21	864.0	22	20	10
9	945.1	20	943.2	21	60	10
10	1373.5	31	1376.9	30	60	10
11	1613.7	91	1610.4	94	20	10
12	2202.4	175	2185.7	185	20	10

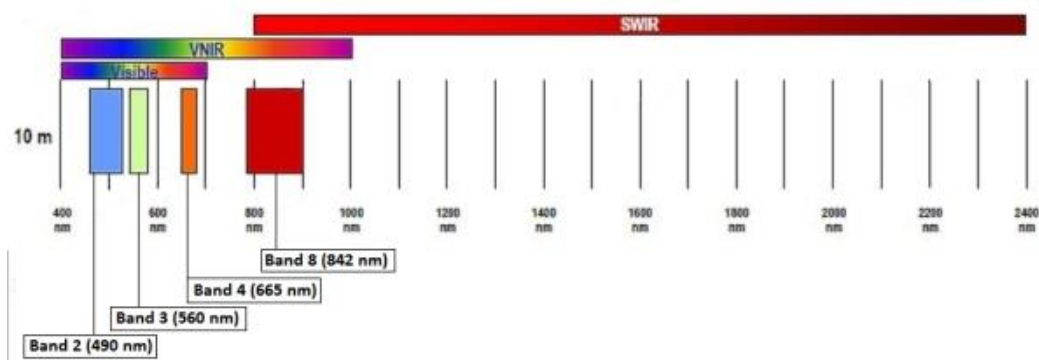


Figura 5 - SENTINEL-2 Bandas de Resolução Espacial com 10 m: B2 (490 nm), B3 (560 nm), B4 (665 nm) and B8 (842 nm)
(ESA, 2020)

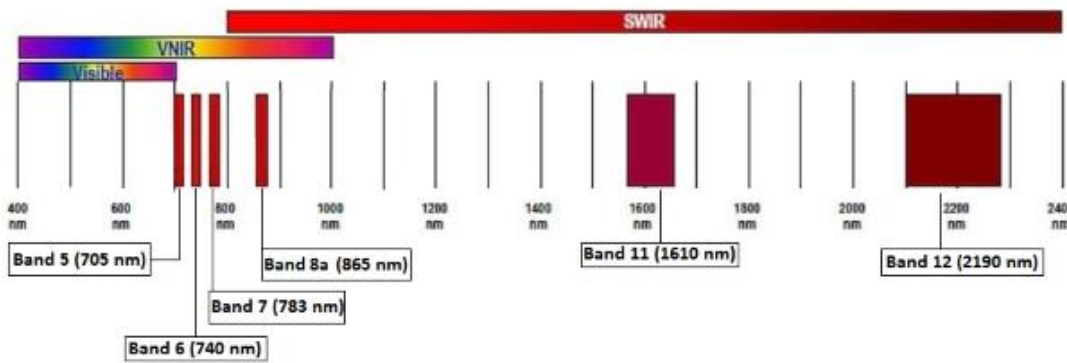


Figura 6 - SENTINEL-2 Bandas de Resolução Espacial com 20 m: B5 (705 nm), B6 (740 nm), B7 (783 nm), B8a (865 nm), B11 (1610 nm) and B12 (2190 nm) (n.d., ESA, 2020)

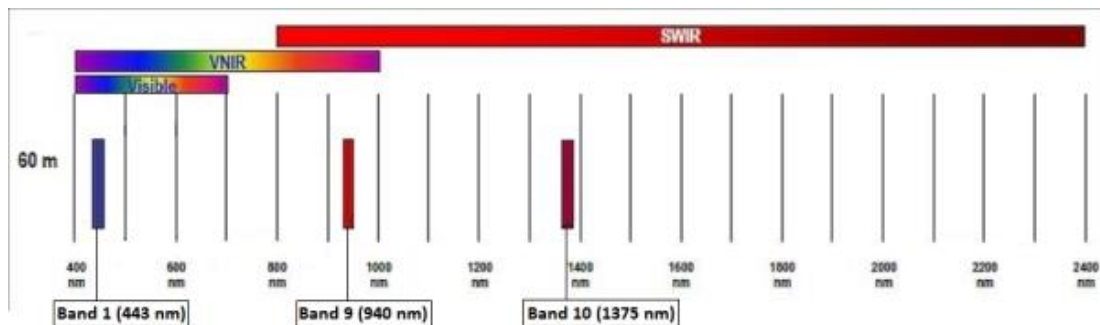


Figura 7 - SENTINEL-2 Bandas de Resolução Espacial com 60 m: B1 (443 nm), B9 (940 nm) and B10 (1375 nm) (n.d., ESA, 2020)

Sadeghi *et al.* (2017) expõem um modelo que estima a capacidade útil de água no solo com recurso a satélites que não apresentam radar térmico, como é o caso do Sentinel-2.

Imagens hiperespectrais da gama do visível, infravermelho próximo e infravermelho de onda curta (VNIR/SWIR, 400-2500 nm), são as ferramentas mais promissoras para realizar mapas da superfície do solo (Gomez *et al.*, 2018). É descrita a possibilidade de prever as características do solo (argila e CaCO₃) a nível regional, e nem sempre ao nível de campo, usando espectroscopia com as bandas VNIR/SWIR (Gomez & Coulouma, 2018).

Nas **Figura 8** e **Figura 9**, pode observar-se que o comprimento de onda de aproximadamente 1600 nm relativamente a arenitos apresenta uma maior refletância que o comprimento de onda de aproximadamente 2200 nm e, relativamente a vários minerais de argila a relação tende a ser inversa. Contudo, esta relação não é universal para todos

os minerais. O índice *Clay Ratio* é calculado dividindo a banda 11 pela banda 12 ($SWIR1/SWIR2 = 1610 \text{ nm}/2190 \text{ nm}$) (Terrón et al., 2019).

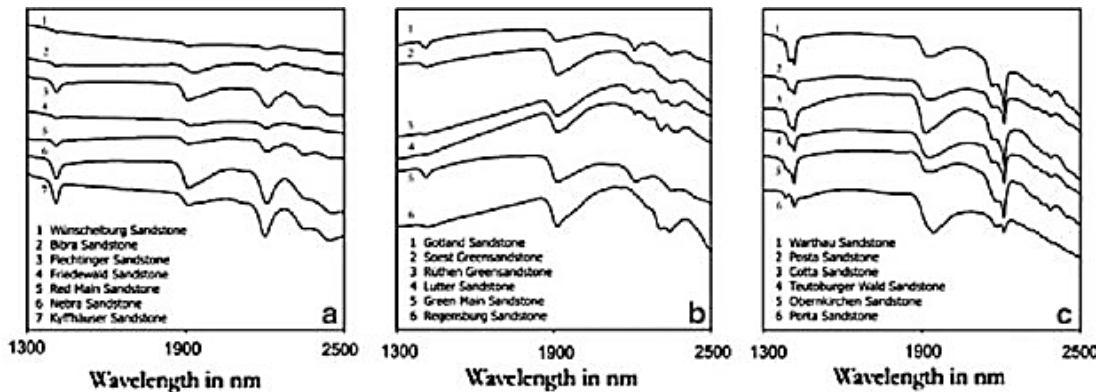


Figura 8 - Espectrometria com infravermelho de diferentes arenitos. (Bowitz & Ehling, 2008)

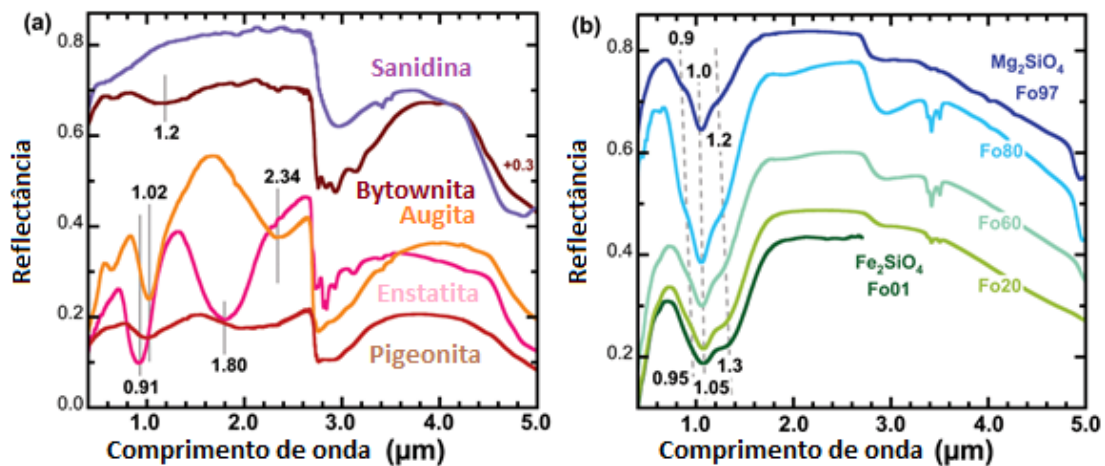


Figura 9 - Espectrometria com infravermelho de diferentes minerais de argila a) e olivinas b).

Adaptado (Bishop, Bell-III, & Moersch, 2019); (Dicionário de mineralogia e geologia ilustrado, n.d.)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Caracterização do local de estudo

O local estudado situa-se no distrito de Setúbal, no concelho de Santiago do Cacém, na freguesia de Alvalade, com as coordenadas (37.935517N, 8.347845W e 37.931797N, 8.335186W) e pertence à Herdade dos Conqueiros. A empresa cedeu o espaço e mostrou total disponibilidade para apoiar a concretização da intervenção prevista no âmbito deste trabalho.

As duas parcelas usadas para a obtenção de dados caracterizam-se por um historial de produção de milho para grão (*Zea mays L.*), em sistema de regadio com *center pivot*, sendo a cultura colhida em novembro de 2019, com exploração para pastoreio, alimentando, no período em que se realizaram as amostras, gado bovino (*Bos taurus L. 1758*).

A preparação do solo para instalação da semente é feita através de mobilização convencional. Após a colheita, o restolho da cultura é deixado no local, sendo posteriormente aproveitado para alimentação do gado, juntamente com a vegetação espontânea e incorporado no solo pelo pisoteio dos animais.

3.2. Condutividade Elétrica

O mapeamento das parcelas, relativamente à Eca, foi realizado por um equipamento Veris® modelo 2100, obtendo-se os dados entre 0 e 30 cm de profundidade, sendo estes fornecidos pelo proprietário das parcelas e apresentados na **Figura 10**:

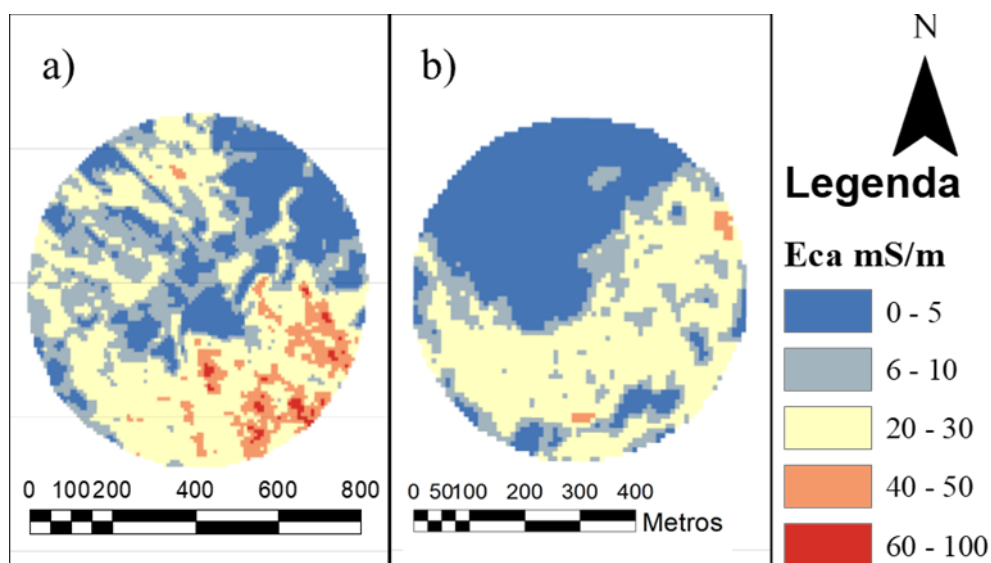


Figura 10 - Mapa de Condutividade Elétrica Aparente - a) Parcela 8; b) Parcela 10

3.3. Seleção dos pontos de amostragem

Os pontos de amostragem foram selecionados através de uma análise *cluster* dos mapas de Eca. Desta análise *cluster*, escolheram-se 15 pontos em cada parcela, sendo os pontos de 1 a 15 relativos à parcela 10 e os pontos de 16 a 30 relativos à parcela 8. A distribuição pode ser observada na **Figura 11**, onde a primeira parcela é a parcela 10 e a segunda, de maiores

dimensões é a 8. Os pontos selecionados da análise *cluster*, foram aproximadamente equidistantes e variados.

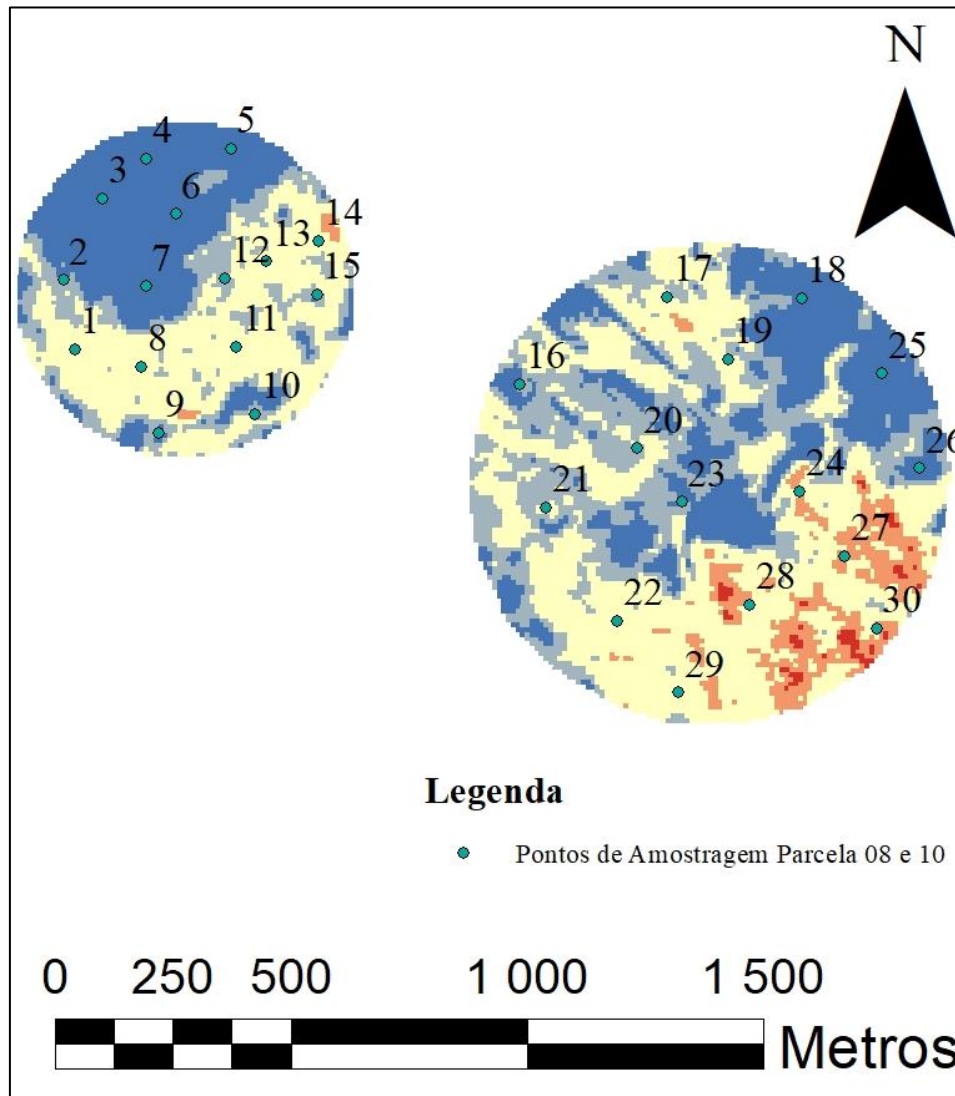


Figura 11 - Distribuição dos pontos de amostragem na parcela 10 e 8

3.4. Marcação dos pontos no terreno

Os pontos de amostragem foram marcados com uma estaca de madeira e assinalados com fita sinalizadora de cores vermelha e branca, para uma melhor visualização nas posteriores recolhas de dados.

O posicionamento foi realizado com um sistema GNSS (*Global Navigation Satelital System*), com correção SBAS (*Satellite Based Augmentation System*), com um erro horizontal inferior a um metro. Esta técnica melhorou o rendimento das recolhas de dados,

sendo apoiada pela aplicação de *Software* livre *TopView* para *Smartphone* com S.O. *Android*, a qual dirige o operador a pontos geograficamente referenciados.

Este tipo de procedimento é afetado pela presença do gado no local, já que o mesmo pisa as estacas ou, em vários casos, mastiga a fita de sinalização, separando-a do local. Para acautelar essa adversidade é aconselhável colorir as extremidades das estacas para a sua mais fácil percepção no terreno.

A diferença de rendimento na recolha de dados foi bastante acentuada quando se integrou o *software*, pois, fornecia-se no ecrã um mapa com os diferentes pontos, com uma boa visibilidade e um ponteiro guia para os mesmos.

3.5. Recolha de amostras de solo

As amostras de solo devem representar adequadamente a área que será corrigida e/ou adubada, para se obter um aumento de produtividade e para a racionalização do uso dos corretivos e fertilizantes (Oliveira *et al.*, 2007).

A recolha de amostras consistiu na extração de quatro a cinco amostras simples formando uma amostra composta, com recurso a um trado, num espaçamento de 0,5 m ao redor do ponto georreferenciado, a uma profundidade de trinta centímetros. Segundo Santos *et al.* (2009) a recolha de, pelo menos, oito amostras simples de solo seria suficiente para formar uma amostra composta representativa para avaliação da fertilidade média do solo de uma unidade de amostragem aparentemente homogénea. Ainda assim, a exatidão da estimativa dessa fertilidade média será maior quanto maior for o número de amostras simples coletadas para formar uma amostra composta.

O espaçamento utilizado, como a anterior autora referencia, é considerado representativo de mesovariações no solo (0,05 a 2 metros), onde as características do solo pouco variam. Contudo, tendem a intensificar-se nas situações em que existe uma linha de cultura e aplicações de fertilizante diferenciada.

Ao comparar os valores fornecidos para esta pequena área com os valores dos *pixels* de muito maior área pode existir um erro de representatividade dos dados, contudo, alargar a área de amostragem pode não coincidir com o *pixel* que os satélites fornecem.

3.6. Determinações analíticas de solo

Na **Tabela 6** são apresentados os resultados fornecidos por laboratório referentes às recolhas efetuadas nas duas parcelas, por processos baseados pela lei de Stokes (Miller & Miller, 1987).

Tabela 6 - Determinações texturais das amostras de solo fornecidas por laboratório

Ref. Am.	% Areia (lim. mm)		% Lotes da Terra Fina (lim. em mm)				Classe Textural
	A. gros.	A. fina	AREIA	LIMO	ARGILA	Total	
	2-0,2	0,2- 0,02	2-0,02	0,02- 0,002	< 0,002		
1	26.6	37.7	64.3	16.5	19.2	100	Franco-Arenoso
2	32.0	39.5	71.5	14.7	13.8	100	Franco-Arenoso
3	52.0	29.3	81.2	9.3	9.5	100	Franco-Arenoso
4	46.0	35.9	81.9	7.2	10.9	100	Franco-Arenoso
5	51.2	35.4	86.5	5.9	7.5	100	Arenoso-Franco
6	45.4	36.4	81.8	7.6	10.6	100	Franco-Arenoso
7	39.1	32.2	71.3	12.8	15.9	100	Franco-Arenoso
8	33.9	45.7	79.6	10.3	10.1	100	Franco-Arenoso
9	43.7	39.6	83.4	7.2	9.4	100	Franco-Arenoso
10	36.6	46.6	83.2	8.2	8.6	100	Franco-Arenoso
11	30.2	47.5	77.7	11.0	11.3	100	Franco-Arenoso
12	29.0	46.2	75.2	11.1	13.7	100	Franco-Arenoso
13	29.3	42.3	71.6	12.3	16.1	100	Franco-Arenoso
14	34.6	41.2	75.8	11.6	12.5	100	Franco-Arenoso
15	30.8	39.4	70.2	13.2	16.6	100	Franco-Arenoso
16	32.7	39.0	71.7	14.6	13.7	100	Franco-Arenoso
17	24.2	36.2	60.4	20.6	19.0	100	Franco
18	64.1	23.4	87.5	4.5	7.9	100	Arenoso-Franco
19	32.2	29.2	61.4	17.9	20.6	100	Franco
20	35.2	32.1	67.3	16.1	16.6	100	Franco-Arenoso

21	34.2	39.1	73.3	13.2	13.6	100	Franco-Arenoso
22	24.5	27.7	52.2	14.7	33.1	100	Franco-Argiloso
23	49.4	30.3	79.7	10.1	10.2	100	Franco-Arenoso
24	15.6	27.4	43.0	20.6	36.4	100	Franco-Argiloso
25	28.0	41.9	69.8	16.2	14.0	100	Franco-Arenoso
26	41.7	28.6	70.3	16.0	13.7	100	Franco-Arenoso
27	7.0	24.7	31.7	25.5	42.8	100	Argilo-Limoso
28	22.9	25.5	48.4	22.9	28.7	100	Franco-Argiloso
29	25.3	33.1	58.4	19.2	22.4	100	Franco
30	11.2	21.0	32.2	28.3	39.5	100	Franco-Argilo-Limoso

Nas **Figura 12** está representada a distribuição textural das amostras recolhidas em cada parcela.

O diagrama apresentado segue as normas para classificação da textura segundo a adaptação aos limites internacionais por M. Pereira Gomes e A. Antunes da Silva (Botelho da Costa, 2011, p. 57 ; Groenendyk *et al.*, 2015).

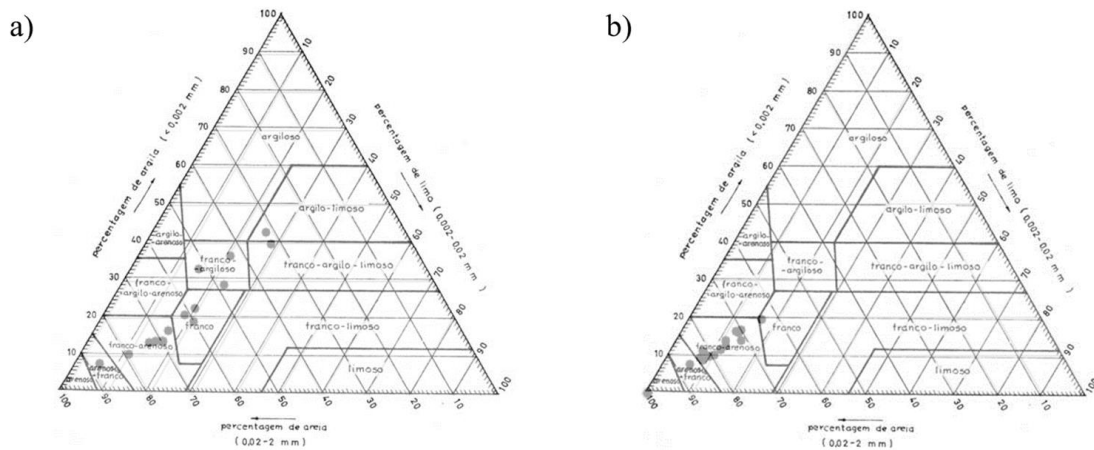


Figura 12 - Distribuição textural dos pontos de amostragem - a) Parcela 8; b) Parcela 10

Em ambas as distribuições apresentadas é perceptível a homogeneidade textural da parcela 10, onde a areia é o constituinte maioritário desses solos. Por outro lado, existe maior variabilidade na parcela 8.

3.7. Medições de humidade e Eca do solo

A recolha de dados de humidade e Eca dos pontos de amostragem foi efetuada com recurso a uma sonda TDR, da marca *Spectrum Technologies, Inc.*, modelo *FieldScout TDR 350*, equipada de agulhas de doze centímetros (4,8 polegadas).

O procedimento utilizado foi de dez repetições aleatórias ao redor dos pontos, num raio igual ao utilizado na recolha de amostras de solo. Cada picagem de amostra fornecia os dados de VWC (%), Eca (mS/cm), temperatura do solo (°C), hora e coordenadas do ponto, salvaguardando a necessidade de sincronização do equipamento com os satélites de posicionamento para que sejam fornecidos corretos valores de coordenadas geográficas.

Durante a recolha de dados, foram tiradas fotografias dos pontos (associando devidamente o ponto à respetiva fotografia) de forma a realizar-se uma análise visual da evolução do terreno. Esse procedimento permitiu, igualmente, apurar o momento em que se procedeu à recolha, para que não ocorressem erros sobre a que ponto se referiam os dados, caso o posicionamento falhasse.

As recolhas efetuadas em campo observam as seguintes datas, de acordo com a **Tabela 7**:

Tabela 7 - Calendário das recolhas de campo efetuadas

02/12/19	11/12/19	07/01/20	20/01/20	04/02/20	19/02/20	10/03/20
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

3.8. Tratamento de dados

Todos os dados recolhidos com TDR foram associados ao seu ponto geográfico, agrupando-se esses mesmos dados ao ponto geográfico do local de amostra mais próximo com a função “*Extract values to points*” do *Software ArcGIS* versão 1.7.

Este procedimento foi realizado tanto para os dados fornecidos pelo equipamento TDR como para os dados fornecidos pelas imagens de satélite.

A comparação de valores foi realizada no programa *Microsoft Excel* para *Office 360 MSO*. O método de correlação usado foi o teste de correlação de *Pearson*, teste estatístico usado para determinar a associação entre duas variáveis contínuas.

Tal teste fornece o coeficiente de correlação (R) que pode apresentar valores entre o intervalo [-1;1], onde o valor {-1} se refere a uma associação perfeita negativa, {0} ausência de relação e {1} uma associação perfeita positiva.

A fórmula para se obter o coeficiente R é a seguinte:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

Onde:

R – coeficiente de correlação;

n – número de amostras;

x_i – valor amostral da variável “x”;

\bar{x} – valor médio da variável “x”;

y_i – valor amostral da variável “y”;

\bar{y} - valor médio da variável “y”.

Equação 2 - Equação para obtenção do coeficiente de correlação

De seguida o valor R é convertido para um teste T-Student, aplicando-se a seguinte fórmula de conversão:

$$t = \frac{R \cdot \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}} \quad (3)$$

Onde:

t – valor T-Student;

R - coeficiente de correlação;

n - número de pares na amostra.

Equação 3 - Equação para o valor T-Student

Onde x e y se referem aos valores medidos de cada variável (Galarça, 2010).

O teste T-Estatística permite afirmar a significância do coeficiente de correlação, assumindo como hipótese nula H_0 que não existe correlação para as variáveis X e Y (o valor de R ocorreu por mero acaso) (Mahaluça, 2019).

Segundo Laureano & Botelho (2012, p. 268) a análise bivariada de duas análises quantitativas tem a interpretação da intensidade das suas medidas de valor de acordo com a **Tabela 8**:

Tabela 8 - Intensidade de medidas de associação

Intervalo	Intensidade da relação
[0.0;0.2]; [-0.2; 0.0]	Relação muito fraca
[0.2; 0.4]; [-0.4; -0.2]	Relação fraca
[0.4; 0.7]; [-0.7; -0.4]	Relação moderada
[0.7; 0.9]; [-0.9; -0.7]	Relação forte
[0.9; 1.0]; [-1.0; -0.9]	Relação muito forte

Se uma relação linear é válida para sumarizar a dependência observada entre duas variáveis quantitativas, então a equação que descreve esta relação é dada por:

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 X \quad (4)$$

Onde:

\hat{y} – valor predito pela regressão;

β - estimador;

X – valor da variável “x”.

Equação 4 - Equação de uma regressão linear

Os valores observados não se encontram, todavia, exatamente sobre esta linha reta, ou seja, existe uma diferença entre o valor observado e o valor fornecido pela equação (Mahaluça, 2019).

O coeficiente de determinação pode ser obtido pelo quadrado do coeficiente de correlação amostral R onde, num contexto de modelo de regressão linear simples em que a variável independente é x e a variável dependente é y , o coeficiente de determinação R^2 dá a percentagem de variabilidade dos valores da amostra y que ficam explicados em função da variabilidade da amostra x . Desta forma, R^2 varia de 0 a 1, verificando-se que um valor de R^2 próximo de 1 significa que a nuvem de pontos apresentada no diagrama de dispersão

está próxima da reta de regressão considerada para o modelo de regressão e que, quando R^2 se aproxima de 0, já não se vislumbra uma estrutura linear (Martins, 2018) (Mahaluça, 2019):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (5)$$

Onde:

R^2 – coeficiente de determinação;

n – número de amostras;

\hat{y} – valor predito pela regressão;

y_i - valor amostral;

\bar{y} - valor médio da regressão. (Oberoi, 2019)

Equação 5 - Equação para obtenção do R^2

Após o cálculo das relações entre os dados de satélite e os dados no local, realizou-se um teste estatístico para medir a associação entre a intensidade de relação e o tipo de textura.

Desta forma, compara-se a associação de duas variáveis categóricas, sendo o melhor método de comparação, o uso do valor V de *Crammer*, o qual mede quão forte é a associação de duas variáveis categóricas (IBM Knowledge Center, 2020).

Segundo a VrcAcademy (2020) o Coeficiente V de *Crammer* segue a condição $0 \leq V \leq 1$ e calcula-se da seguinte forma:

$$V = \sqrt{\frac{\chi^2}{n \times \min(c-1, r-1)}} \quad (6)$$

Onde:

χ^2 – valor de qui quadrado

n – tamanho da amostra

c – número mínimo de colunas

r – número mínimo de linhas

*Equação 6 - Equação para obtenção do V de *Crammer**

As formas de interpretação do valor podem ser observadas na **Tabela 9**.

Tabela 9 - Interpretação das medidas do V de *Crammer*

(Cohen, 1998 ; Rea & Parker, 1992)

Adaptado de Kotrlik, Williams & Jabor (2011, p. 138)

Referência	Medida Estatística	Valores	Interpretação da Medida
Cohen, 1998	Phi de Crammer ou V de Crammer para dados nominais	0,1	Fraca Associação
		0,3	Média Associação
		0,5	Forte Associação
Rea & Parker, 1992		[0 - 0,1[Associação Negligenciável
		[0,1 - 0,2[Fraca Associação
		[0,2 - 0,4[Associação Moderada
		[0,4 - 0,6[Associação Relativamente Forte
		[0,6 - 0,8[Associação Forte
		[0,8 - 1,0]	Associação Extremamente Forte

Procurando uma relação entre a textura das amostras e a intensidade e sentido de correlação, para a Eca, realizaram-se testes de associação de variáveis categóricas não ordenadas através do *Software IBM® SPSS® Statistics*.

Como pode ser observado na **Tabela 10**, a cada tipo de textura foi atribuída uma classe numérica para que o *software* realizasse os testes.

Tabela 10 - Classificações categóricas das texturas dos solos

Textura	Classe
Arenoso-Franco	2
Franco-Arenoso	3
Franco	4
Franco-Argiloso	6
Argilo-Limoso	9
Franco-Argilo-Limoso	10

Procurando uma relação entre estas intensidades e a classificação textural das amostras recorreu-se a testes estatísticos categóricos, utilizando o V de *Crammer* como indicador da relação.

Estes testes apenas se realizaram entre as correlações das imagens de satélite com a Eca. Esta metodologia passou por ordenar ambas as variáveis categóricas textura e intensidade de relação sendo a variável textura classificada numa ordenação numérica como é apresentado na tabela **Tabela 10** para facilitar a execução destes testes.

Para cada tipo de textura foram contabilizadas as amostras que correspondem a cada tipo de intensidade. Para cada tipo de imagem de satélite criou-se uma tabela de contingência que corresponde ao **ANEXO IX**, **ANEXO XII** e **ANEXO XV**, para o índice *Clay Ratio* e para as polarizações VH e VV respetivamente onde é contabilizado cada intensidade de associação por tipo de textura, sendo depois usados estes dados para os testes estatísticos. Para uma interpretação gráfica também se criou um gráfico de barras para cada tipo de imagem de satélite, pela mesma ordem, remetidos para o **ANEXO XI**, **ANEXO XIV** e **ANEXO XVII**.

3.9. Fotografias no local

Durante a recolha de dados, em cada ponto, procedeu-se a registo fotográfico. Este registo permite não só obter uma avaliação visual do coberto nessa zona, como também, registar a sequência de pontos visitados em cada parcela, aferindo os dados recolhidos com sonda TDR através da hora registada em ambos os procedimentos. Um excerto desses registos pode ser observado nas **Figura 13** e **Figura 14**.

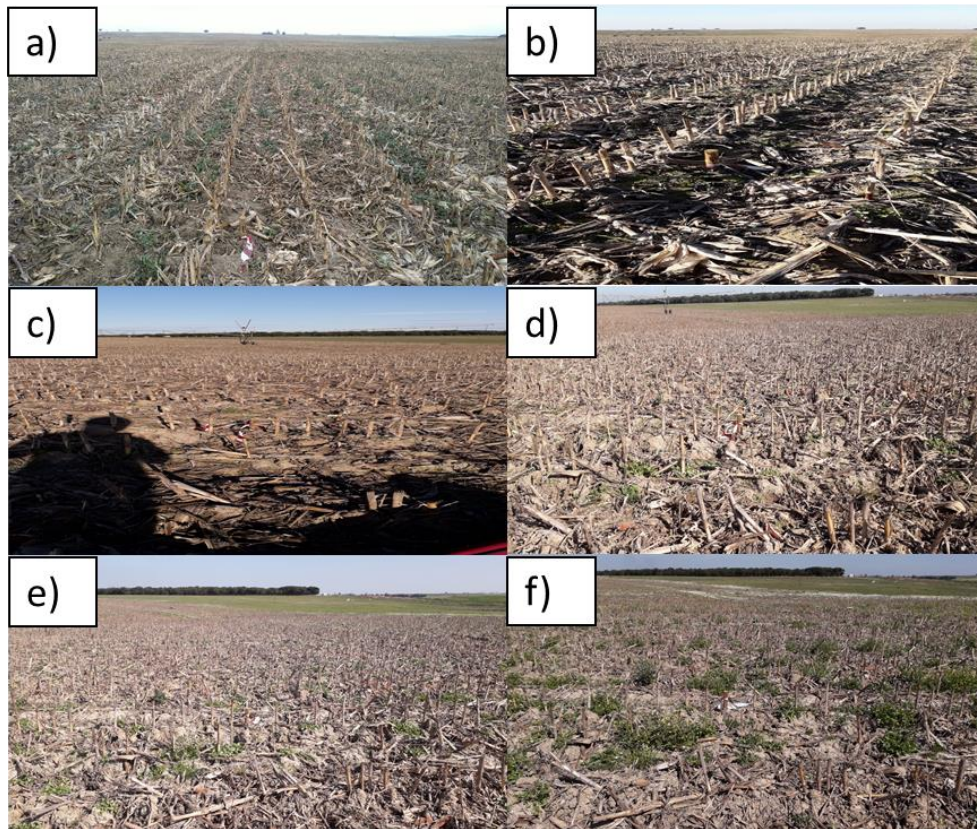


Figura 13 - Evolução do coberto do solo na parcela 8 - ponto 30
 a) 11/12/19; b) 07/01/20; c) 20/01/20; d) 04/02/20; e) 19/02/20; f) 10/03/20.

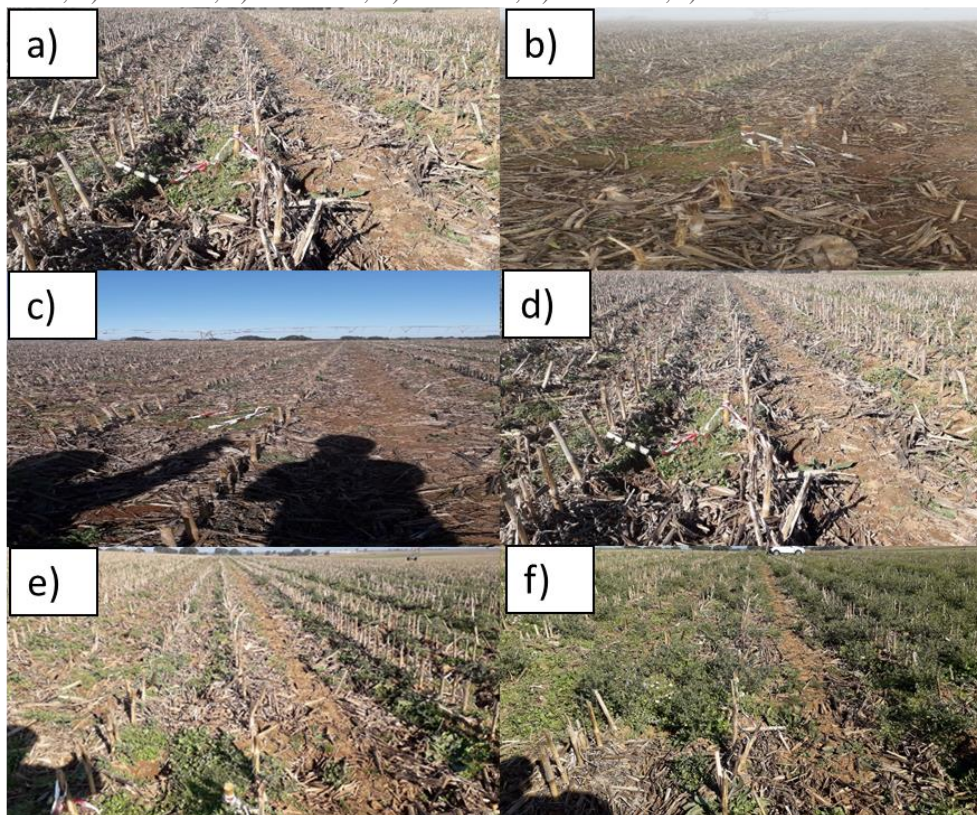


Figura 14 - Evolução do coberto do solo na parcela 10 - ponto 1
 a) 02/12/19; b) 07/01/20; c) 20/01/20; d) 04/02/20; e) 19/02/20; f) 10/03/20.

3.10. Imagens Sentinel

As datas em que cada um dos satélites de observação da Terra passaram e observaram o local de ensaio foram diferentes. Também os satélites da missão Sentinel-1 e as suas posições em órbita foram diferentes, e desta forma, os ângulos de observação foram variados, levando a diferentes resoluções para o mesmo local (Sentinel-1 Product Definition, 2016).

As datas de visita no terreno, para recolha de dados, foram idealizadas para os dias em que os dois tipos de satélite passaram no local, sempre que possível.

Na **Tabela 11** são apresentadas as datas de passagem de cada tipo de satélite, assim como, o tipo de ângulo de incidência para essa data.

Tabela 11 - Resolução temporal no local de ensaio
(agromap.agroinsider360, 2020)

Data	Sentinel 1				Sentinel 2
	D2	D3	S1	S3	
01/12/19					X
06/12/19		X			X
11/12/19				X	X
12/12/19		X			
05/01/20	X		X		X
10/01/20				X	X
11/01/20		X			
20/01/20					X
23/01/20		X			
04/02/20		X			X
10/02/20		X			
19/02/20					X
10/03/20		X			X
11/03/20		X			

3.11. Dados Pluviométricos do local

Utilizando a plataforma do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) (2020) e o sítio eletrónico *tempo.pt* (2020), é possível obter informações sobre elementos meteorológicos de forma a caracterizar o estado do tempo e a influência que este exerce no meio envolvente no período de amostragem.

Andrade & Basch (2012, pp. 23-24) descrevem o estado do tempo como:

“A descrição do clima ou estado do tempo refere-se às condições meteorológicas instantâneas e à evolução diária dos sistemas sinópticos individuais. A descrição do clima ou do estado do tempo é feita a partir do conhecimento de um conjunto de valores de grandezas meteorológicas. Estes parâmetros, variáveis no tempo e no espaço, são os elementos climáticos ou meteorológicos. O estado do tempo é objeto de estudo da Meteorologia”.

De modo a efetuar um balanço hídrico do solo foi calculada a evapotranspiração (ET_o) da zona. Existem várias fórmulas para se obter esses dados sem a utilização de um lísimetro, como é o caso de *Thornthwaite*, *Hargreaves-Samani*, *Blaney-Criddle*, *Penman-Monteith FAO*, Tanque Classe “A” e *Makkink* (Farias Araújo, 2007). O método *Penman-Monteith FAO* é indicado como padrão no cálculo da ET_o, não obstante, requer variáveis meteorológicas que nem sempre estão disponíveis (Conceição & Mandelli, 2005).

Não existindo um lísimetro disponível, e sendo fraca a disponibilidade de dados meteorológicos, é necessário recorrer a fórmulas empíricas no cálculo da evapotranspiração. Nesta situação, utilizou-se a fórmula de *Hargreaves-Samani*, pois como referem (Raziei & Pereira, 2013) apenas requer os valores de temperatura máxima e mínima. Ainda assim, é possível existir sobrestimação da evapotranspiração em 8%, como é descrito por (Rojas & Sheffield, 2013), existindo boa correlação entre esta equação e a de *Penman-Monteith* (Shahidian, et al., 2011).

Assim sendo, a equação é dada na seguinte forma, na **Equação 7**:

$$ET_o = 0,0135KT \times Ra \times \sqrt{TD} \times (TC + 17.8) \quad (7)$$

Onde:

KT – Coeficiente empírico

Ra – Radiação extraterrestre (mm/dia)

TD – Tmáx – Tmin (°C)

TC – Tmédia (°C)

Equação 7 - Equação de Hargreaves-Samani

Relativamente ao valor de KT, utilizou-se 0,17, sendo o valor indicado para regiões interiores (Samani, 2000). O mesmo autor refere que o valor de Ra é de 10, 7.5, 6.1, 6.9, 9, e 11.8 para o período de outubro a março, na latitude de 38°, para o hemisfério Norte.

Através do SNIRH é possível obter dados da precipitação diária para a zona envolvente, enquanto no sítio eletrónico *tempo.pt*, são disponibilizados os dados de temperatura mínima, média e máxima, tendo como referência a estação mais próxima localizada em Beja.

Para que os dados de precipitação sejam mais característicos da zona em estudo, recorreu-se ao método dos polígonos de *Thiessen*. Este método, também conhecido como diagramas de *Voronoi*, associa áreas onde todos os pontos que as constituem estão mais próximos de um ponto de referência que de restantes pontos num plano euclidiano (Forest-gis, 2018).

O método é utilizado em meteorologia para determinar as áreas de influência dos pluviómetros de estações meteorológicas, fornecendo uma média ponderada do valor de pluviosidade de um local relativamente às estações meteorológicas (Marciano, Barbosa, & Silva, 2018).

Os dados das estações utilizadas estão descritos na **Tabela 12**:

Tabela 12 - Identificação das estações meteorológicas utilizadas
Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (2020)

IGO	25G/01UG	27H/01CG	26I/01UG	26F/02C
NOME	Azinheira Barros	Panóias	Santa Vitória	Barragem de Campilhas
ALTITUDE (m)	56	164	150	108
COORD_X (m)	175344.3	184805.25	209698	156988
COORD_Y (m)	122748.65	87851.246	110863	97220
BACIA	Sado	Sado	Sado	Sado
DISTRITO	Setúbal	Beja	Beja	Setúbal
CONCELHO	Santiago do Cacém	Ourique	Beja	Santiago do Cacém
FREGUESIA	Ermidas-Sado	Panóias	Santa Vitória	Cercal
ENTIDADE RESPONSÁVEL (AUTOMÁTICA)	Autoridade Nacional da Água	Autoridade Nacional da Água	Autoridade Nacional da Água	Autoridade Nacional da Água
ENTIDADE RESPONSÁVEL (CONVENCIONAL)	CCDR-Alentejo	CCDR-Alentejo	CCDR-Alentejo	CCDR-Alentejo
TIPO ESTAÇÃO (AUTOMÁTICA)	Udográfica	Udográfica	Udográfica	Climatológica

Na **Tabela 13** é descrita a área de influência de cada estação meteorológica no local de estudo, segundo os polígonos de *Thiensen*:

Tabela 13 - Influência de cada estação meteorológica no local de amostragem

	Área m2	% Influência
AZINHEIRA BARROS	307828149.6	0.31
PANÓIAS	325152227	0.33
SANTA VITÓRIA	185410173	0.19
BARRAGEM DE CAMPILHAS	169847075.8	0.17
Total	988237625.5	1

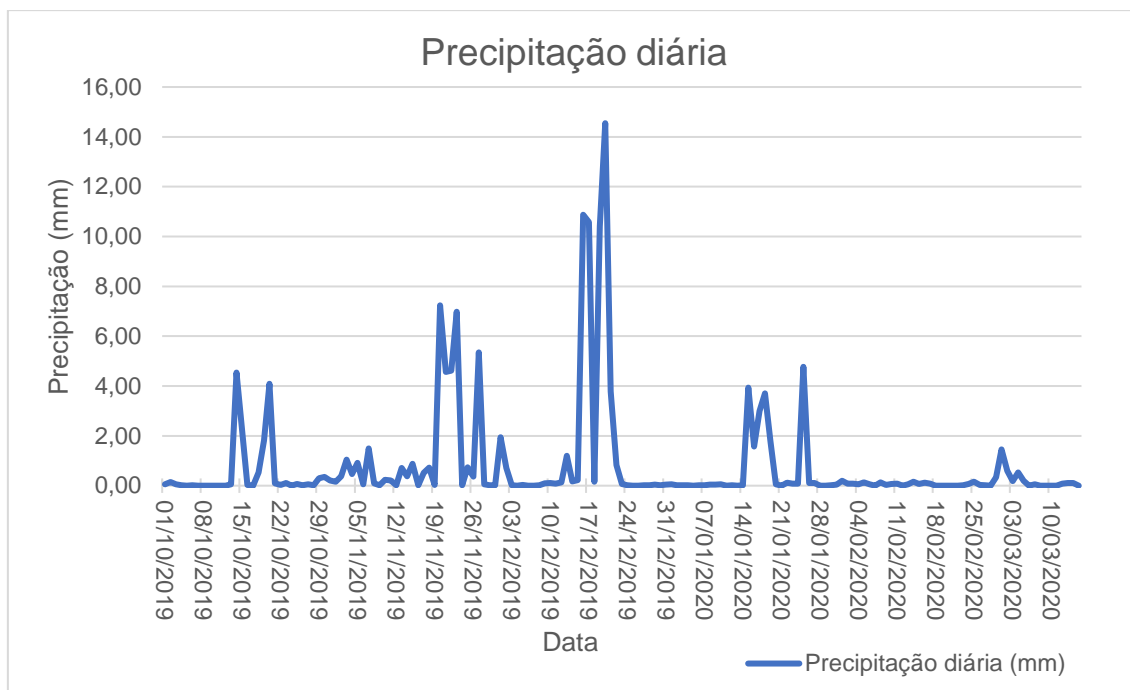


Gráfico 4 - Precipitação diária no local das parcelas
 Fonte: (Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, 2020)

No **Gráfico 4**, são apresentados os valores de precipitação diária, provenientes das médias ponderadas de cada estação meteorológica segundo os polígonos de *Thiessen* enquanto no **Gráfico 5** se apresenta o valor acumulado de precipitação, para o mesmo local, através de mesmo método.

No **Gráfico 6**, são apresentados os valores da evapotranspiração potencial estimados pelo método de *Hargreaves-Samani*. Subtraindo estes valores pelos valores de precipitação diária, obtém-se um balanço hídrico ponderado no local de estudo, o qual se encontra exposto no **Gráfico 7**.

É de notar que estes dados não apresentam a fiabilidade de um lisímetro, contudo, indicam períodos com excesso ou déficit de humidade no local de estudo.

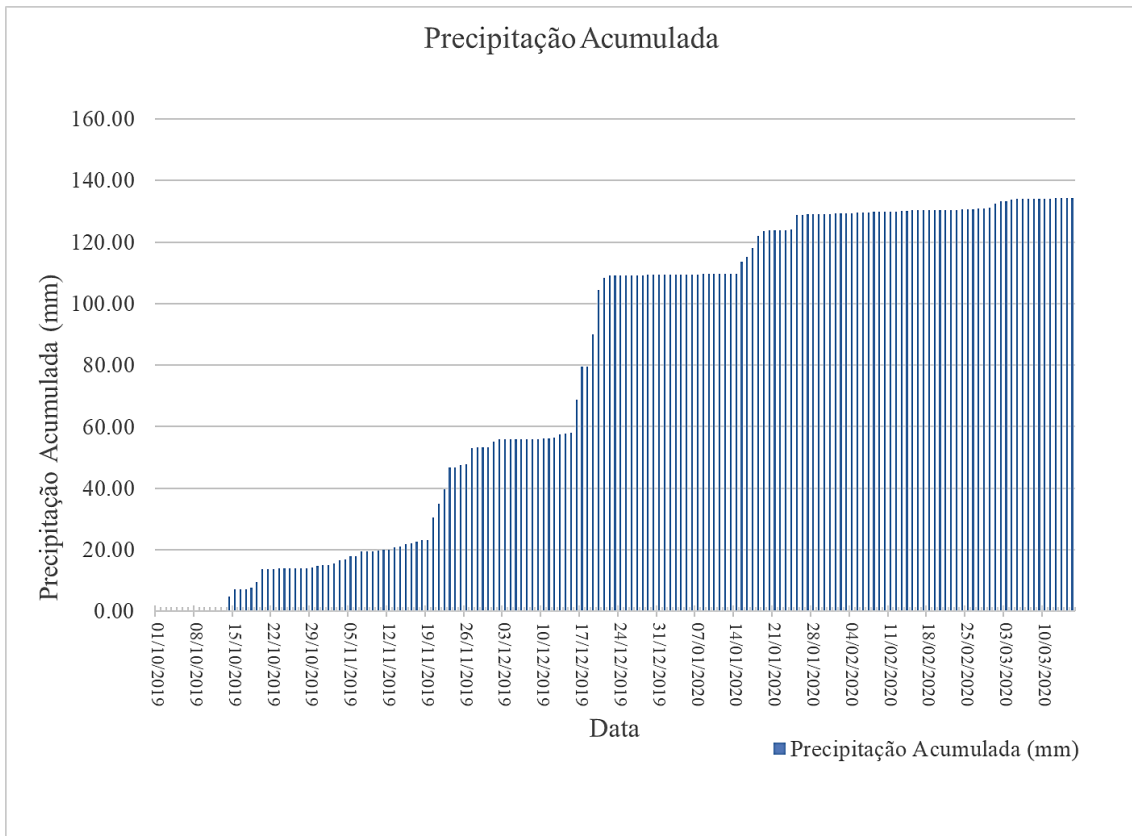


Gráfico 5 - Precipitação acumulada no local das parcelas
 Fonte: (Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, 2020)



Gráfico 6 - Evapotranspiração potencial diária no local das parcelas
 Fonte: (tempo.pt, 2020)

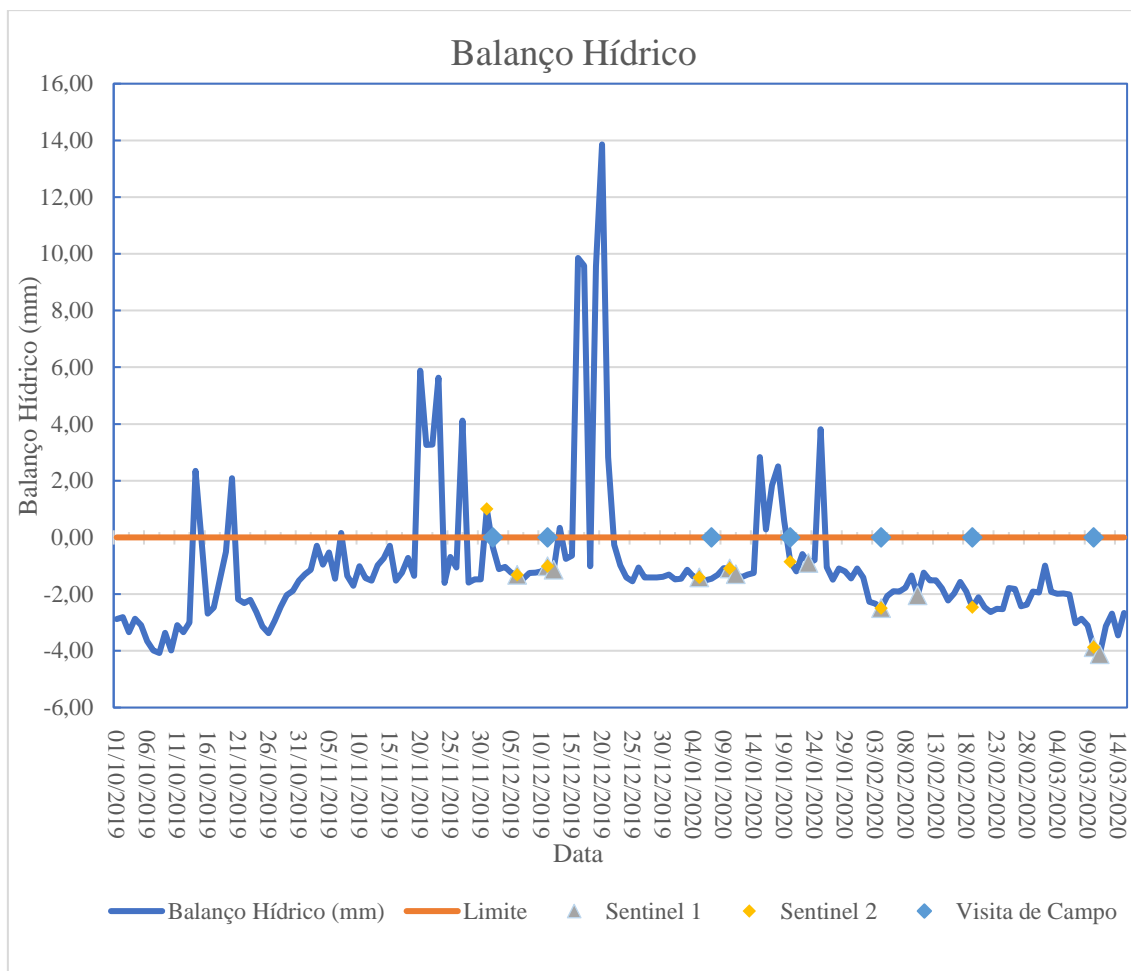


Gráfico 7 - Balanço entre a precipitação e no local das parcelas

3.12. Medidor TDR

Os dados do ANEXO XXVI e ANEXO XXVII são referentes aos dados recolhidos em campo com o equipamento TDR, sendo cada valor resultado da média aritmética das dez medições retiradas em cada ponto durante a data apresentada.

Especificações

As especificações da sonda FieldScout TDR 350, usada nas medições do WVC e Eca, são descritas na Tabela 14. A mesma foi adaptada com uma sonda de 4,8 polegadas (4.8") e sincronizada para a Timezone GMT -1.

Tabela 14 - Especificações da sonda FieldScout TDR 350 (Sonda 4.8"; Timezone GMT -1)

Medição	Resolução	Precisão	Amplitude
VWC	0,1 %	± 3,0%	0% - Saturação
EC	0,1 mS/cm	± 0,1 mS/cm	0 – 5 mS/cm
Temperatura	± 0,1°C	± 1°C	- 30 – 60°C
GPS		< 2,5 m	

3.12.1 Eletrocondutividade

As dez medições efetuadas em cada ponto foram calculadas numa média, associadas à data da sua recolha, e inseridas no ANEXO XXVI e sendo representadas graficamente tanto no ANEXO XVIII, como no Gráfico 8:

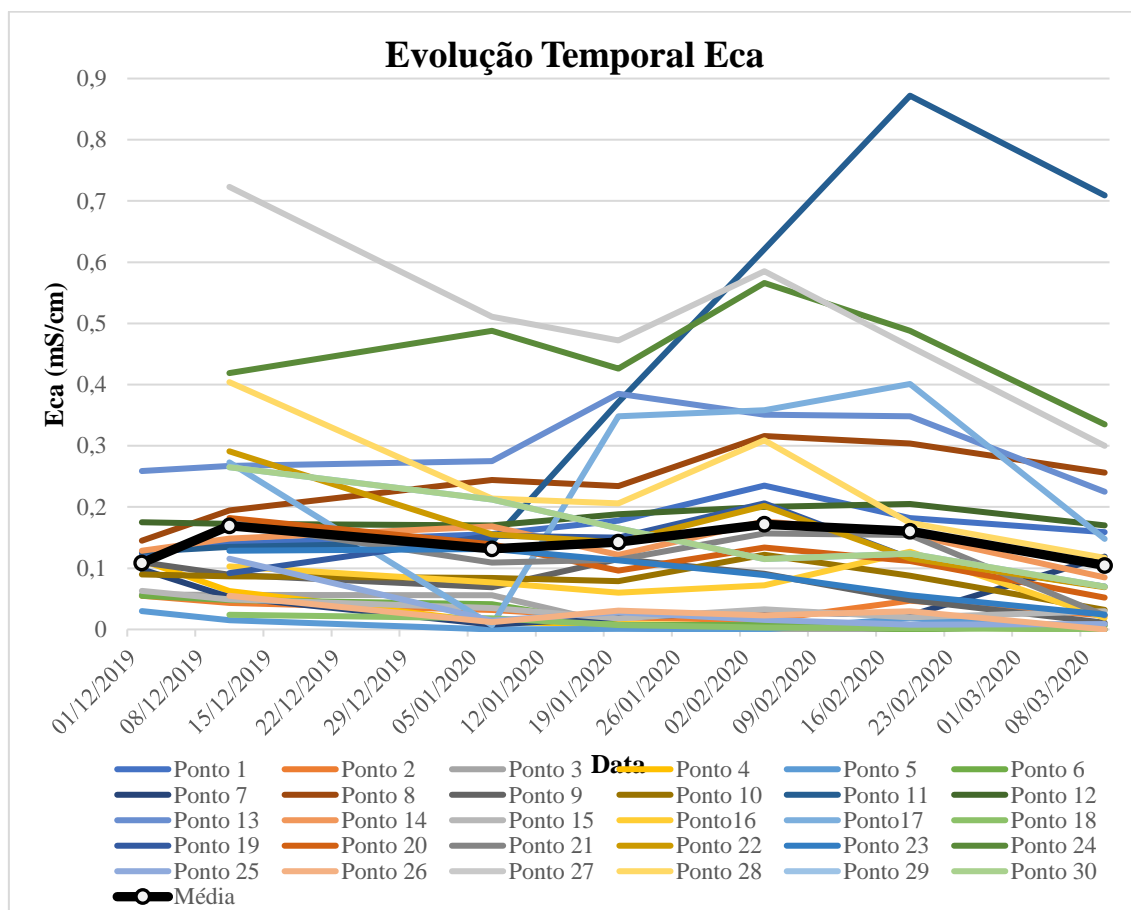


Gráfico 8 - Evolução temporal da Eca

3.12.2. Volume water content

Da mesma forma em que os valores de Eca foram calculados no ponto 3.12.1, também os valores de VWC são apresentados no ANEXO XXVII e representados graficamente tanto no ANEXO XIX como no Gráfico 9:

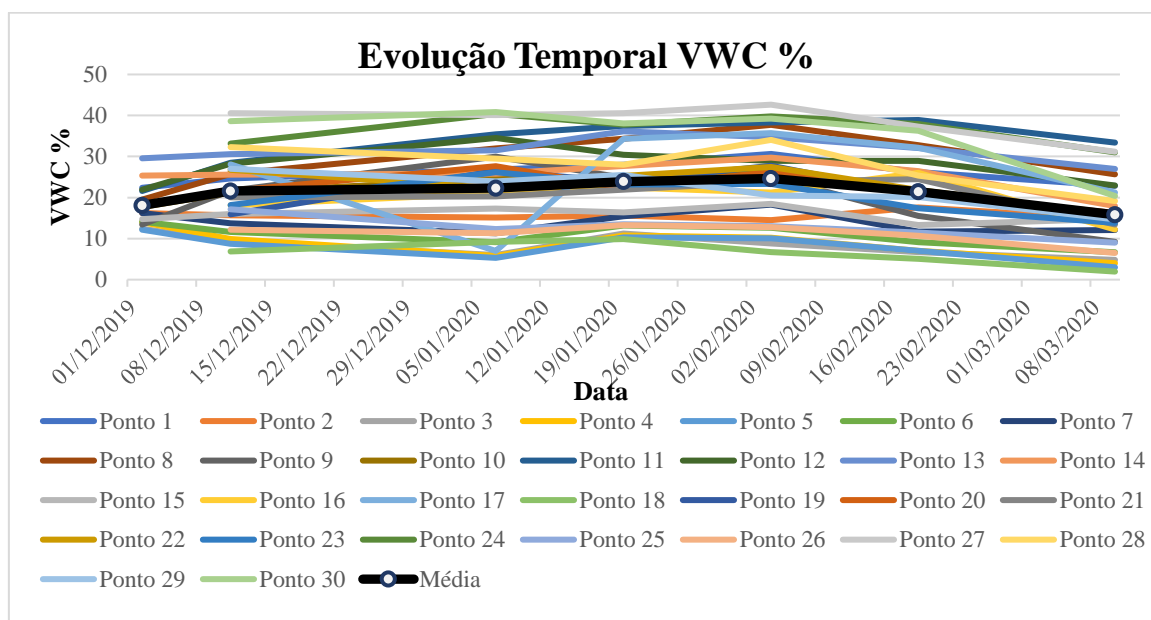


Gráfico 9 - Evolução temporal do VWC

4. APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

4.1. Mapas de satélite

Os mapas de satélite apresentam a evolução temporal dos valores fornecidos pelas imagens de satélite ao longo do período de estudo. A média dos valores extraídos do índice de cada polarização, para cada ponto, encontram-se nos anexos sendo apresentados no ANEXO XXVIII, IX e ANEXO XXX. Nomeadamente à correlação temporal das imagens de satélite com os parâmetros do solo, encontram-se no ANEXO XXXI e ANEXO XXXII os testes referentes à polarização VV, no ANEXO XXXIII e ANEXO XXXIV os testes referentes à polarização VH e no ANEXO XXXV e ANEXO XXXVI e os testes referentes ao índice *Clay Ratio*, de forma individual para cada ponto de amostragem. Em resumo, segue-se na Tabela 15 a média dos valores recolhidos das imagens de satélite e do sensor TDR:

Tabela 15 - Tabela resumo das médias dos valores das imagens de satélite e dos parâmetros recolhidos por TDR em cada ponto

Ponto	Média				
	Clay Ratio	VV	VH	Eca	VWC
1	1.35	-8.58	-17.06	0.17	25.94
2	1.37	-9.28	-17.13	0.03	15.65
3	1.30	-9.58	-18.74	0.03	8.44
4	1.31	-10.42	-18.38	0.03	8.81
5	1.33	-10.18	-17.49	0.01	8.09
6	1.38	-9.80	-17.00	0.02	10.92
7	1.31	-9.33	-17.50	0.05	14.12
8	1.34	-7.70	-17.45	0.24	29.68
9	1.35	-8.60	-17.44	0.08	19.94
10	1.36	-8.78	-17.45	0.08	21.52
11	1.41	-7.81	-16.86	0.43	33.36
12	1.38	-8.00	-16.55	0.18	27.98
13	1.38	-6.81	-15.90	0.30	31.65
14	1.39	-8.35	-16.37	0.14	25.53
15	1.41	-8.26	-16.39	0.04	15.85
16	1.40	-8.88	-15.95	0.08	20.18
17	1.35	-8.04	-16.05	0.26	26.42
18	1.49	-10.45	-16.31	0.01	6.63
19	1.35	-8.17	-16.61	0.13	21.59
20	1.33	-8.72	-16.57	0.12	22.49
21	1.37	-9.30	-17.46	0.12	20.67
22	1.31	-7.74	-16.39	0.16	23.23
23	1.37	-9.33	-17.13	0.09	20.34
24	1.32	-8.11	-16.88	0.45	36.65
25	1.37	-8.96	-17.45	0.03	12.74
26	1.42	-8.92	-16.72	0.03	11.12
27	1.32	-7.01	-17.13	0.51	38.74
28	1.31	-8.31	-17.03	0.24	28.07
29	1.33	-8.91	-17.32	0.16	21.96
30	1.34	-8.70	-17.92	0.16	35.57

4.1.1. Parcela 8

Os mapas resultantes da imagem de satélite das datas coincidentes com a recolha de dados no local de estudo, mais concretamente na parcela 8, encontram-se no ANEXO I referente

à polarização VV, o ANEXO II referente à polarização VH e o ANEXO III referente ao índice *Clay Ratio*.

4.1.2. Parcela 10

Tal como no ponto anterior os mapas resultantes da imagem de satélite das datas coincidentes com a recolha de dados no local de estudo, na parcela 10, encontram-se no ANEXO IV referente à polarização VV, o ANEXO V referente à polarização VH e o ANEXO VI referente ao índice *Clay Ratio*.

4.1.2. Comparação entre imagens

Na **Figura 15**, é comparada a associação entre os mapas obtidos da Eca (*Veris*) em a) com os mapas obtidos do índice *Clay Ratio* em b) referente à data de 19-02-2020 e do índice da polarização VV em c) referente à data de 04-02-2020, onde, existe esta diferença temporal para cada índice, devido a não ocorrer maior intensidade de associação na mesma época do ano. Nesta situação a polarização VH não foi apresentada por manter continuamente uma associação de fraca intensidade com os parâmetros do solo.

Para o índice *Clay Ratio*, relativamente à parcela 8, a imagem apresenta semelhanças visíveis, enquanto que na parcela 10, esta semelhança não é tão aparente. Já para a polarização VV, é na parcela 10 que ocorre uma maior semelhança.

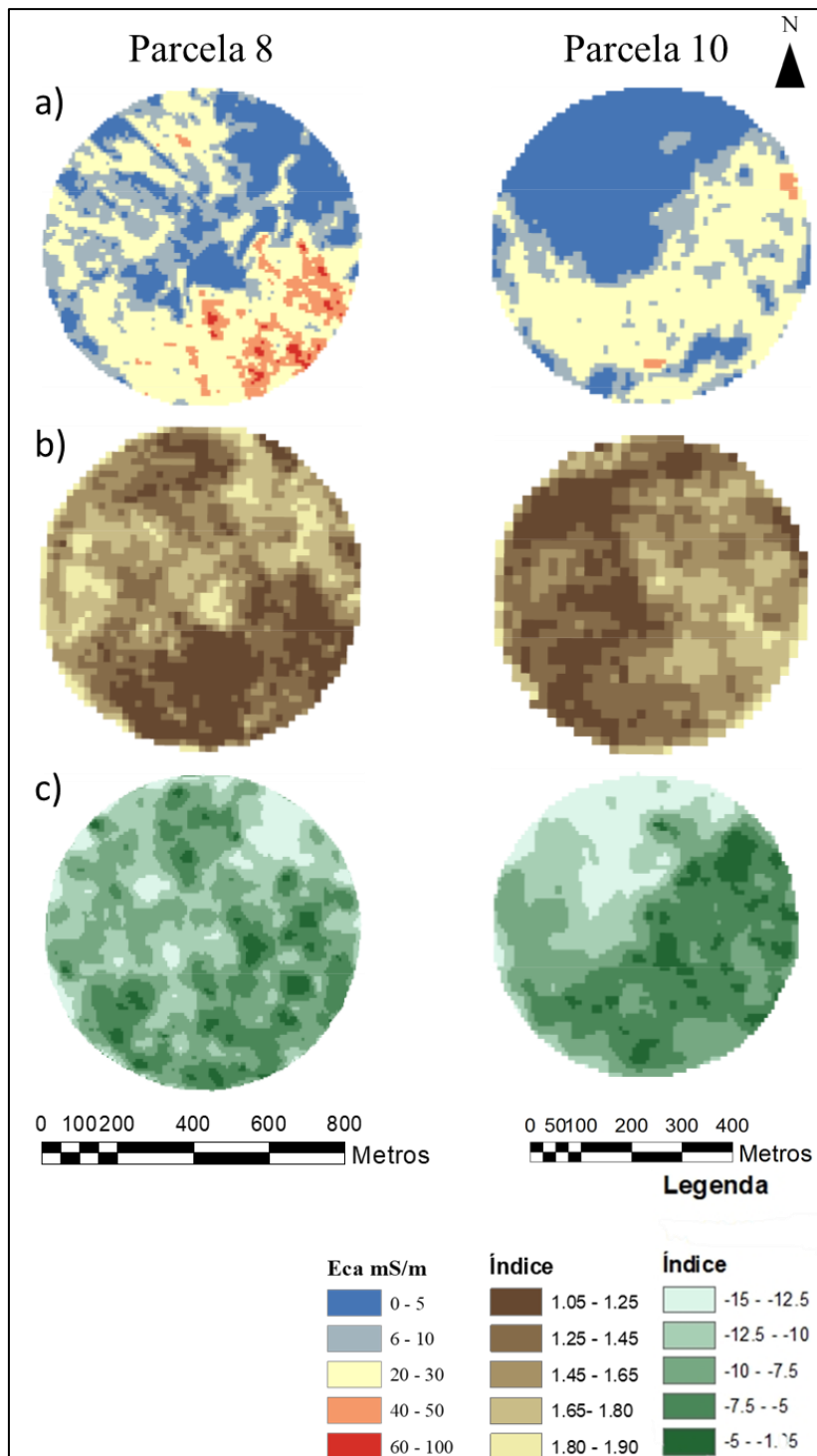


Figura 15 - Associação entre os diferentes métodos de observação do solo:

a) Eca (Veris); b) Clay Ratio (Sentinel-2); c) Polarização VV (Sentinel-1)

5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

5.1 Sensores remotos

5.1.1. Clay Ratio

Neste subcapítulo será abordada a relação entre o índice *Clay Ratio* e os dados texturais das amostras.

Analisando os dados do **ANEXO XX**, em que se comparou individualmente os valores das imagens de satélite do Sentinel-2 com o valor das percentagens de argila e areia por data de recolha de dados, tendo como referência o **Gráfico 10**, onde ocorrem coeficientes de determinação de diferentes grandezas tanto para a argila ($R^2 = 0.02$ a $R^2 = 0.42$), como para a areia ($R^2 = 0.03$ a $R^2 = 0.46$), onde nesta situação a textura arenosa acompanhou a intensidade de relação com a textura argilosa.

As retas fornecidas apresentam as suas equações com tendência sempre de um declive positivo e por uma vez o sentido inverso, no caso da textura argilosa.

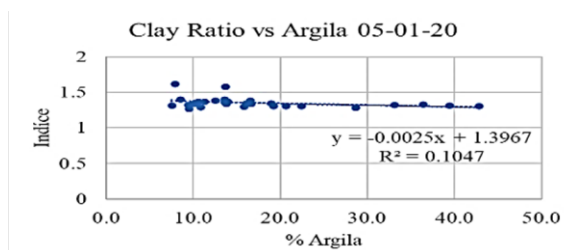


Gráfico 10 - Representação gráfica da relação do índice *Clay Ratio* com a textura argilosa na primeira metade do ensaio

Na primeira metade do ensaio (06-12-2019 a 10-01-2020), como se pode observar nas fotos da **Figura 13** **Figura 14** do ponto **3.9** deste trabalho, os resíduos da cultura anterior apresentavam-se em grandes quantidades e existia também, a presença de nebulosidade nos locais de ensaio no momento de passagem do satélite sob o local. Estas situações tendem a criar ruído nas imagens obtidas.

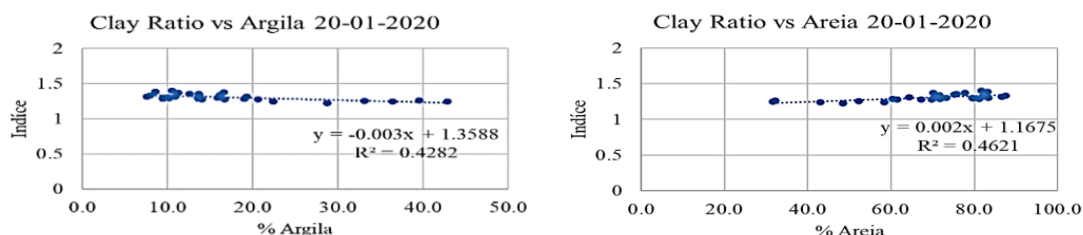


Gráfico 11 - Representação gráfica da relação do índice *Clay Ratio* com a textura na segunda metade do ensaio

Na segunda metade do ensaio (20-01-2020 a 10-03-2020), o solo já se encontrava mais exposto do que nas situações anteriores e o coeficiente de determinação aumentou, sendo o seu pico em 20-01-2020 ($R^2=0.42$) e em valores próximos a 19-02-2020 ($R^2=0.40$) ficando assim indicado que este método apresenta limitações na sua utilização em termos de condições do terreno e do ambiente que o rodeia. Tal pode ser observado na **Gráfico 11**.

As correlações apresentadas na **Tabela 16** - Correlação entre Clay Ratio e textura

Tabela 16 - Correlação entre Clay Ratio e textura

Correlação de <i>Pearson</i>				
<i>Clay Ratio vs % Argila</i>				
Coeficiente R	N	T Estatístico	DF	<i>p-value</i>
-0.436	30	2.56672	28	0.015
<i>Clay Ratio vs % Areia</i>				
Coeficiente R	N	T Estatístico	DF	<i>p-value</i>
0.009	30	0.050747	28	0.959
<i>Clay Ratio vs % Limo</i>				
Coeficiente R	N	T Estatístico	DF	<i>p-value</i>
-0.338	30	1.902311	28	0.067

entre o valor médio de cada ponto e as percentagens de constituintes de cada classe de partículas do solo em cada ponto, indicam uma maior sensibilidade para constituintes de menores dimensões, onde há maior expressão na argila ($R=-0.43$; $p-value=0.01$) e de menor forma o limo ($R=-0.33$; $p-value=0.06$). Contudo, não permite discriminar o conteúdo em areia ($R=0.0$; $p-value=0.96$), sabendo que esta representa o maior constituinte em grande parte dos solos em amostragem, as imagens obtidas através deste índice não representam fielmente a realidade, contudo podem fornecer informação de zonas distintas entre manchas de solo.

Dado que as parcelas do ensaio jamais se apresentaram, em qualquer momento ou local, desprovidas de cobertura, não é possível indicar uma altura ou condições em que este método possa ser ainda mais fiável.

Zheng *et al.* (2014), ao estudarem a deteção remota de zonas agrícolas sem mobilização, referem que os resíduos das culturas apresentam uma característica de absorção próxima dos 2100 nm, associada à celulose e lenhina. Face ao exposto, esta é uma das razões pelas quais o índice de *Clay Ratio* pôde apresentar fracos resultados neste ensaio, pois maiores

absorções de radiação do intervalo da banda B12 por parte desses materiais, levam a que o índice se afaste do valor de 1, comportando-se como os corpos mais arenosos.

No mesmo sentido, Bousbih *et al.* (2019) descrevem que resíduos de cultura, assim como restolho de cereais de inverno, são suficientes para criar ruído nas imagens do Sentinel-1 e que o melhor período para a utilização das bandas do Sentinel-2 é o verão, período mais seco no local que estudaram, onde o ruído provocado pelos fenómenos de pluviosidade na humidade do solo terá sido minimizado. Os mesmos autores concluíram que as bandas do Sentinel-2 que maior sensibilidade apresentaram perante a textura do solo foram as bandas B11 e B12, apresentando um valor máximo do coeficiente de determinação próximo de 0.4 e um mínimo de 0.35, para ambas as bandas, durante os meses de verão.

Comparando com os dados deste trabalho, onde se registaram valores maiores do coeficiente de determinação com o índice *Clay Ratio* 20-01-2020 ($R^2=0.42$) e 19-02-2020 ($R^2=0.40$), assim como valores muito inferiores como por exemplo 06-12-19 ($R^2=0.03$) observando-se que a distribuição do teor de areia dos solos neste trabalho é maior contrariamente ao trabalho dos referidos autores em que a distribuição do teor de argila que se apresenta mais heterogénea, revela-se interessante o estudo deste caso, comparando a eficácia do índice *Clay Ratio* para discriminar manchas de solo mais argilosas.

No mesmo estudo, os autores obtiveram valores de refletância diferentes, com todas as bandas a apresentarem o mesmo comportamento, perante solos com diferentes teores de argila, sendo a refletância menor quanto maior é o conteúdo em argila dos solos. No **ANEXO XX** onde se compara o índice *Clay Ratio* com a textura, esta tendência também se nota onde os pontos com maior teor de argila correspondem a um valor do índice menor de acordo com o **Gráfico 11** apresentado neste ponto.

Conforme descrito na revisão bibliográfica deste trabalho, de acordo com Demattê, Moreti, & Vasconcelos (2005), as bandas de 1550 nm e 2080 nm apresentaram idêntico comportamento perante os diferentes elementos do solo.

5.1.2. Polarização VV

Ao longo do tempo, o comportamento da polarização VV em relação à textura das amostras, de acordo com o **ANEXO XXII**, apresentou uma tendência positiva para a argila e tendência negativa para areia. Os dias em que esta relação foi mais intensa ocorreram

em 05-01-2020 e 04-02-2020 com um $R^2 = 0.24$ e 0.22 para a argila e $R^2 = 0.25$ e 0.23 para a areia. Este comportamento é demonstrado no **Gráfico 12**:

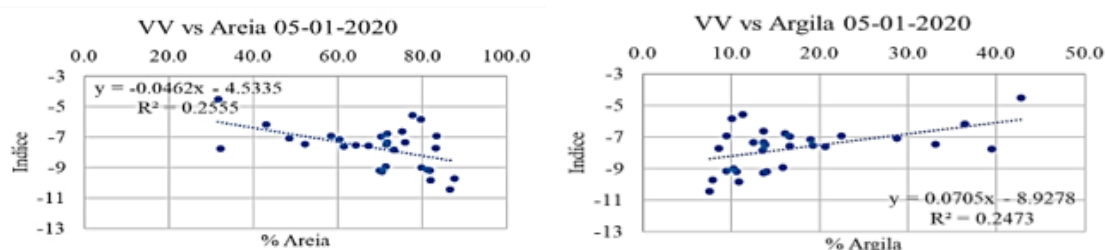


Gráfico 12 - Representação gráfica da relação da polarização VV com a textura das amostras

Os restantes dias apresentam uma redução no seu coeficiente de determinação. Nas parcelas de ensaio constatou-se a mudança na rugosidade do terreno, causada pelo pisoteio animal, sendo cada vez maior até ao final do mesmo.

Conforme os dados de correlação desta polarização com a textura das amostras na **Tabela 17**:

Tabela 17 - Correlação entre VV e Textura

Correlação de Pearson				
VV vs % Argila				
Coeficiente R	N	T Estatístico	DF	p-value
0.504	30	3.090385	28	0.004
VV vs % Areia				
Coeficiente R	N	T Estatístico	DF	p-value
-0.516	30	3.190744	28	0.003
VV vs % Limo				
Coeficiente R	N	T Estatístico	DF	p-value
0.491	30	2.989227	28	0.005

estes indicam que o tipo de polarização VV pode discriminar as dimensões dos constituintes do solo, perante uma correlação moderada positiva para a argila e o limo com $R=0,54$ e $R=0,49$ ($p\text{-value}=0,00$) e uma correlação moderada negativa para a areia com $R= - 0.51$ ($p\text{-value}=0,00$), havendo desta forma uma maior reflexão quando as ondas eletromagnéticas entram em contacto com partículas menores do que a areia, levando o índice a valores mais próximos de -1.0 . Em contrapartida, no caso das zonas onde existe maior presença de areia, a correlação negativa, indica que quanto maior for o conteúdo

de areia, menor é a refletividade deste tipo de ondas eletromagnéticas, ficando estas, absorvidas nestes corpos e o índice apresentar valores negativos mais afastados de 0, sendo o valor mais distante observado neste trabalho de -15.

5.1.3 Polarização VH

Como se pode observar através da análise da **Tabela 18**:

Tabela 18 - Correlação entre VH e Textura

Correlação de Pearson				
VH vs % Argila				
Coefficiente R	N	T Estatístico	DF	p-value
0.072	30	0.38259	28	0.704
VH vs % Areia				
Coefficiente R	N	T Estatístico	DF	p-value
-0.086	30	0.4573	28	0.650
VH vs % Limo				
Coefficiente R	N	T Estatístico	DF	p-value
0.101	30	0.54168	28	0.592

onde se correlacionou a média desta polarização com as amostras texturais, não se apresentou nenhuma correlação com os constituintes do solo no local de ensaio ($R \leq 0.1$; $p\text{-value} > 0.5$). Estes dados são comprovados perante o **ANEXO XXIV** referente à evolução temporal desta relação perante os constituintes do solo em que se obteve valores de $R^2 \leq 0.03$. O comportamento desta polarização pode ser observado no **Gráfico 13**:

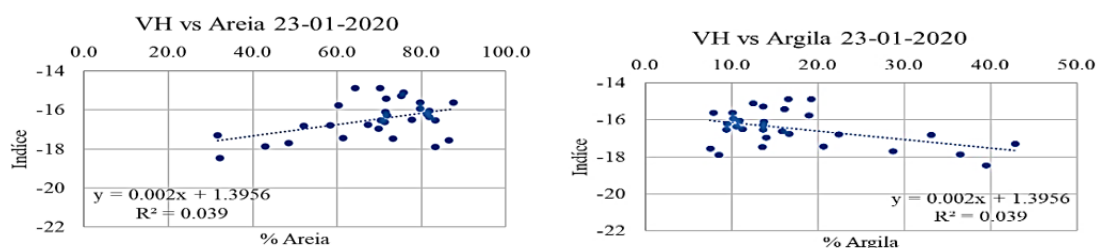


Gráfico 13 - Representação gráfica da relação da polarização VH com a textura das amostras

5.2 Sensores próximos

O sensor próximo utilizado na recolha de dados foi o equipamento TDR, como já referido fornece valores de Eca e VWC. Estes dois parâmetros mostraram-se com uma correlação forte de acordo com a **Tabela 19**.

Tabela 19 - Correlação entre VWC e Eca

Correlação de Pearson				
VWC % vs Eca				
Coefficiente R	N	T Estatístico	DF	p-value
0.8231	30	7.66964	28	2.4E-08

em que o valor apresentado foi de $R=0.82$ e $p\text{-value}=0.0$ quando se correlacionou todos os dados recolhidos em campo com este equipamento.

Tabela 20 - Correlação entre Ec e Textura

Correlação de Pearson				
ECa vs % Argila				
Coefficiente R	N	T Estatístico	DF	p-value
0.585	30	3.820805	28	0.001
ECa vs % Areia				
Coefficiente R	N	T Estatístico	DF	p-value
-0.569	30	3.668826	28	0.001
ECa vs % Limo				
Coefficiente R	N	T Estatístico	DF	p-value
0.494	30	3.013149	28	0.005

Tabela 21 - Correlação entre VWC e Textura

Correlação de Pearson				
VWC vs % Argila				
Coefficiente R	N	T Estatístico	DF	p-value
0.648	30	4.504742	28	0.000
VWC vs % Areia				
Coefficiente R	N	T Estatístico	DF	p-value
-0.659	30	4.641589	28	7.39E-05
VWC vs % Limo				
Coefficiente R	N	T Estatístico	DF	p-value
0.621	30	4.194099	28	0.000

Na **Tabela 20** e **Tabela 21** são apresentadas as correlações entre a média dos parâmetros recolhidos por TDR (Eca e VWC) e os dados texturais das amostras de solo. Ambos os parâmetros medidos por um equipamento TDR apresentaram uma correlação moderada positiva respetivamente à argila, sendo a correlação com o teor de areia negativa mas com uma intensidade idêntica e igual significância. Para a Eca a intensidade de relação foi $R=0.58$, $R=0.49$ para a argila e o limo e $R=-0.56$ para a areia com $p\text{-value}=0.0$. Bishop & McBratney (2001) indicam um coeficiente de correlação de 0.74, 0.51 e 0.38 da Eca com mapas texturais do solo, para as profundidades de 0-30cm, 0-90cm, 30-90cm, respetivamente, obtendo resultados com maior relação que este trabalho na primeira amplitude de profundidade.

No caso do VWC o comportamento da correlação foi igual, mas com intensidade de relação maior com $R=0.64$ e $R=0.62$ para a argila e o limo e $R=-0.65$ para a areia com $p\text{-value}=0.0$.

De acordo com o que é apresentado no **ANEXO XVIII**, que estuda a variação da Eca ao longo do tempo perante as diferentes texturas, existe uma data de maior valor do coeficiente de determinação, onde a 06-12-2019 são indicados os valores de $R^2 = 0.70$ e 0.66 para a argila e para a areia respetivamente, seguindo-se uma decrescente evolução deste valor durante o período de ensaio, como se observa no **Gráfico 14**.

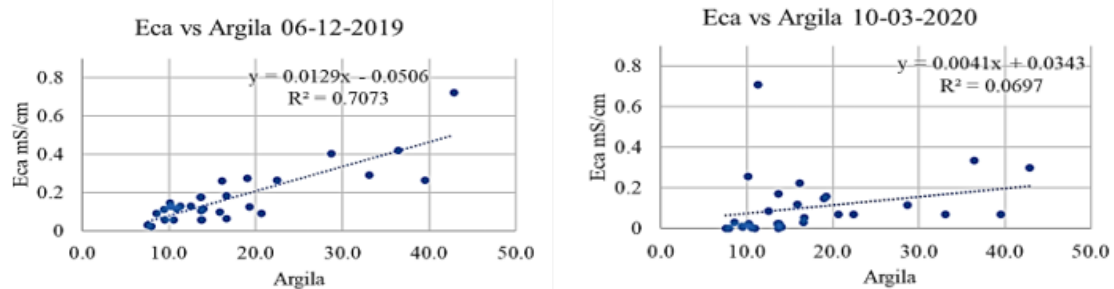


Gráfico 14 - Diferenças temporais no comportamento da Eca perante a textura argilosa

Observando a afirmação anterior, e em consonância com o que é descrito pelo fabricante do equipamento, à medida que o teor de água é menor, o valor das medições da Eca vai diminuindo, no entanto, as variações de humidade tornam-se cada vez mais amplas nesta situação, sendo propício que a Eca também apresente muita variação. Desta forma, é normal serem observados valores discrepantes como são os valores do **Gráfico 17**. No período referente a 04/02/20, o solo apresenta um maior teor de água, contudo, sendo a

variância destes dados é maior, conforme a nuvem de pontos. No período de 10/03/20, o solo apresenta os menores valores do teor de água de todo o ensaio assim como de Eca. Estas últimas datas apresentam uma variância maior em comparação com os dados recolhidos no início do ensaio. Segundo Jiang *et al.* (2016), os valores de Eca aumentam rapidamente após períodos de precipitação, ocorrendo maior amplitude nos espaços por baixo de vegetação comparativamente aos locais sem vegetação, explicando-se essa ocorrência com a maior macro porosidade e condutividade hidráulica, as quais permitem uma melhor infiltração de água no solo. Tal facto pode justificar alguma da amplitude de resultados, em especial nos pontos de textura arenosa. Desta forma, a altura ideal para efetuar estas medições pode ser comprometida pelo regime hidrológico dos locais. Esta situação é possível de observar no **Gráfico 15**:

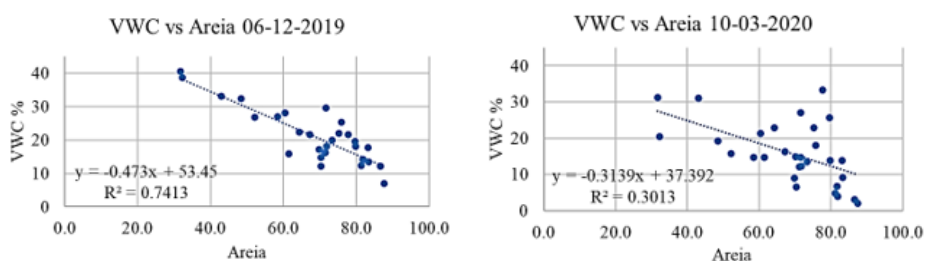


Gráfico 15 - Diferenças temporais no comportamento do VWC perante a textura arenosa

Bousbih *et al.* (2019) no que se refere ao teor de água no solo, observaram o mesmo comportamento linear que os dados deste trabalho, conforme o **ANEXO XIX** (variação do VWC ao longo do tempo), resumido no **Gráfico 15**, perante uma textura do solo tanto grosseira como fina, com coeficientes de determinação máximos de 0.54 e 0.43 para a argila e areia, respetivamente, no período entre setembro e dezembro para a região da Tunísia, onde é descrito como um período de eventos de precipitação relativamente fortes. De acordo com o mesmo anexo, na data de 06-12-2019, o coeficiente de determinação indicou valores máximos neste ensaio de 0.72 e 0.74 para argila e areia, muito superiores aos anteriormente citados, onde nas seguintes recolhas os valores do coeficiente de determinação estabilizaram, indo de 0.36 a 0.28 para a argila e de 0.38 a 0.29 para a areia. Indicando desta forma que medições com sensores geoeletricos são mais credíveis se forem realizadas em alturas sem grandes oscilações no regime hidrológico do local. Na passagem de 06-12-2019 para 07-01-2020 as nuvens de pontos nos gráficos apresentados neste anexo passam a estar muito mais dispersas da linha de tendência da equação de regressão, situação que se inicia após os fenómenos de precipitação mais intensos durante o período de recolha de dados (16-12-2019 a 23-12-2019) de acordo com o **Gráfico 4**. Os

pontos que no **ANEXO XIX** se apresentam mais afastados da reta de regressão podem indicar zonas onde o solo pode ter sido completamente preenchido com água, mas após esses eventos não ocorreu drenagem dessa água, sendo estes distintos na segunda parte do **Gráfico 15**.

Sanches *et al.* (2018) afirmam ser possível obter mapas de distribuição espacial de argila, recorrendo à Eca, através de sonda com uma precisão aceitável ($R = 0.82$), onde também concluem que os resultados de 20 pontos amostrais se apresentaram muito idênticos com os resultados de 204 pontos amostrais. No presente trabalho, o coeficiente de correlação apresentou-se menor na **Tabela 20**, no início deste ponto, ($r=0.58$), embora, nas datas de 6-12-2020 e 07-01-2020, os coeficientes de determinação tenham sido adequados ($R^2 = 0.70$, $R^2 = 0.51$, respetivamente). Constatando-se que estas datas correspondem a períodos distanciados de duas semanas de ocorrência de precipitação maiores que 6 mm, é legítimo considerar que durante este período ocorreram condições que permitem maior fiabilidade de recolha de dados e uma possível zonificação.

Uma técnica que pode substituir o TDR perante as medições da humidade do solo cobrindo maiores áreas é o *Ground Penetrating Radar* (GPR), utilizando a permissividade dielétrica, preenchendo a lacuna entre as medidas num ponto com TDR e a grande resolução espacial dos satélites de observação da terra, visto que os resultados obtidos em laboratório indicam que a densidade aparente do solo influencia a medição do VWC (Anbazhagan *et al.*, 2020).

5.3 Comparação entre resultados

Em resumo, na **Tabela 22**, **Tabela 23** e **Tabela 24**, são apresentados os valores do coeficiente de correlação de *Pearson* com os respetivos *p-value*.

Tabela 22 - Tabela resumo dos testes de correlação entre textura e imagens de satélite

	Argila	p-value	Limo	p-value	Areia	p-value
<i>Clay Ratio</i>	-0.44	0.02	-0.32	0.08	0.02	0.92
VV	0.50	0.00	0.49	0.01	-0.52	0.00
VH	0.07	0.70	0.10	0.59	-0.09	0.65

Tabela 23 - Tabela resumo dos testes de correlação entre parâmetros do solo e imagens de satélite

	Eca	p-value	VWC	p-value
<i>Clay Ratio</i>	-0.47	0.01	-0.22	0.24
VV	0.71	0.00	0.83	0.00
VH	-0.05	0.78	0.26	0.16

Tabela 24 - Tabela resumo dos testes de correlação entre parâmetros do solo e textura

	Eca	p-value	VWC	p-value
Argila	0.61	0.00	0.66	0.00
Limo	0.52	0.00	0.63	0.00
Areia	-0.59	0.00	-0.67	0.00

Após observação destas tabelas, pode-se concluir que o método que mais se correlaciona com a textura do solo é o uso de sensores próximos ($0.52 < R < 0.61$), mas, no entanto, o uso de imagem de radar também se aproxima dessa correlação, mais concretamente a polarização VV ($0.49 < R < 0.52$). No caso do índice *Clay Ratio*, só é possível correlacionar classes de partículas de menores dimensões, reduzindo a sua utilidade ($0.02 < R < 0.44$). Já para a polarização VH, não se observou uma correlação entre esta e a textura do solo ($0.07 < R < 0.10$).

Para os parâmetros do solo, o uso de imagens de radar da polarização VV foi aquele que apresentou uma correlação mais forte tanto para a Eca, como para o VWC ($R=0.71$ e $R=0.83$). Para o índice *Clay Ratio*, a correlação entre a Eca foi moderada negativa ($R = -0.47$) e não ocorreu uma correlação fiável entre os seus valores e o VWC ($R=0.22$; $p\text{-value}=0.24$). A polarização VH não mostrou nenhuma relação com os parâmetros do solo, No **ANEXO XII** e **ANEXO VII**, são apresentados os testes de correlação entre o valor médio das recolhas em cada ponto para cada parâmetro (Eca e VWC) com os respetivos valores de cada ponto nas imagens de satélite, estando estes resumidos na **Tabela 23**.

Atendendo a que, ao longo do tempo, as condições no local de ensaio e no seu meio envolvente foram sendo modificadas, procurou-se avaliar a qualidade de cada método de análise das condições do solo. Estas modificações ocorreram principalmente devido aos fenómenos de precipitação registados durante a primeira metade deste ensaio, aumentando a humidade no solo e nos resíduos. Na segunda metade do ensaio, observou-se um período sem fenómenos de precipitação, durante o qual os níveis de humidade foram gradualmente baixando.

Os resíduos deixados pela cultura apresentaram, igualmente, uma redução gradual. Ao longo do tempo, o solo apresentou uma rugosidade maior, efeito provocado pelo pisoteio do gado, e um maior aumento da flora espontânea que serviu de alimento para os animais.

Outro aspeto importante a ter em linha de conta foi o pastoreio de gado no local de ensaio, o qual depositava os seus excrementos e os mesmos iam sendo, gradualmente, incorporados no solo. Ora, Altdorff *et al.* (2018), indicam que modelos que estimam a Eca e o teor de água do solo apresentam menores variações e melhor predição em áreas onde não ocorre aplicação de estrume. Perante os benefícios que a incorporação de matéria orgânica fornece ao solo, como diminuição da densidade aparente, maior arejamento, mais nutrientes e melhor retenção de humidade, é possível a ocorrência desta situação, sendo de esperar uma leitura da Eca menos precisa.

A humidade do solo pode ser influenciada pela altura do lençol freático apresentando grandes oscilações nos valores do teor de água do solo (Hedley *et al.*, 2013). Identificaram-se locais, nos pontos de amostragem, onde o lençol freático chegava à superfície, podendo ser responsáveis pela ocorrência de algumas zonas de textura muito arenosa que apresentaram um teor de água da mesma grandeza que outros de textura mais argilosa.

Nos gráficos que comparam o VWC com a textura do solo, **ANEXO XIX**, é possível observar que os dados recolhidos a 06-12-2020 apresentaram um coeficiente de determinação de $R^2 = 0.72$ e $R^2 = 0.74$ para a argila e a areia, respetivamente, sendo a altura de água acumulada, proveniente da precipitação, inferior a 60mm, como consta no

Gráfico 16:

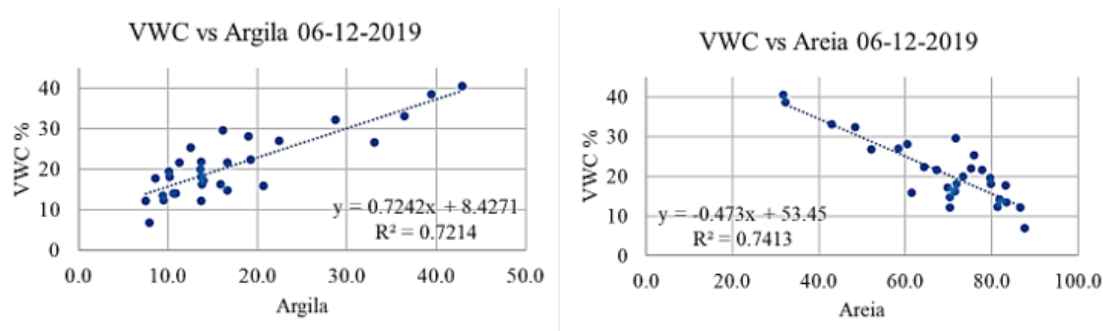


Gráfico 16 - Comportamento do VWC perante duas texturas no início do ensaio

Os dados realizados após dessa data apresentam uma altura de água superior a 110 mm e maior variação nas zonas arenosas, apurando-se um coeficiente de determinação inferior nessas datas como se observa no **Gráfico 17**.

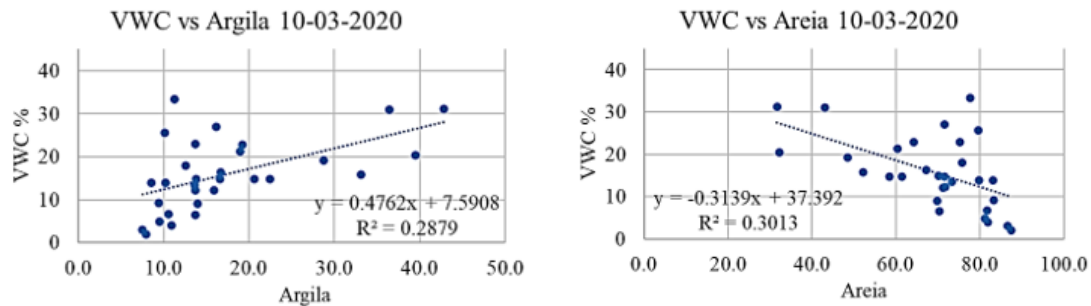


Gráfico 17 - Comportamento do VWC perante duas texturas no final do ensaio

Desta forma, o período mais indicado para se realizar este tipo de medição situar-se-á após as primeiras chuvas, antes de ocorrer a saturação do solo.

Pedrerá-Parrilla *et al.* (2017) indicam que os padrões espaciais do teor de água e da Eca apresentam estabilidade temporal e, deste modo, fornecem a identificação de locais de gestão das condições do teor de água no solo, com potenciais utilizações agronómicas como, por exemplo, na rega.

Comparando os valores do índice de *Clay Ratio* com os dados recolhidos no local com TDR, como é apresentado no ANEXO XXI não é fidedigno criar uma relação com os dados apresentados ($R^2 \leq 0.02$), onde se resume esta situação no **Gráfico 18**:

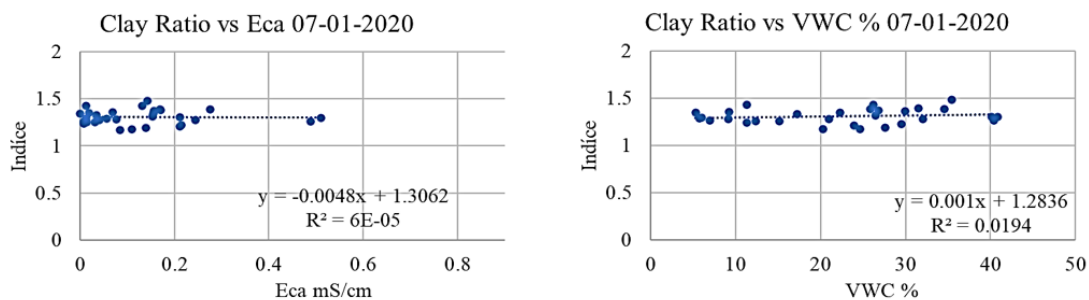


Gráfico 18 - Relação entre o índice *Clay Ratio* e os parâmetros do solo

Tal cenário já se afigurava expectável atendendo a que, no início do ensaio, as condições para o uso do índice de *Clay Ratio* não se apresentaram favoráveis, ocorrendo o mesmo com os dados fornecidos pelo equipamento TDR no final do ensaio. Desta forma, podemos concluir que o índice *Clay Ratio* não é um bom indicador das variações temporais dos parâmetros do solo, nestas condições.

Seguindo o ANEXO XXIII, resumido no **Gráfico 19**:

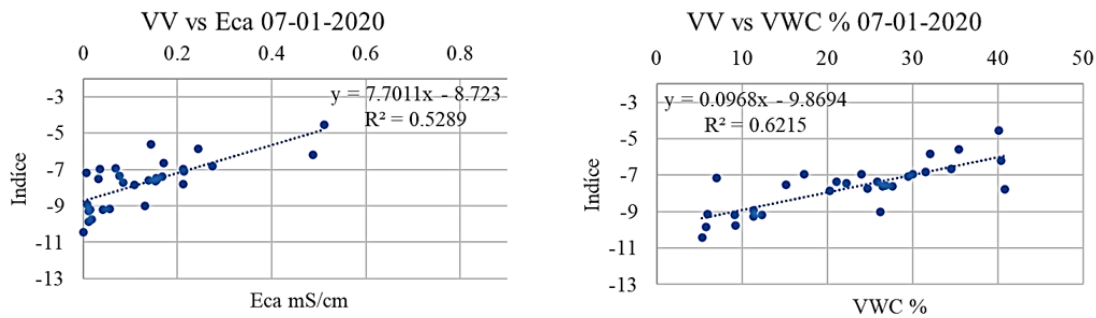


Gráfico 19 - Relação entre a polarização VV e os parâmetros do solo

observando a relação da polarização VV com a Eca e VWC, o coeficiente de determinação apresentou uma variação de 0.06 até 0.52 para a Eca e uma variação de 0.07 até 0.62 para o VWC, comportando-se de igual forma que os dados do equipamento TDR quando comparado com a textura do solo. Também perante a força de correlação deste índice com os dados recolhidos com TDR como é apresentado na **Tabela 23** para a Eca e VWC ($R = 0.70$, $R = 0.82$, respetivamente), obtém-se uma indicação que este tipo de sensores remotos pode tornar-se uma substituição dos sensores próximos, em especial, no que se refere ao VWC. Estes dados quando comparados durante períodos de diferente regime hidrológico, tornam possível identificar zonas de menor escoamento de água através de manchas de maior reflexão desta polarização, e desta forma planear uma gestão de rega diferenciada, permitindo evitar o encharcamento do solo, beneficiando as culturas e economizando água.

As relações entre a polarização VH com os parâmetros do solo, perante o **ANEXO XXV**, são de correlação desprezível tanto para a Eca ($R^2 \leq 0.07$) como para o VWC ($R^2 \leq 0.1$), tal pode ser observado no **Gráfico 20**:

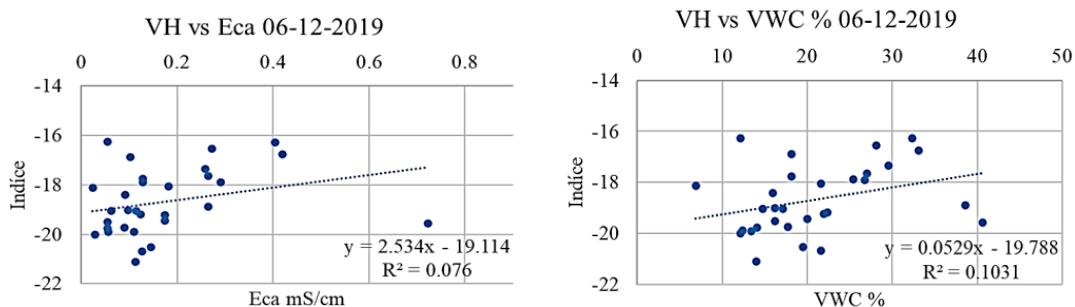


Gráfico 20 - Relação entre a polarização VH e os parâmetros do solo

Comparando estas observações com as de Zheng *et al.* (2014) onde indicam, que a presença de humidade no solo sobrestimou as suas medições de resíduos à superfície do

solo e que os dados SAR do trabalho que levaram a cabo se apresentaram sensíveis às condições do solo (humidade e rugosidade), assim como o coeficiente de retrodifusão para com os resíduos do solo, mais especificamente os comprimentos de onda das bandas X e C, onde salientam que existe uma probabilidade de confusão entre superfícies muito mobilizadas e grandes quantidades de resíduos.

Outro exercício que se nos afigura importante é a comparação dos resultados deste estudo com os resultados fornecidos pelo trabalho de Domenech *et al.* (2020), o qual foi realizado utilizando a banda C-Radar e sensores que medem a Eca do solo, para prever as características do solo, durante o ciclo cultural de culturas de primavera-verão e durante a época de pousio. Os parâmetros estatísticos que utilizaram foram o coeficiente de determinação e a Soma de Quadrados Totais usando como método de decisão a *Random Forest*. As conclusões que obtiveram deste estudo foram que os índices de VV e VH, por esta ordem, foram os dados de SAR que apresentaram melhores condições de previsão para a profundidade do solo, teor de limo e teor de argila em condições de solo com cobertura, mas também sem cobertura. Também notaram que os índices VV e VH são maioritariamente afetados pelas variações nas propriedades do solo, que dependem das variações do teor de água no solo e da sua rugosidade, tal como é observado no presente trabalho.

Outra conclusão a retirar destes autores foi a de que existe uma maior fiabilidade na predição das características do solo com a banda C-radar no período inicial do ciclo cultural das culturas utilizadas, associando este resultado ao menor tamanho da vegetação e à pequena dimensão das folhas. Não obstante, não é possível analisar de forma comparativa esta situação com o presente trabalho. Ainda assim, mencionar que os autores observaram valores de previsão diferentes para resíduos de culturas diferentes, durante o período de pousio.

Em ambos os trabalhos foram observadas datas onde o coeficiente de determinação foi elevado, em especial para o índice VV, tanto durante o ciclo cultural, como durante o pousio. Contudo, estes autores indicam que os resultados mais precisos foram obtidos durante o ciclo cultural e registam que, durante o pousio, foram detetadas zonas com excesso de água no período do inverno.

5.4 Classificação por classes texturais

Realizando uma correlação individual por cada ponto entre os valores da imagem de satélite e os dados recolhidos por TDR da Eca e do VWC durante o período de ensaio, obteve-se vários valores de intensidade de relação. As tabelas de correlação referentes ao índice Clay Ratio com a Eca e VWC encontram-se no **ANEXO XXXV** e **ANEXO XXXVI**. As tabelas de correlação para os mesmos parâmetros do solo com a polarização VV estão remetidas para o **ANEXO XXXI** e **ANEXO XXXII**. Por fim, as tabelas de correlação entre os parâmetros e a polarização VH remetem-se no **ANEXO XXXIII** e **ANEXO XXXIV**.

Após os procedimentos de estatística descritiva já enumerados no ponto **3.8** deste trabalho, realizaram-se os testes de associação de variáveis categóricas que se encontram no **ANEXO X**, **ANEXO XIII** e **ANEXO XVI**. Nos testes assimétricos, as medidas “nominal por nominal” fornecem o nível de associação pelo V de *Crammer*.

Relativamente às medidas de simetria, no caso do índice *Clay Ratio* (**ANEXO X**), os testes indicam uma associação relativamente forte ($V=0.547$), mas com um valor de significância que não permite afirmar que estas associações são verdadeiras ($p\text{-value}=0.83$). No que se refere às medidas de simetria dos valores da polarização VH (**ANEXO XIII**), os testes indicam que a associação entre a textura e a intensidade da correlação é moderada ($V=0.39$) com um $p\text{-value}$ de 0.02. Relativamente à associação entre a correlação da polarização VV e a textura, as medidas de simetria (**ANEXO XVI**) permitem afirmar que existe uma associação forte ($V=0.62$) com um bom nível de significância ($p\text{-value}=0$).

Como é possível observar nas tabelas de contingência, a maioria das amostras apresenta textura franco-arenosa (20 em 30), sendo este número muito maior em relação a outras texturas. Para estudos futuros, seria interessante aumentar o número e variedade de amostras de forma a procurar uma relação mais precisa, caso exista. A ocorrer esta relação, seria proveitoso para técnicas de *machine learning*, onde, de uma forma automática se conseguia criar uma cartografia de solo, ou se possível, ser um apoio para tal.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O satélite Sentinel-1 apresenta uma forte correlação positiva com o teor de água do solo através da polarização VV. Neste aspeto a polarização VH e o índice *Clay Ratio* obtido do satélite Sentinel-2 não se apresentaram com boa correlação.

Para discriminar a textura do solo, a polarização VV foi a que apresentou melhor correlação, sendo esta de intensidade idêntica à correlação obtida através da Eca do TDR. Com intensidade de correlação inferior, o índice *Clay Ratio* também se mostrou útil para distinguir texturas grosseiras de texturas finas.

O índice *Clay Ratio* não se apresentou tão fiável em condições de solo coberto com resíduos.

A polarização VV aparenta conseguir identificar zonas com excesso de humidade num terreno agrícola durante o período húmido, onde, desta forma, fornece informações do comportamento do solo, sendo possível gerir a rega de culturas de forma diferenciada perante as condições do local.

O recurso a equipamento TDR mostrou-se eficiente para identificar diferenças significativas numa parcela agrícola, contudo, tem associado ao seu uso a aquisição do material e deslocações para e no local. Uma integração desta tecnologia com imagens de satélite poderá simplificar a aquisição de dados, para posteriores tomadas de decisão.

A polarização VH não se demonstrou prática perante o tema abordado.

Em trabalhos posteriores é recomendado uma maior variação nos tipos de textura a avaliar, assim como, comparar o desempenho destes sensores remotos entre zonas desprovidas de cobertura ou com cobertura.

Aumentar o período de recolha de dados pode também ser importante na identificação dos melhores períodos ou condições para cada uma destes métodos.

7. BIBLIOGRAFIA

- Aarthi, R., & Sivakumar, D. (2020). An Enhanced Agricultural Data Mining Technique for Dynamic Soil Texture Prediction. *Procedia Computer Science*, 171, 2770-2778. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.04.301>
- Adiri, Z., Lhissou, R., Harti, A., Jellouli, A., & Chakouri, M. (2020). Recent advances in the use of public domain satellite imagery for mineral exploration: A review of Landsat-8 and Sentinel-2 applications. *Ore Geology Reviews*. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103332>
- Aghda, F. S., Ganjalipour, K., & Nabiollahi, K. (Março de 2018). Comparison of performance of inclinometer casing and TDR technique. *Journal of Applied Geophysics*, 150, 182-194. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2018.01.022>
- agromap.agroinsider360*. (24 de julho de 2020). Obtido de Agroinsider: <https://agromap.agroinsider360.com/map/34/808>
- Altdorff, D., Galagedara, L., Nadeem, M., Cheema, M., & Unc, A. (2018). Effect of agronomic treatments on the accuracy of soil moisture mapping by electromagnetic induction. *CATENA*, 164, 96-106. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.12.036>
- Ambrosone, M., Matese, A., Filippo, S., Gennaro, D., Gioli, B., Tudoroiu, M., . . . Toscano, P. (March de 2020). Geoinformation Retrieving soil moisture in rainfed and irrigated fields using Sentinel-2 observations and a modified OPTRAM approach. *Int J Appl Earth Obs Geoinformation*, 89, 102-113. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102113>
- Amigo, J. M., & Santos, C. (2020). Preprocessing of hyperspectral and multispectral images. Em J. M. Amigo, *Data Handling in Science and Technology* (Vol. 32, pp. 37-53). Elsevier. Obtido de <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63977-6.00003-1>.
- Anbazhagan, P., Bittelli, M., Pallepati, R. R., & Mahajan, P. (2020). Comparison of soil water content estimation equations using ground penetrating radar. *Journal of Hydrology*, 588. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125039>

- Andrade, J., & Basch, G. (2012). Clima e estado do tempo. Fatores e Elementos do clima. Classificação do clima. Em S. Shahidian, R. C. Guimarães, & C. M. Rodrigues, *Hidrologia Agrícola* (pp. 23-24). Évora: Publidisa.
- Baghdadi, N., & Zribi, M. (2016). Radiometric content of SAR images. Em B. & Nicolas, *Microwave Remote Sensing of Land Surfaces* (pp. 1-65). ISTE Press - Elsevier. doi:<https://doi.org/10.1016/C2016-0-00232-2>
- Barnes, A., Soto, I., V. Eory, B. B., Balafoutis, A., Sánchez, B., Vangeyte, J., . . . Gómez-Barbero, M. (2019). Exploring the adoption of precision agricultural technologies: A cross regional study of EU farmers. *Land Use Policy*, 80, 163-174. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.10.004>.
- Benedetto, D De; Castrignanò, A; Rinaldi, M; Ruggieri, S; Santoro, F; Figorito, B; Gualano, S; Diacono, M; Tamborrino, R. (2013). An approach for delineating homogeneous zones by using multi-sensor data. *Geoderma*, 199, 117-127. Obtido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.08.028>
- Bier, V. A., & Godoy de Souza, E. (2017). Interpolation selection index for delineation of thematic maps. *Computers and Electronics in Agriculture*, 136, pp. 202-209. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.03.008>.
- Bishop, J., Bell-III, J., & Moersch, & J. (2019). Visible and Near-Infrared Reflectance Spectroscopy: Laboratory Spectra of Geologic Materials. (J. Bishop, Ed.) *Remote Compositional Analysis: Techniques for Understanding Spectroscopy, Mineralogy, and Geochemistry of Planetary Surfaces*, pp. 68-101. doi:doi:10.1017/9781316888872.006
- Bishop, T., & McBratney, A. (2001). A comparison of prediction methods for the creation of field-extent soil property maps. *Geoderma*, 103(1-2), 149-160. Obtido de [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(01\)00074-X](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(01)00074-X)
- Botelho da Costa, J. V. (2011). *Caracterização e Constituição do Solo* (8ª ed.). Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Botelho da Costa, J. V. (2011). *Caracterização e Constituição do Solo* (8ª ed.). Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

- Bourbigot, M. (25 de 03 de 2016). *Sentinel-1 Product Definition*. Obtido de sentinel.esa.int: <https://sentinel.esa.int/documents/247904/1877131/Sentinel-1-Product-Definition>
- Bousbih, S., Zribi, M., Pelletier, C., Gorrab, A., Lili-Chabaane, Z., Baghdadi, N., . . . Mougenot, B. (2019). Soil Texture Estimation Using Radar and Optical Data from Sentinel-1 and Sentinel-2. *Remote Sensing*, *11*, 20. doi:10.3390/rs11131520
- Bowitz, J., & Ehling, A. (2008). Non-destructive infrared analyses: A method for provenance analyses of sandstones. *Environmental Geology*, *56*, 623-630. doi:10.1007/s00254-008-1361-6
- C. Gomez, K. Adeline, S. Bacha, B. Driessen, N. Gorretta, P. Lagacherie, . . . X. Briottet. (2018). Sensitivity of clay content prediction to spectral configuration of VNIR/SWIR imaging data, from multispectral to hyperspectral scenarios. *Remote Sensing of Environment*, *204*, 18-30. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.10.047>.
- Cai, Y., Li, X., Zhang, M., & Lin, H. (2020). Mapping wetland using the object-based stacked generalization method based on multi-temporal optical and SAR data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *92*. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102164>
- Chen, K.-S. (2016). SAR Models. Em K.-S. Chen, *Principles of Synthetic Aperture Radar Imaging - A System Simulation Approach* (p. 20). Boca Raton, New York: Taylor & Francis Group, LLC.
- Chi, Y., Sun, J., Fu, Z., & Xie, Z. (2020). Which factor determines the spatial variance of soil fertility on uninhabited islands? *Geoderma*, *374*. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114445>
- Chung, C., Lin, C., Yang, S., Lin, J., & Lin, C. (Março de 2019). Investigation of non-unique relationship between soil electrical conductivity and water content due to drying-wetting rate using TDR. *Engineering Geology*, *252*, 54-64. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.02.025>
- Cohen, J. (1998). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Lawrence Erlbaum Associates.

- Conceição, M. A., & Mandelli, F. (10 de 05 de 2005). Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência em Bento Gonçalves, RS. *13*(2), pp. 123-127.
- Córdoba, A. M., Bruno, C. I., Costa, J. L., Peralta, N. R., & Balzarini, M. G. (2016). Protocol for multivariate homogeneous zone delineation in precision agriculture. *Biosystems Engineering*, *143*, pp. 95-107. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.12.008>
- Corwin, D. L., Lesch, S. M., Segal, E., Skaggs, T. H., & Bradford, S. A. (2010). Comparison of Sampling Strategies for Characterizing Spatial Variability with Apparent Soil Electrical Conductivity Directed Soil Sampling. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, *15*(3), 93-202.
- Cristi, F., Fierro, V., Suárez, F., Muñoz, J. F., & Hausner, M. B. (Fevereiro de 2016). Computers and Electronics in Agriculture. *A TDR-waveform approach to estimate soil water content in electrically conductive soils*, *121*, pp. 160-168. doi:doi.org/10.1016/j.compag.2015.12.004.
- De Clercq, M., Vats, A., & Biel, A. (Fevereiro de 2018). *Agriculture 4.0: The Future of Farming Technology*. World Government Summit. Obtido em 15 de 03 de 2020, de <https://www.mmc.com/content/dam/mmc-web/insights/publications/2018/november/agriculture-4-0/Oliver-Wyman-Agriculture-4.0.pdf>
- Demattê, J. A., Moreti, C. D., & Vasconcelos, A. F. (julho de 2005). Uso de imagens de satélite na discriminação de solos desenvolvidos de basalto e arenito na região de Paraguaçu Paulista. (P. A. Brasileira, Ed.) *40*(7), pp. 697-706.
- Dicionário de mineralogia e geologia ilustrado*. (n.d.). Lisboa: FORMAR - Edições para o ensino e cultura, Lda.
- Domenech, M. B., Amiotti, N. M., Costa, J. L., & Castro-Franco, M. (2020). Prediction of topsoil properties at field-scale by using C-band SAR data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *93*. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102197>
- El Hajj, M., Baghdadi, N., Zribi, M., & Bazzi, H. (2017). Synergic Use of Sentinel-1 and Sentinel-2 Images for Operational Soil Moisture Mapping at High Spatial

- Resolution over Agricultural Areas. *Remote sensing*, 9, 12. Obtido de <https://doi.org/10.3390/rs9121292>
- Emery, W., & Camps, A. (2017). Chapter 4 - Microwave Radiometry. Em W. Emery, & A. Camps, *Introduction to Satellite Remote Sensing* (pp. 131-290). Elsevier. Obtido de <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809254-5.00004-X>
- European Space Agency. (March de 2012). Sentinel-1: ESA's Radar Observatory Mission for GMES Operational Services. (K. Fletcher, Ed.)
- Evans. (20 de 04 de 2020). *USGS EROS Archive - Radar - Synthetic Aperture Radar (SAR) Processing System*. Obtido de USGS - Science for a Changing World: https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-radar-synthetic-aperture-radar-sar-processing-system?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects
- Farias Araújo, W. &. (2007). Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ETO) PARA. *Revista Caatinga*, 20, 84-88.
- Ferro-Famil, L., & Pottier, E. (2017). Synthetic Aperture Radar Imaging: Techniques and Methods. Em N. Baghdadi, & M. Zribi, *Microwave Remote Sensing of Land Surface* (pp. 1-65). Obtido de <https://doi.org/10.1016/C2016-0-00232-2>
- (2019). *Fertilisers in the EU Prices, trade and use*. European Commission, DG Agriculture and Rural Development, Bruxelas. Obtido em 18 de Março de 2020, de https://ec.europa.eu/info/news/drop-fertiliser-use-slows-down-precision-farming-offers-possibilities-further-reductions-2019-jul-01_en
- Fitterman, D. (2015). 11.10 - Tools and Techniques: Active-Source Electromagnetic Methods. Em G. Schubert, *Treatise on Geophysics (Second Edition)* (pp. 295-333). Elsevier. Obtido de <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53802-4.00193-7>.
- Forest-gis*. (14 de fevereiro de 2018). Obtido em 13 de julho de 2020, de <http://forest-gis.com/2018/02/poligonos-de-thiessen-como-gerar-e-para-que-utiliza-los.html/>
- Galarça, S. P. (Agosto de 2010). Correlação de Pearson e análise de trilha identificando variáveis para caracterizar porta-enxerto de *Pyrus communis* L. *Ciênc. agrotec.*, 34(4), 860-869.

- Gherboudj, I., Magagi, R., Berg, A. A., & Toth, B. (2011). Soil moisture retrieval over agricultural fields from multi-polarized and multi-angular RADARSAT-2 SAR data. *Remote Sensing of Environment*, 115(1), 33-43. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.07.011>
- Gomez, C., & Coulouma, G. (2018). Importance of the spatial extent for using soil properties estimated by laboratory VNIR/SWIR spectroscopy: Examples of the clay and calcium carbonate content. *Geoderma*, 330, 244-253. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.06.006>
- Gomez, C., Adeline, K., Bacha, S., Driessen, B., Gorretta, N., Lagacherie, P., . . . Briottet, X. (2018). Sensitivity of clay content prediction to spectral configuration of VNIR/SWIR imaging data, from multispectral to hyperspectral scenarios. *Remote Sensing of Environment*, 204, 18-30. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.10.047>
- Groenendyk, D., Ferré, T., Thorp, K., & Rice, A. (2015). Hydrologic-Process-Based Soil Texture Classifications for Improved Visualization of Landscape Function. doi:10.1371/journal.pone.0131299
- Gurav, M. e. (Novembro de 2018). IITB_TDR: A portable TDR system with DWT based denoising for soil moisture measurement. *Sensors and Actuators A: Physical*, pp. 317-329. doi:<https://doi.org/10.1016/j.sna.2018.09.065>
- Guzinski, R., & Nieto, H. (2019). Remote Sensing of Environment Evaluating the feasibility of using Sentinel-2 and Sentinel-3 satellites for high-resolution evapotranspiration estimations. *Remote Sensing of Environment*, 221, 157-172. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.11.019>
- Hedley, C., Roudier, P., Yule, I., Ekanayake, J., & Bradbury, S. (2013). Soil water status and water table depth modelling using electromagnetic surveys for precision irrigation scheduling. *Geoderma*, 199, 22-29. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.07.018>
- Helfer, G. A., Barbosa, J. L., Santos, R. d., & Costa, A. B. (2020). A computational model for soil fertility prediction in ubiquitous agriculture,. *Computers and Electronics in Agriculture*, 175. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105602>

- Holah, N., Baghdadi, N., Zribi, M., Bruand, A., & King, C. (2005). Potential of ASAR / ENVISAT for the characterization of soil surface parameters over bare agricultural fields. *Remote Sensing of Environment*, 96, 78-86. doi:10.1016/j.rse.2005.01.008
- Huang, J., Hartemink, A. E., Arriaga, F., & Chaney, N. W. (2019). Unraveling location-specific and time-dependent interactions between soil water content and environmental factors in cropped sandy soils using Sentinel-1 and moisture probes. *Journal of Hydrology*, 575, 780-793. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.075>
- IBM Knowledge Center. (28 de 05 de 2020). Obtido de https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/SSEP7J_11.1.0/com.ibm.swg.ba.cognos.ug_ca_dshb.doc/cramersv.html
- Jiang, Z.-Y., Li, X.-Y., Wu, H.-W., Xiao, X., Chen, H.-Y., & Wei, J.-Q. (2016). Using electromagnetic induction method to reveal dynamics of soil water and salt during continual rainfall events. *Biosystems Engineering*, 152, 3-13. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.03.011>.
- Kargas, G., & Soulis, K. X. (2019). Performance evaluation of a recently developed soil water content, dielectric permittivity, and bulk electrical conductivity electromagnetic sensor. *Agricultural Water Management*, 213, 568-579. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.11.002>
- Kassaye, K. T., Boulange, J., Lam, V. T., Saito, H., & Watanabe, H. (2020). Monitoring soil water content for decision supporting in agricultural water management based on critical threshold values adopted for Andosol in the temperate monsoon climate. *Agricultural Water Management*, 229. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105930>
- Khanna, A., & Kaur, S. (February de 2019). Evolution of Internet of Things (IoT) and its significant impact in the field of Precision Agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 157, 218-231. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.039>
- Kong, Q., Kuriyan, K., Shah, N., & Guo, M. (5 de December de 2019). Development of a responsive optimisation framework for decision-making in precision

- agriculture. *Computers & Chemical Engineering*, 131. Obtido em 18 de 03 de 2020, de <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2019.106585>
- Kotrlik, J. W., Williams, H. A., & Jabor, M. K. (2011). Reporting and Interpreting Effect Size in Quantitative Agricultural Education Research. *Journal of Agricultural Education*, Volume 52(1), 138. doi:10.5032/jae.2011.01132
- Laureano, R. M., & Botelho, M. d. (2012). *SPSS - O Meu Manual de Consulta Rápida* (2ª ed.). Lisboa, Portugal: Edições Sílabo.
- Leones Bazzi, C., Godoy de Souza, E., Schenatto, K., Betzek, N. M., & Gavioli, A. (2019). A software for the delineation of crop management zones (SDUM). *Australian Journal of Crop Science*, 13(01), 26-34. doi:10.21475/ajcs.19.13.01.p1026
- Li, J., Wan, H., & Shang, S. (2020). Comparison of interpolation methods for mapping layered soil particle-size fractions and texture in an arid oasis. *CATENA*, 190. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104514>
- Liu, J., Pattey, E., Nolin, M. C., Miller, J. R., & Ka, O. (2008). Mapping within-field soil drainage using remote sensing, DEM and apparent soil electrical conductivity. *Geoderma*, 143(3-4), 261-272. doi:<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.11.011>.
- Loiseau, T., Chen, S., Mulder, V., Dobarco, M. R., Richer-de-Forges, A., Lehmann, S., . . . Arrouays, D. (2019). Satellite data integration for soil clay content modelling at a national scale. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 82. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.101905>
- Lund, E. D., Christy, C. D., & Drummon, P. E. (1999). Practical applications of soil electrical conductivity. *Proceedings of the 2nd European Conference on Precision Agriculture*, (pp. 1-9).
- Ma, C., Li, X., & McCabe, M. (2020). Retrieval of High-Resolution Soil Moisture through Combination of Sentinel-1 and Sentinel-2 Data. *Remote Sensing*. Obtido de <https://doi.org/10.3390/rs12142303>

- Ma, Y., Qu, L., Wang, W., Yang, X., & Lei, T. (2016). Measuring soil water content through volume/mass replacement using a constant volume container. *Geoderma*, 42-49. doi:<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.02.003>
- Mahaluça, F. A. (2019). CORRELAÇÃO E REGRESSÃO LINEAR. Obtido de [https://www.researchgate.net/publication/330556342_Correlação e Regressão Linear](https://www.researchgate.net/publication/330556342_Correlação_e_Regressão_Linear)
- Marciano, A. G., Barbosa, A. A., & Silva, A. P. (2018). Cálculo de precipitação média utilizando método de Thiessen e as linhas de cumeada. *Revista Ambiente & Água*, 13(1). Obtido de <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1906>
- Martins, E. (2018). Coeficiente de determinação. *Revista Ciência Elementar*, 6(01).
- Méndez-Vázquez, L. J., Lira-Noriega, A., Lasa-Covarrubias, R., & Cerdeira-Estrada, S. (2019). Delineation of site-specific management zones for pest control purposes: Exploring precision agriculture and species distribution modeling approaches. *Computers and Electronics in Agriculture*, 167. doi:10.1016/j.compag.2019.105101
- Miller, B. A. (2017). Geographic Information Systems and Spatial Statistics Applied for Soil Mapping: A Contribution to Land Use Management. Em P. Pereira, M. Muñoz-Rojas, E. C. Brevik, & B. A. Miller, *Soil Mapping and Process Modeling for Sustainable Land Use Management* (pp. 127-149).
- Miller, W. P., & Miller, D. M. (1987). A micro-pipette method for soil mechanical analysis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 18(1), 1-15. doi:10.1080/00103628709367799
- Mohammad-Djafari, A., & Knuth, K. (2010). Bayesian approaches. Em C. J. P. Comon, *Handbook of Blind Source Separation* (pp. 467-513). Academic Press. Obtido de <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374726-6.00017-5>.
- Molina Jr, W. F. (2017). Solo: Meio de Produção Agrícola, Pecuária e Florestal. Em W. F. Molina Jr, *Comportamento Mecânico do Solo em Operações Agrícolas* (p. 47). Piracicaba - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz": Edição do Autor. doi:10.11606/9788592238407

- n.d. (16 de Abril de 2020). Obtido de ESA: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>
- n.d. (16 de Abril de 2020). Obtido de ESA: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/spatial>
- n.d. (s.d.). ESA. Obtido em 21 de abril de 2020, de What is Polarization: https://earth.esa.int/documents/653194/656796/What_Is_Polarization.pdf
- Nawar, S., Corstanje, R., Halcro, G., Mulla, D., & Mouazen, A. M. (2017). Chapter Four - Delineation of Soil Management Zones for Variable-Rate Fertilization: A Review. *Advances in Agronomy*, 143, 175-245. Obtido de <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.01.003>
- Oberoi, A. (28 de 12 de 2019). Multiple Linear Regression-Beginner's Guide. Obtido de <https://towardsdatascience.com/multiple-linear-regression-beginners-guide-5b602d716aa3>
- Oechaiyaphum, K., Ullah, H., Shrestha, R. P., & Datta, A. (2020). Impact of long-term agricultural management practices on soil organic carbon and soil fertility of paddy fields in Northeastern Thailand. *Geoderma Regional*, Volume 22. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00307>.
- Oliveira, F. H., Arruda, J. A., Silva, I. F., & Alves, J. (2007). Amostragem para avaliação da fertilidade do solo em função do instrumento de coleta das amostras e de tipos de preparo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, pp. v.31, p.973-983.
- Pantazi, X. E., Moshou, D., & Bochtis, D. (2020). Tutorial I: Weed detection. Em X. E. Pantazi, D. Moshou, & D. Bochtis, *Intelligent Data Mining and Fusion Systems in Agriculture* (pp. 175-197). Academic Press. Obtido de <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814391-9.00004-2>.
- Pedrera-Parrilla, A., Pachepsky, Y. A., Taguas, E. V., Martos-Rosillo, S., Giráldez, J. V., & Vanderlinden, K. (2017). Concurrent temporal stability of the apparent electrical conductivity and soil water content. *Journal of Hydrology*, 544, 319-326. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.10.017>

- Peralta, N. R., & Costa, J. L. (November de 2013). Delineation of management zones with soil apparent electrical conductivity to improve nutrient management. *Computers and Electronics in Agriculture*, 218-226. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.09.014>
- Raziei, T., & Pereira, L. S. (2013). Estimation of ETo with Hargreaves–Samani and FAO-PM temperature methods. *Agricultural Water Management*, 121, 2. Obtido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2012.12.019>
- Rea, L. M., & Parker, R. A. (1992). *Designing and conducting survey research*. San Francisco: CA: Jossey–Bass.
- Reddy, P. P. (2017). Precision Agriculture [Resume]. Em *Agro-ecological Approaches to Pest Management for Sustainable Agriculture*. Springer Singapore. doi:10.1007/978-981-10-4325-3
- Rojas, J. P., & Sheffield, R. E. (2013). Evaluation of Daily Reference Evapotranspiration Methods as Compared with the ASCE-EWRI Penman-Monteith Equation Using Limited Weather Data in Northeast Louisiana. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 139(4). Obtido de [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000523](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000523)
- Sá, J. A., Gama, F. F., Queiroz, G. R., Vinhas, L., & Rocha, B. R. (2018). Identificação de Bancos de Areia Situados na Região da. *Proceedings XIX GEOINFO*, (pp. 164-169). Campina Grande, PB, Brazil.
- Sadeghi, M., Babaeian, E., Tuller, M., & Jones, S. B. (2017). The optical trapezoid model: A novel approach to remote sensing of soil moisture applied to Sentinel-2 and Landsat-8 observations. *Remote Sensing of Environment*, 198, 52-68. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.05.041>.
- Samani, Z. (2000). Estimating Solar Radiation and Evapotranspiration Using Minimum Climatological Data (Hargreaves-Samani equation). *Journal of irrigation and drainage engineering*, 4.
- Sampaio, E. P. (2006). *MINERALOGIA DO SOLO*. Universidade de Évora, Departamento de Geociências , Évora. Obtido de [dgeo.uevora.pt: http://home.dgeo.uevora.pt/~ems/files/Anexo%20B-03.pdf](http://home.dgeo.uevora.pt/~ems/files/Anexo%20B-03.pdf)

- Sanches, G. M., Magalhães, P. S., Remacre, A. Z., & Franco, H. C. (2018). Potential of apparent soil electrical conductivity to describe the soil pH and improve lime application in a clayey soil. *Soil and Tillage Research*, 175, 217-225.
- Santos et all, H. (2009). Amostragem para avaliação da fertilidade do solo em função da variabilidade de suas características químicas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, p.849–854.
- Santos, F. L. (2003). *Transferência de Água e de Solutos no Solo*. Évora: Publicações da Universidade de Évora.
- Schön, J. H. (2015). Chapter 8 - Electrical Properties. Em J. H. Schön, *Developments in Petroleum Science* (Vol. 65, pp. 301-367). Elsevier. Obtido de <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100404-3.00008-1>.
- Sekertekin, A., Marangoz, A. M., & Abdikan, S. (2020). ALOS-2 and Sentinel-1 SAR data sensitivity analysis to surface soil moisture over bare and vegetated agricultural fields. *Computers and Electronics in Agriculture*, 171. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105303>
- Sekertekin, A., Murat, A., & Abdikan, S. (2020). ALOS-2 and Sentinel-1 SAR data sensitivity analysis to surface soil moisture over bare and vegetated agricultural fields. *Computers and Electronics in Agriculture*, 171, 105-303. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105303>
- Sena, C. C., Neto, L. R., Júnior, J. A., Evangelista, A. W., Battisti, R., & Casaroli, D. (2019). Calibração do sensor de umidade do solo DSMM500 em latossolo vermelho distrófico. *Global Science and Technology*, 12(02), 141-151.
- sentinels.copernicus.eu*. (29 de 07 de 2020). Obtido de [sentinels.copernicus.eu](https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1/instrument-payload): <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1/instrument-payload>
- Shahidian, S., Serralheiro, R., J.L.Teixiera, Serrano, J., Santos, F., & Guimarães, R. (2011). Utilização da equação de Hargreaves Samani para o cálculo da ETo em estufas.
- Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos*. (março de 2020). Obtido em 29 de março de 2020, de SNIRH:

<https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=2&idItem=1&objCover=920123704&objSite=920685506>

Smith, C., & Mullins, K. (1991). *Soil Analysis Physical Methods*. New York: Marcel Dekker, Inc.

Sophocleous, M., Atkinson, J. K., Smethurst, J. A., Espindola-Garcia, G., & Ingenito, A. (2020). The use of novel thick-film sensors in the estimation of soil structural changes through the correlation of soil electrical conductivity and soil water content. *Sensors and Actuators A: Physical*, 301. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.sna.2019.111773>

Spectrum Technologies, Inc. (10 de 08 de 2020). *Specmeters*. Obtido de [http://www.specmeters.com/assets/1/22/6435TDR_350_\(web\).pdf](http://www.specmeters.com/assets/1/22/6435TDR_350_(web).pdf)

Speight, J. G. (2020). 2 - The properties of water. Em J. G. Speight, *Natural Water Remediation* (pp. 53-89). Butterworth-Heinemann. Obtido de <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803810-9.00002-4>

SUHET. (01 de 09 de 2013). *SENTINEL-2 User Handbook*. Obtido em 03 de 08 de 2020, de sentinels.copernicus.eu: https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook

Swetha, R., Bende, P., Singh, K., Gorthi, S., Biswas, A., Li, B., . . . Chakraborty, S. (2020). Predicting soil texture from smartphone-captured digital images and an application. *Geoderma*, 376. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114562>

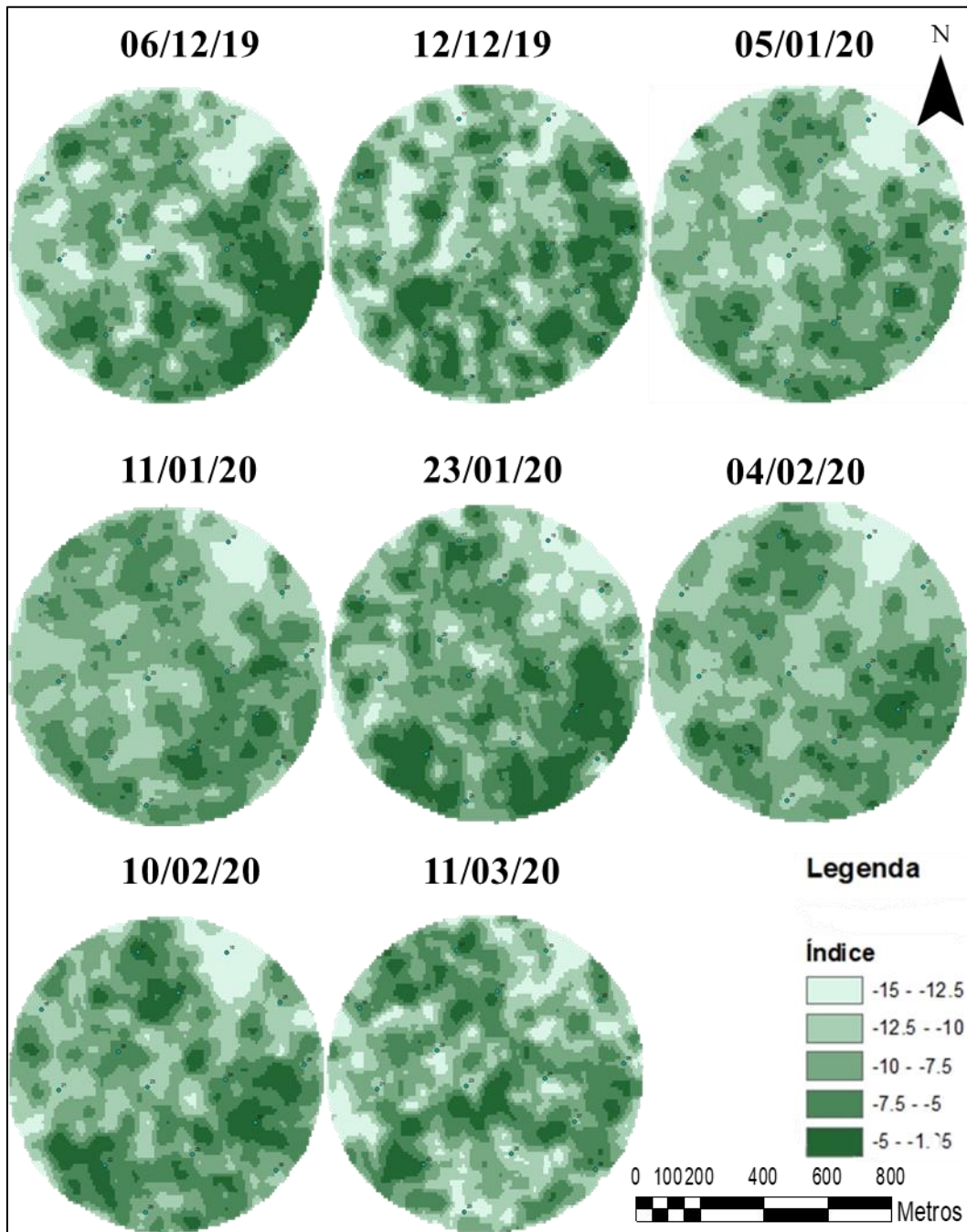
Talema, T., & Hailu, B. T. (April de 2020). Mapping rice crop using sentinels (1 SAR and 2 MSI) images in tropical area: A case study in Fogera wereda, Ethiopia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 18. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100290>

Tarabella, A. &. (2019). Precision Agriculture. Em C. Springer, *Food Products Evolution: Innovation Drivers and Market Trends* (pp. 79-85). Obtido de https://doi.org/10.1007/978-3-319-23811-1_6

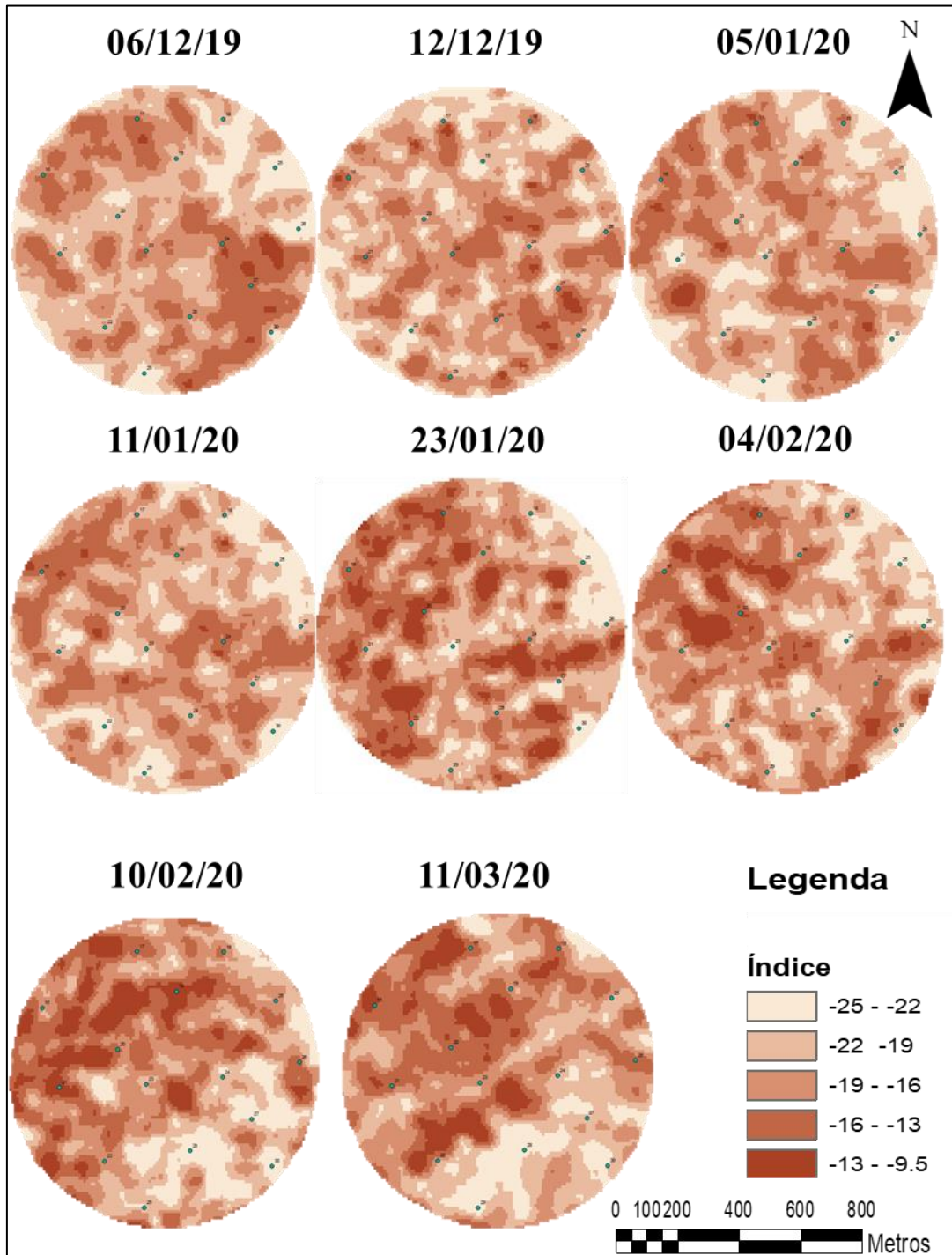
- tempo.pt.* (março de 2020). Obtido em 29 de março de 2020, de <https://www.tempo.pt/beja-sactual.htm>
- Terrón, J. M., Domínguez, F., González Ramiro, A., Villalba, M., Paixão, L., & Marques Da Silva, J. (2019). Use of Sentinel 2 images to delineate soil management zones using the Clay Ratio.
- Uribeetxebarria, A., Arnó, J., Escolà, A., & Martínez-Casasnovas, J. A. (2018). Apparent electrical conductivity and multivariate analysis of soil properties to assess soil constraints in orchards affected by previous parcelling. *Geoderma*, 319, 185-193. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.01.008>.
- Vaudour, E., Gomez, C., Fouad, Y., & Lagacherie, P. (2019). Sentinel-2 image capacities to predict common topsoil properties of temperate and Mediterranean agroecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 223, 21-33. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.01.006>
- VrcAcademy. (29 de maio de 2020). Obtido de Cramer V Coefficient: <https://vrcacademy.com/calculator/cramer-v-coefficient-calculator/>
- Wayayok, A. (11 de junho de 2009). Small Scale Spatial Variability of Apparent Electrical Conductivity within a Paddy Field. *Applied and Environmental Soil Science*.
- Zheng, B., Campbell, J. B., Serbin, G., & Galbraith, J. M. (2014). Remote sensing of crop residue and tillage practices: Present capabilities and future prospects. *Soil and Tillage Research*, 138, 26-34. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.12.009>

ANEXOS

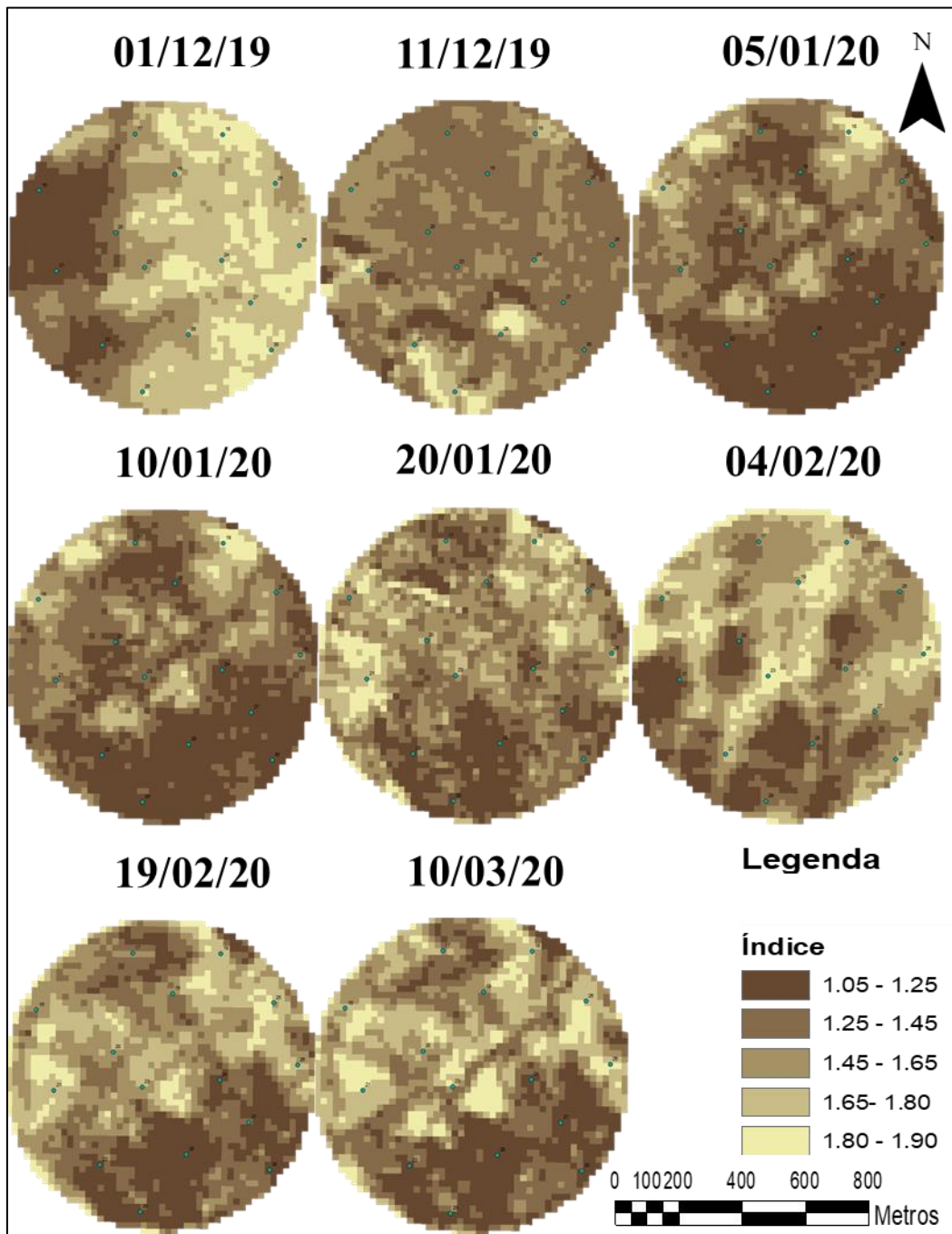
ANEXO I - Evolução temporal da polarização VV na parcela 8



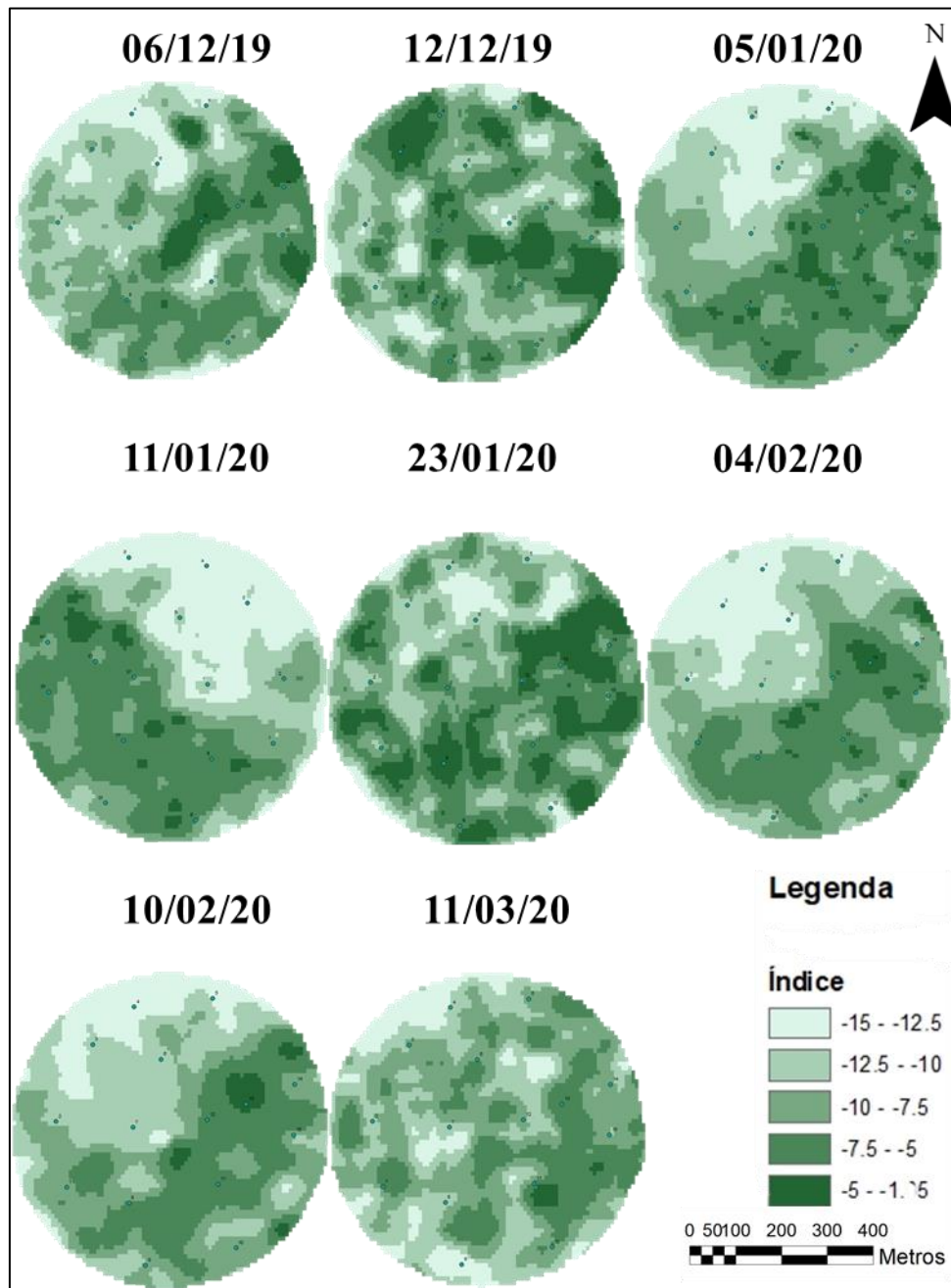
ANEXO II - Evolução temporal da polarização VH na parcela 8



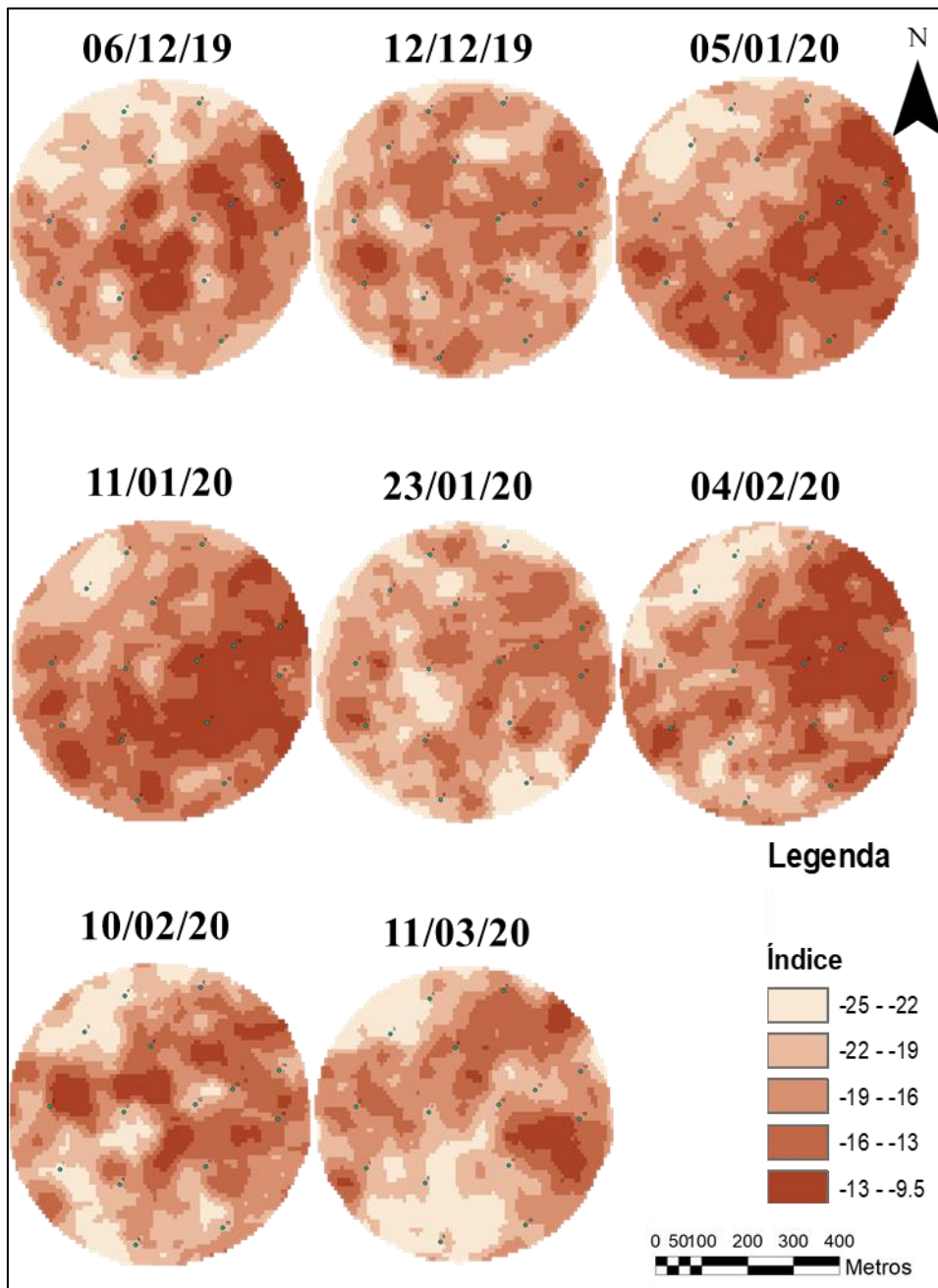
ANEXO III - Evolução temporal do índice de Clay Ratio na parcela 8



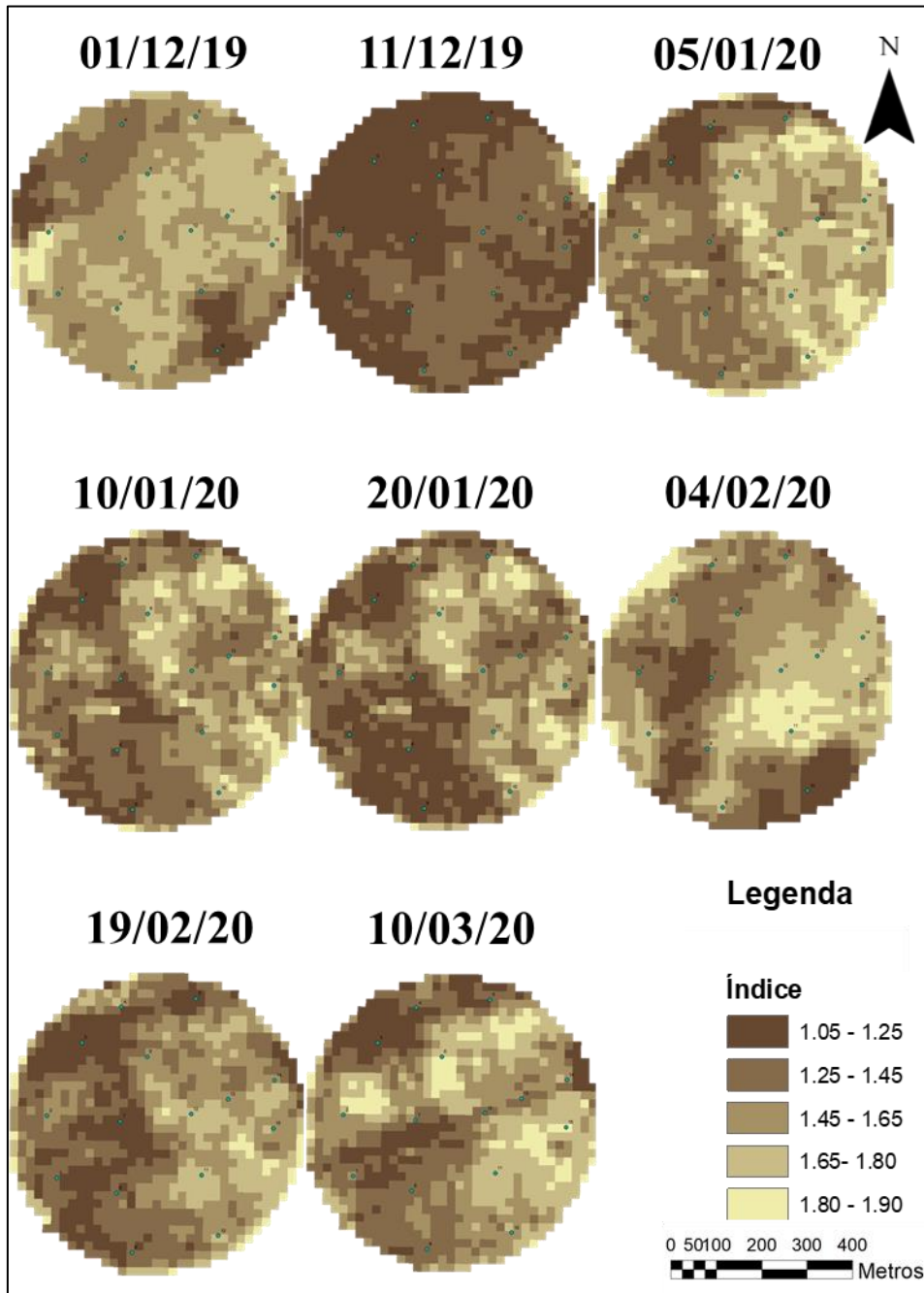
ANEXO IV - Evolução temporal da polarização VV na parcela 10



ANEXO V - Evolução temporal da polarização VH na parcela 10



ANEXO VI - Evolução temporal do índice Clay Ratio na parcela 10



ANEXO VII - Correlação entre Eca e Imagens de Satélite

Correlação de Pearson				
Eca vs Clay Ratio				
Coefficiente R	N	T Estatístico	DF	p-value
-0.4404	30	2.59554888	28	0.01487
Eca vs VV				
Coefficiente R	N	T Estatístico	DF	p-value
0.7045	30	5.25270257	28	1.4E-05
Eca vs VH				
Coefficiente R	N	T Estatístico	DF	p-value
-0.0531	30	0.28146728	28	0.78042

ANEXO VIII - Correlação entre VWC e Imagens de Satélite

Correlação de Pearson				
VWC vs Clay Ratio				
Coefficiente R	N	T Estatístico	DF	p-value
-0.2173	30	1.17780883	28	0.24879
VWC vs VV				
Coefficiente R	N	T Estatístico	DF	p-value
0.8273	30	7.7946189	28	1.7E-08
VWC vs VH				
Coefficiente R	N	T Estatístico	DF	p-value
0.2612	30	1.43205667	28	0.1632

ANEXO IX - Tabela de Contingência entre Correlação (Clay Ratio vs Ec) e Textura

Tabela de Contingência

Contagem

		Clay Ratio vs Ec									Total
		Forte Negativa	Moderada Negativa	Fraca Negativa	Muito Fraca Negativa	Muito Fraca Positiva	Fraca Positiva	Moderada Positiva	Forte Positiva	Muito Forte Positiva	
Textura	2	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2
	3	2	4	5	2	0	1	2	4	0	20
	4	0	1	0	0	1	0	1	0	0	3
	6	0	0	0	0	1	0	1	1	0	3
	9	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Total	2	5	6	4	2	1	4	5	1	30	

ANEXO X - Medidas Simétricas da Tabela de Contingência entre Correlação (Clay Ratio vs Ec)

Medidas Simétricas

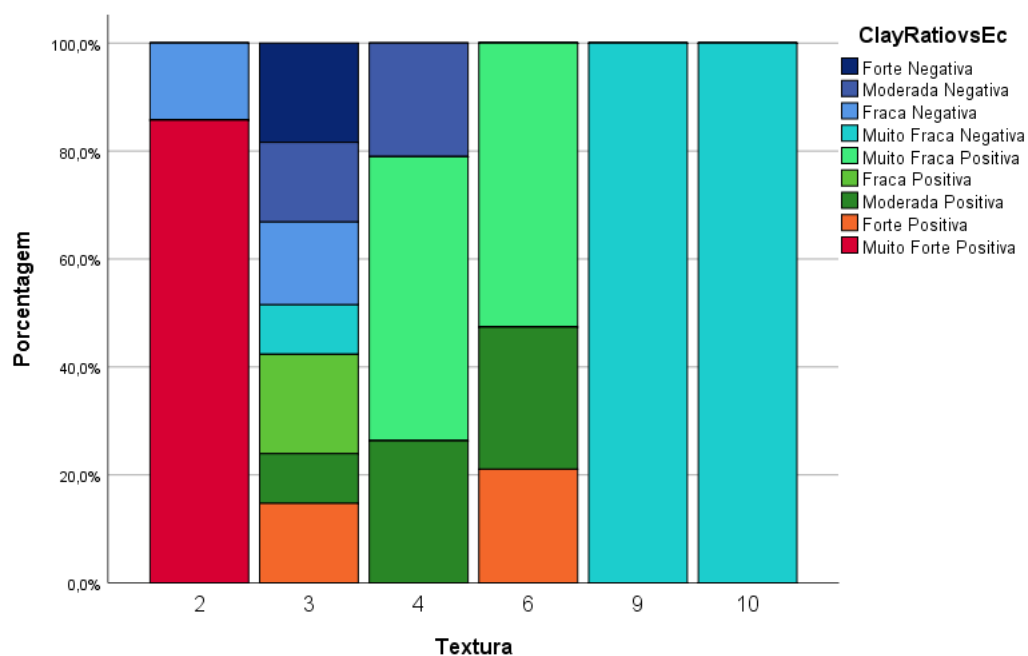
		Valor	Erro Padrão Assintótico ^a	T Aproximado ^b	Significância Aproximada
Nominal por Nominal	Fi	1,223			,276
	V de Crammer	,547			,276
Intervalo por Intervalo	R de Pearson	,056	,124	,295	,770 ^c
Ordinal por Ordinal	Correlação Spearman	,108	,182	,576	,569 ^c
N de Casos Válidos		30			

a. Não considerando a hipótese nula.

b. Uso de erro padrão assintótico considerando a hipótese nula.

c. Com base em aproximação normal.

ANEXO XI - Representação Gráfica Clay Ratio vs Ec e Textura



ANEXO XII - Tabela de Contingência entre Correlação (VH vs Ec) e Textura

Tabela de Contingência

Contagem

	Textura	VH vs Ec								Total	
		Forte Negativa	Moderada Negativa	Fraca Negativa	Muito Fraca Negativa	Muito Fraca Positiva	Fraca Positiva	Moderada Positiva	Forte Positiva		Muito Forte Positiva
	2	0	1	0	0	0	0	1	0	0	2
	3	2	2	3	1	3	1	4	3	1	20
	4	0	1	1	0	0	0	0	1	0	3
	6	0	0	1	0	0	1	0	1	0	3
	9	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
	10	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	Total	2	4	5	1	3	2	6	6	1	30

ANEXO XIII - Medidas Simétricas da Tabela de Contingência entre Correlação (VH vs Ec) e Textura

Medidas Simétricas

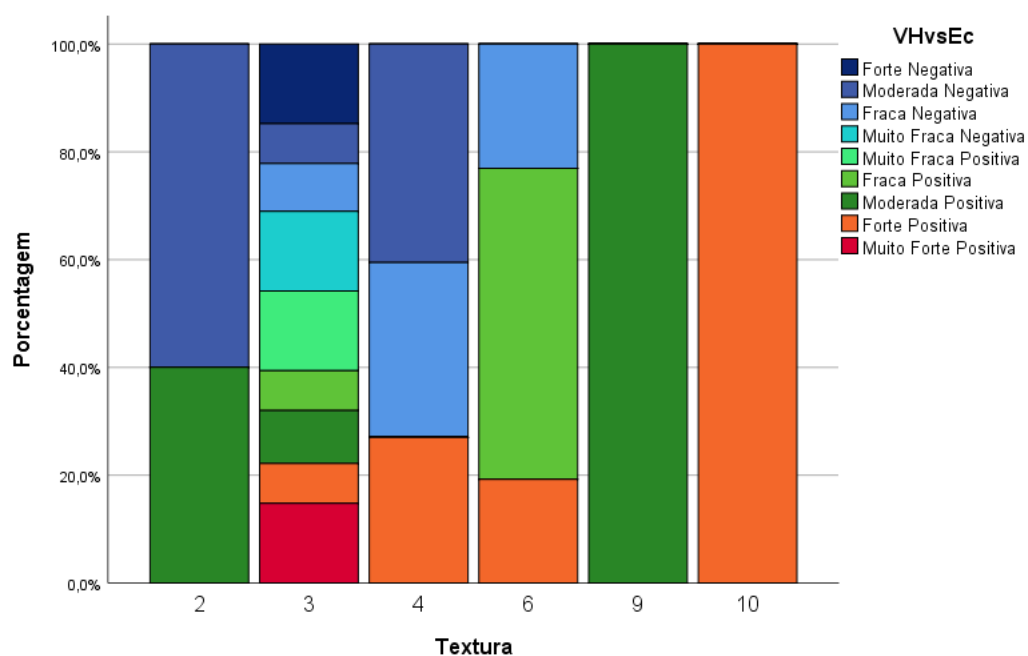
		Valor	Erro Padrão Assintótico ^a	T Aproximado ^b	Significância Aproximada
Nominal por Nominal	Fi	,871			,987
	V de Crammer	,390			,987
Intervalo por Intervalo	R de Pearson	,253	,127	1,381	,178 ^c
Ordinal por Ordinal	Correlação Spearman	,186	,172	1,001	,325 ^c
N de Casos Válidos		30			

a. Não considerando a hipótese nula.

b. Uso de erro padrão assintótico considerando a hipótese nula.

c. Com base em aproximação normal.

ANEXO XIV - Representação Gráfica VH vs Ec e Textura



ANEXO XV - Tabela de Contingência entre Correlação (VV vs Ec) e Textura

Tabela de Contingência

Contagem

		VVvsEc								
		Moderada Negativa	Fraca Negativa	Muito Fraca Negativa	Muito Fraca Positiva	Fraca Positiva	Moderada Positiva	Forte Positiva	Muito Forte Positiva	Total
Textura	2	0	1	0	0	0	0	1	0	2
	3	3	0	5	3	3	4	2	0	20
	4	1	0	1	0	0	1	0	0	3
	6	0	1	2	0	0	0	0	0	3
	9	0	1	0	0	0	0	0	0	1
	10	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Total		4	3	8	3	3	5	3	1	30

ANEXO XVI - Medidas Simétricas da Tabela de Contingência entre Correlação (VV vs Ec) e Textura

Medidas Simétricas

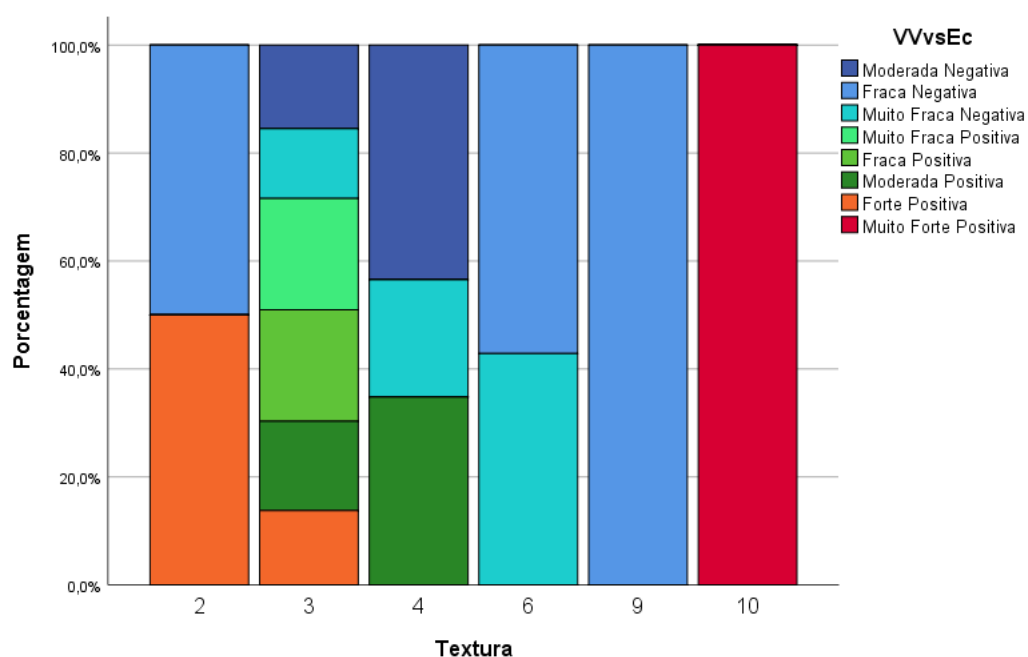
		Valor	Erro Padrão Assintótico ^a	T Aproximado ^b	Significância Aproximada
Nominal por Nominal	Fi	1,390			,009
	V de <i>Crammer</i>	,622			,009
Intervalo por Intervalo	R de <i>Pearson</i>	,009	,262	,048	,962 ^c
Ordinal por Ordinal	Correlação <i>Spearman</i>	-,155	,214	-,830	,414 ^c
N de Casos Válidos		30			

a. Não considerando a hipótese nula.

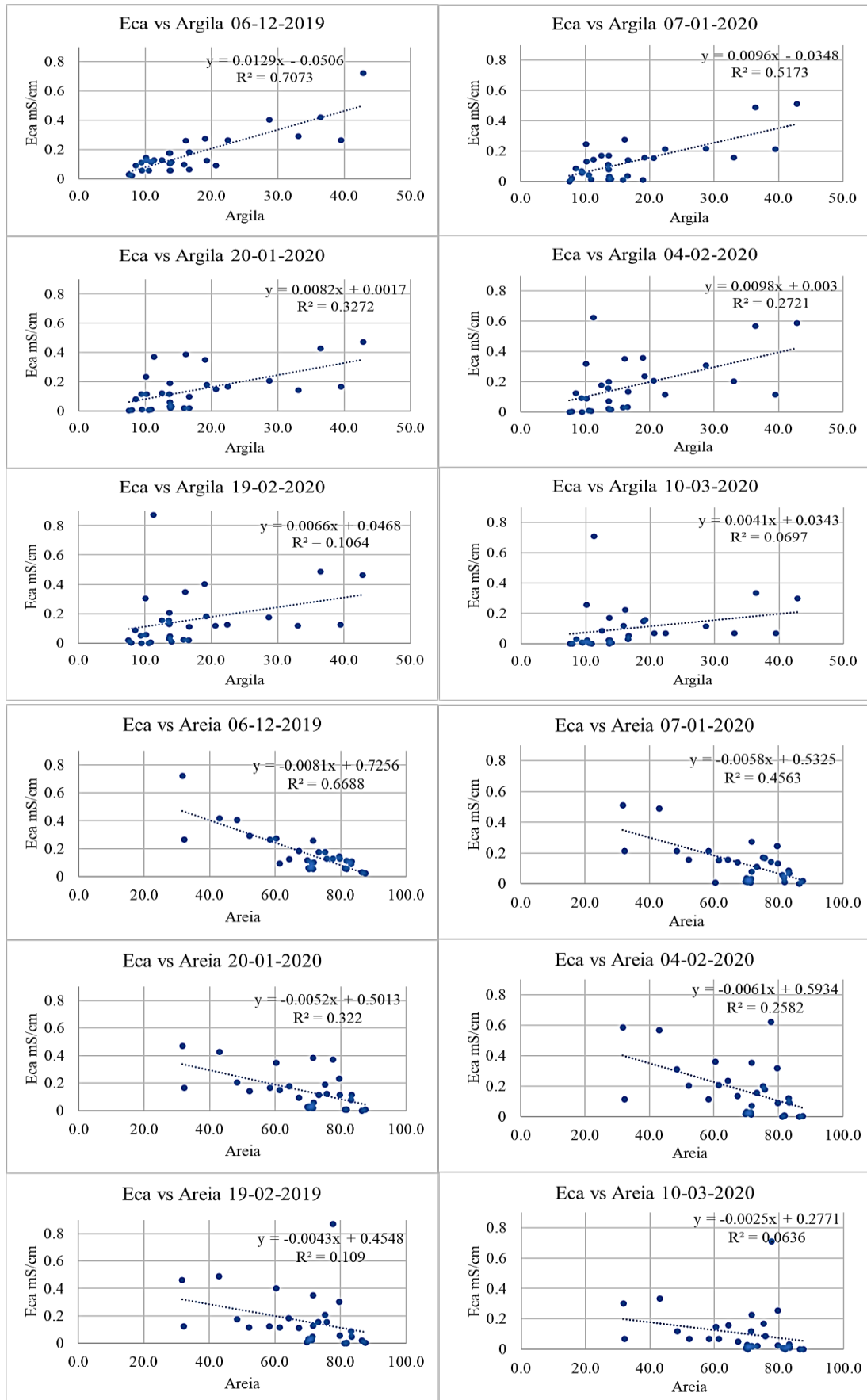
b. Uso de erro padrão assintótico considerando a hipótese nula.

c. Com base em aproximação normal.

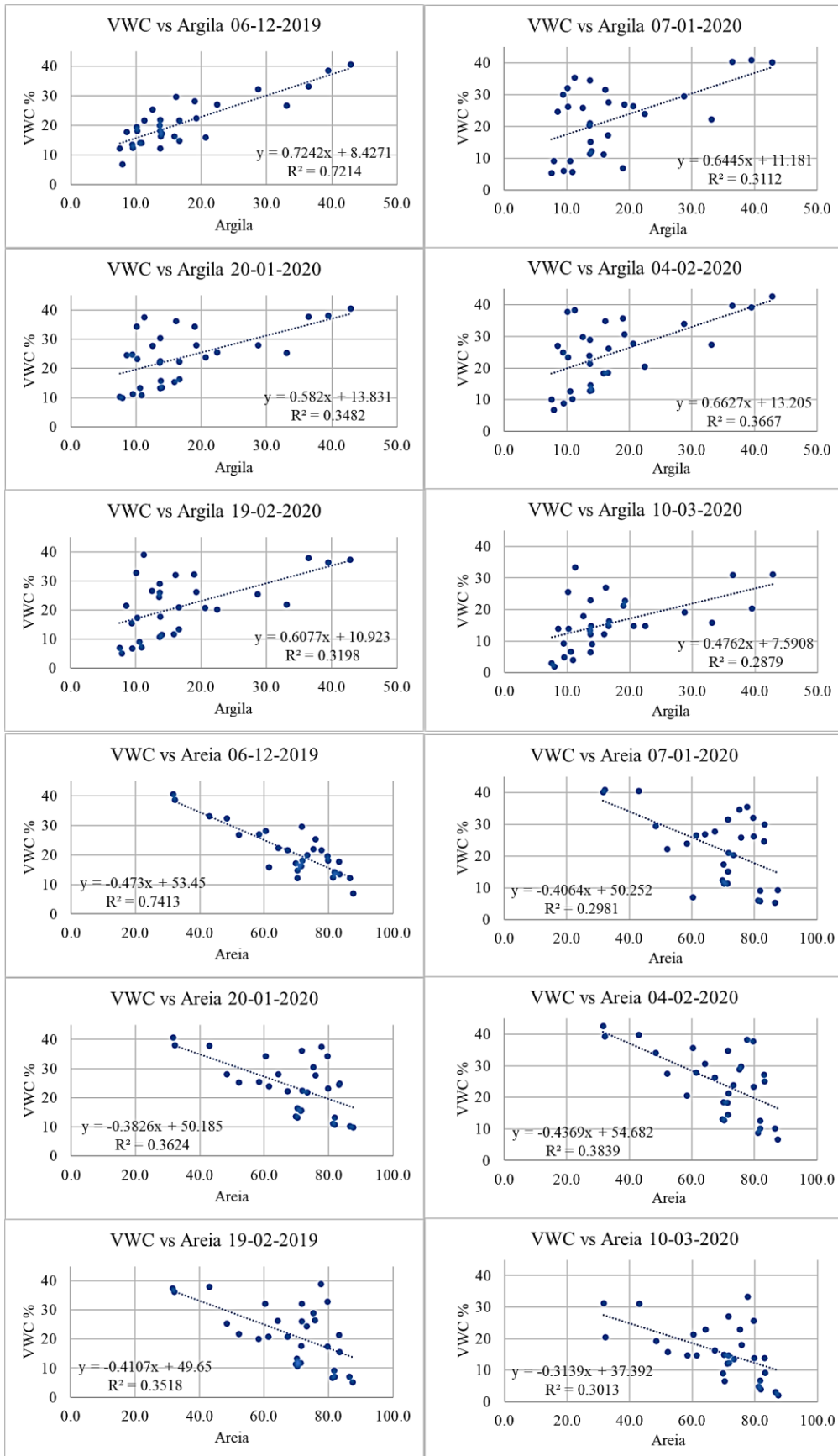
ANEXO XVII - Representação Gráfica VV vs Ec e Textura



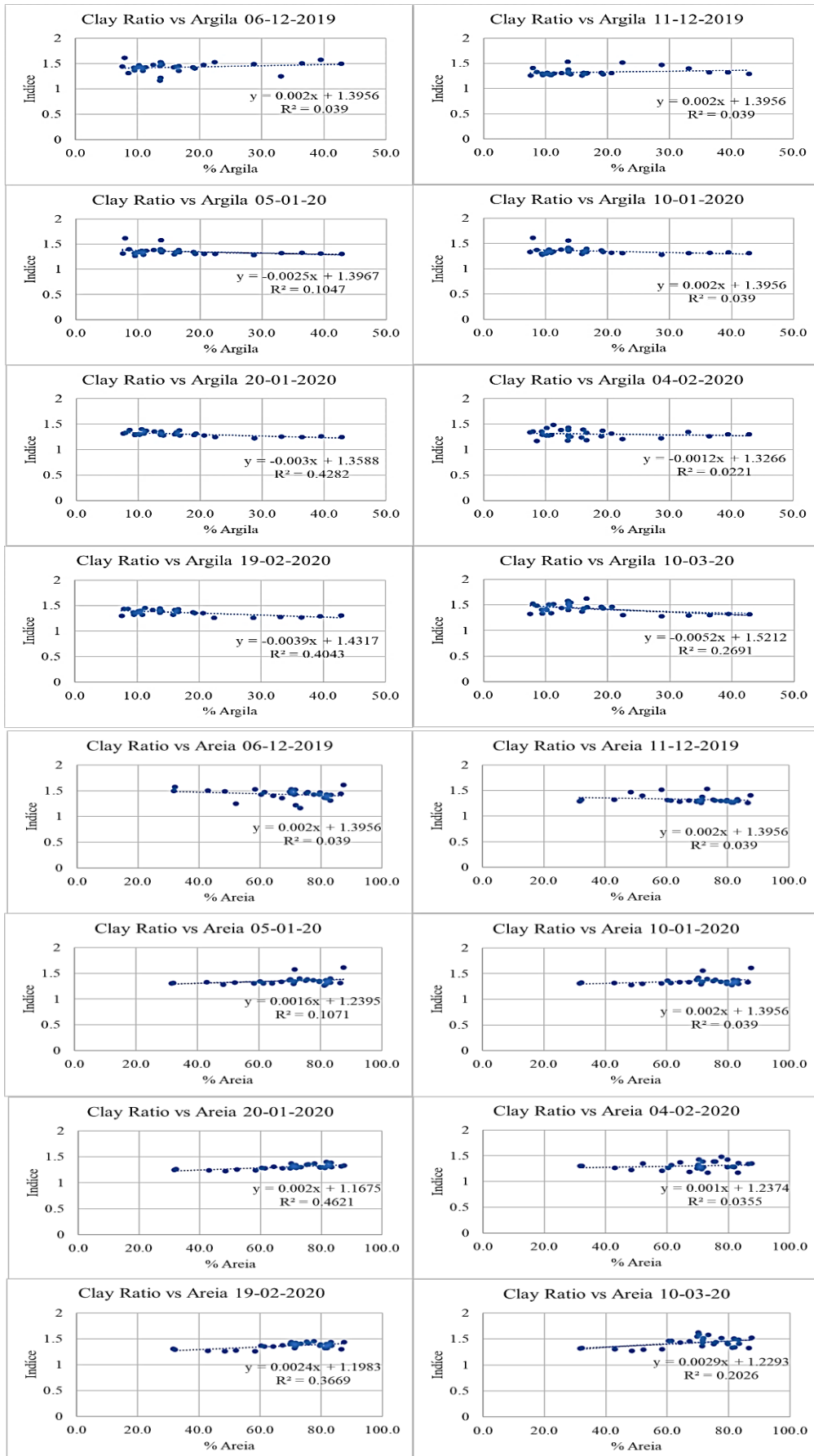
ANEXO XVIII - Variação da Eca ao longo do tempo



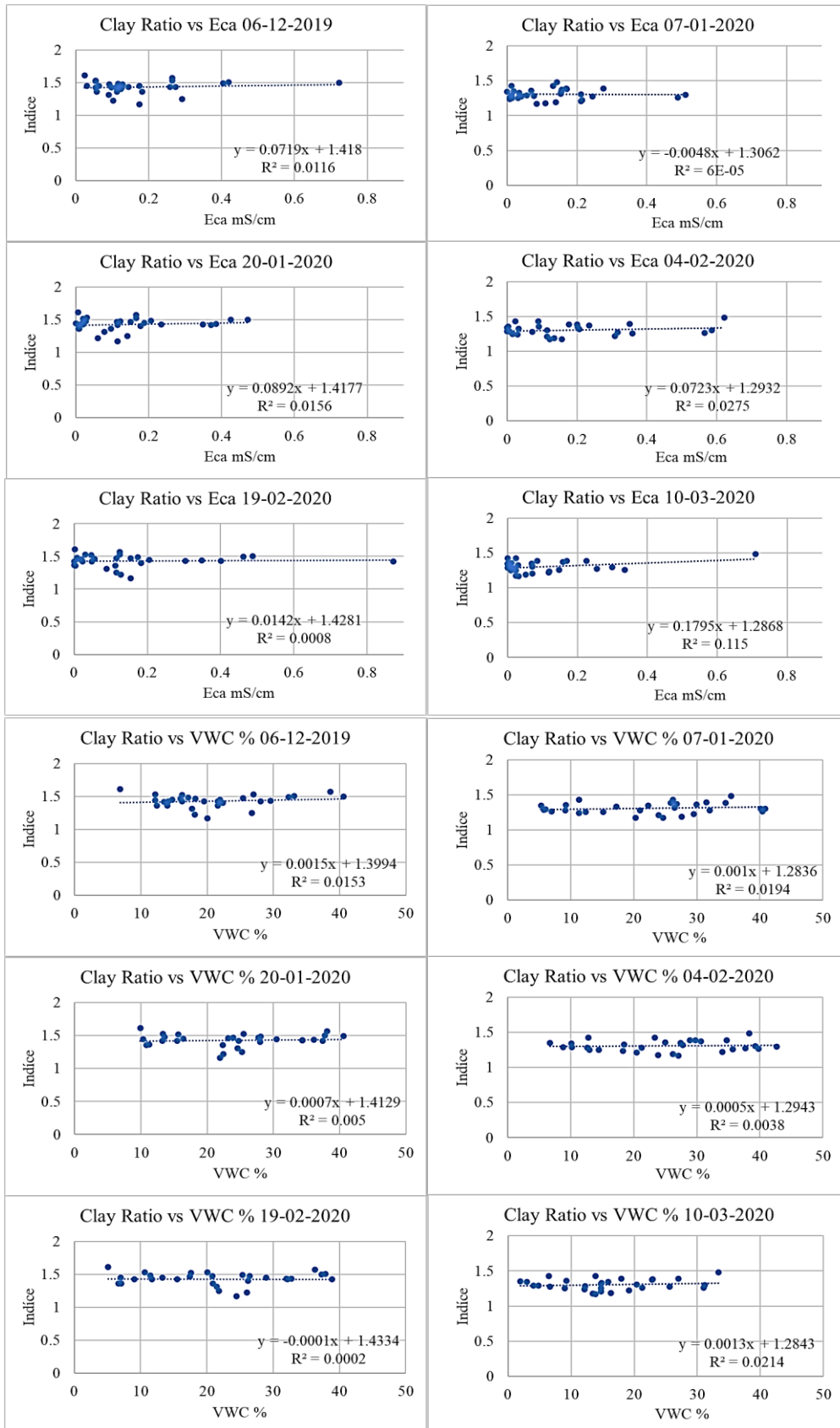
ANEXO XIX - Variação do VWC ao longo do tempo



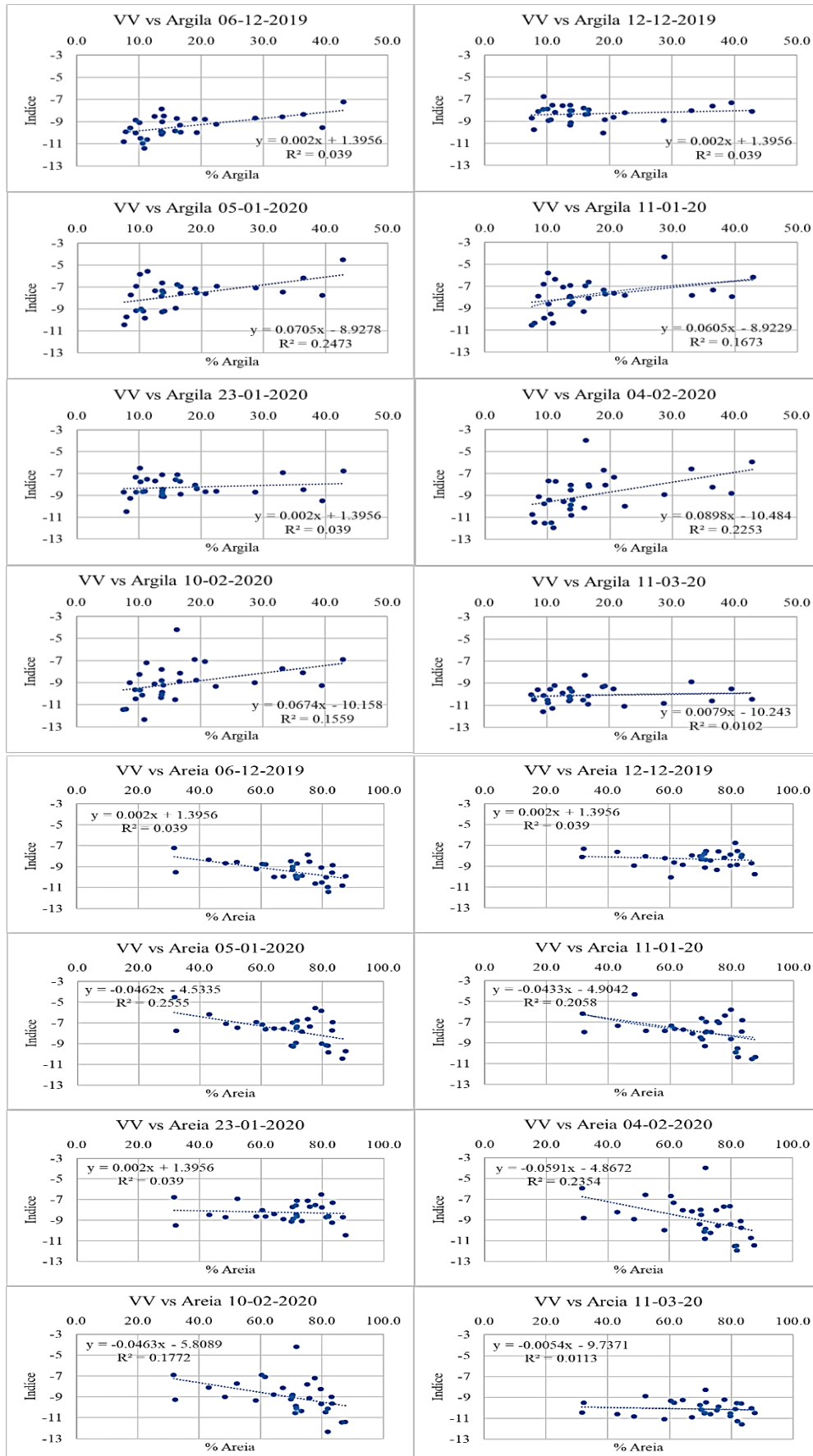
ANEXO XX - Variação do Índice Clay Ratio ao longo do tempo entre argila e areia



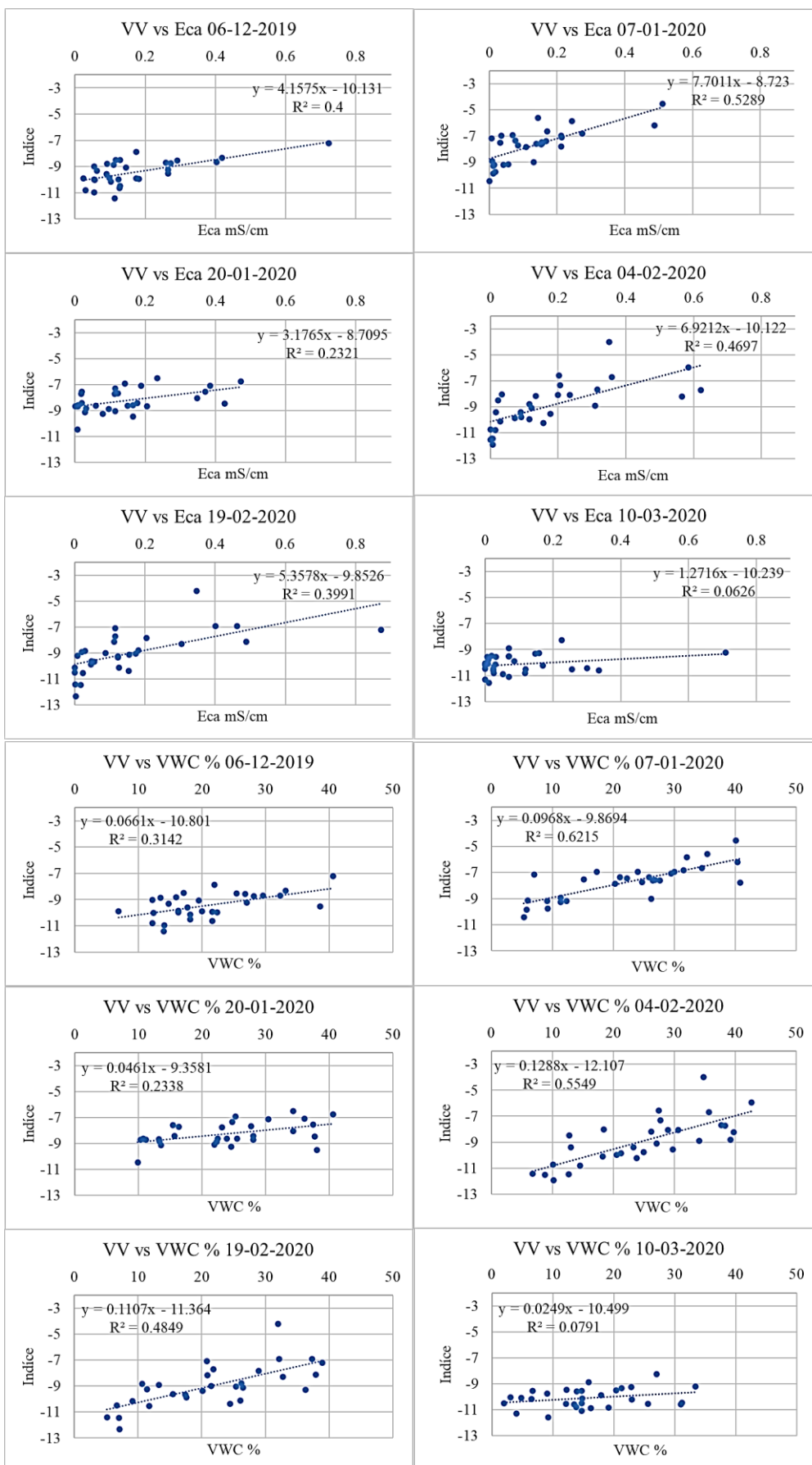
ANEXO XXI - Relação entre Clay Ratio e Parâmetros do Solo



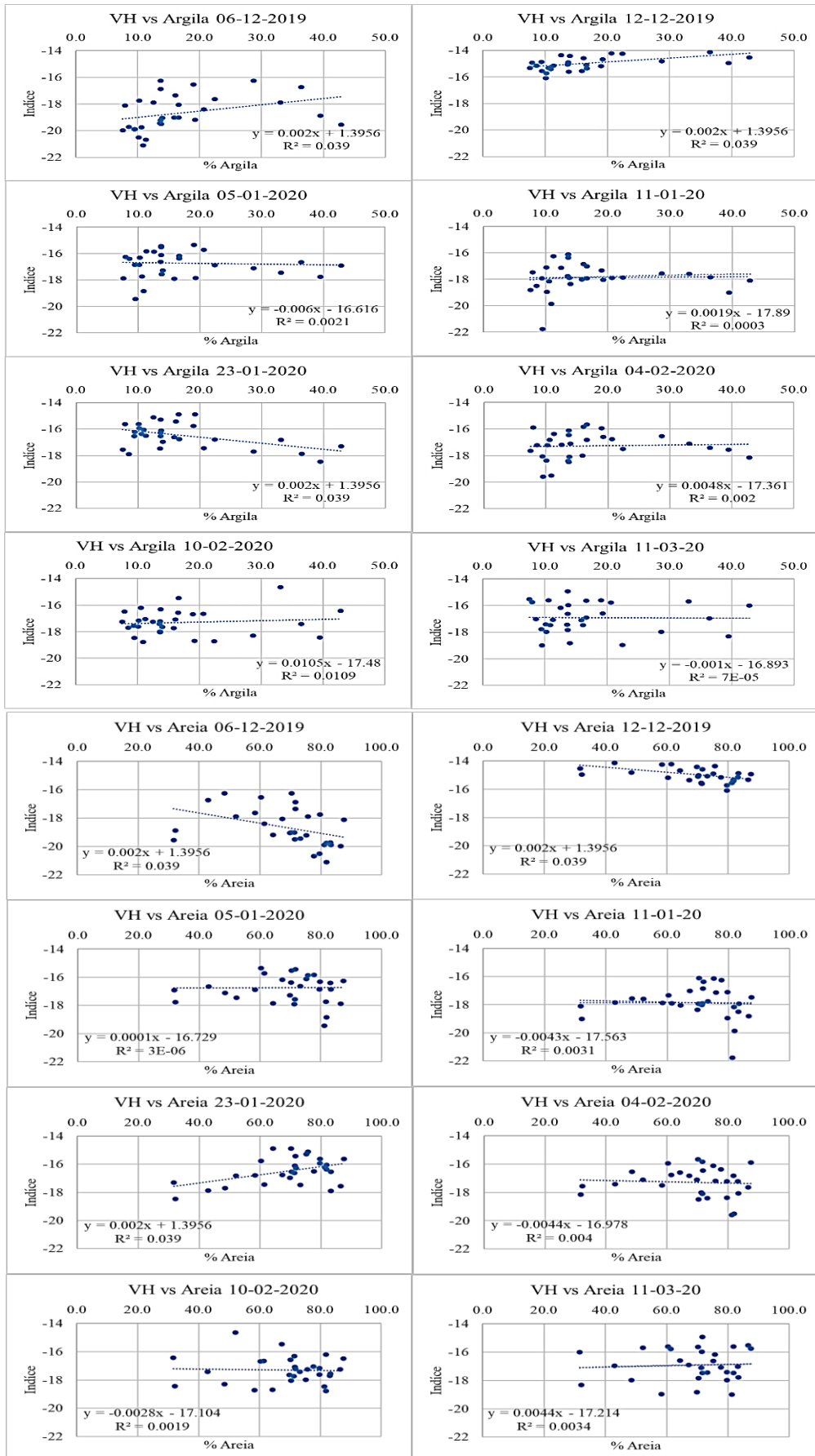
ANEXO XXII - Variação do Índice VV ao longo do tempo entre areia e argila



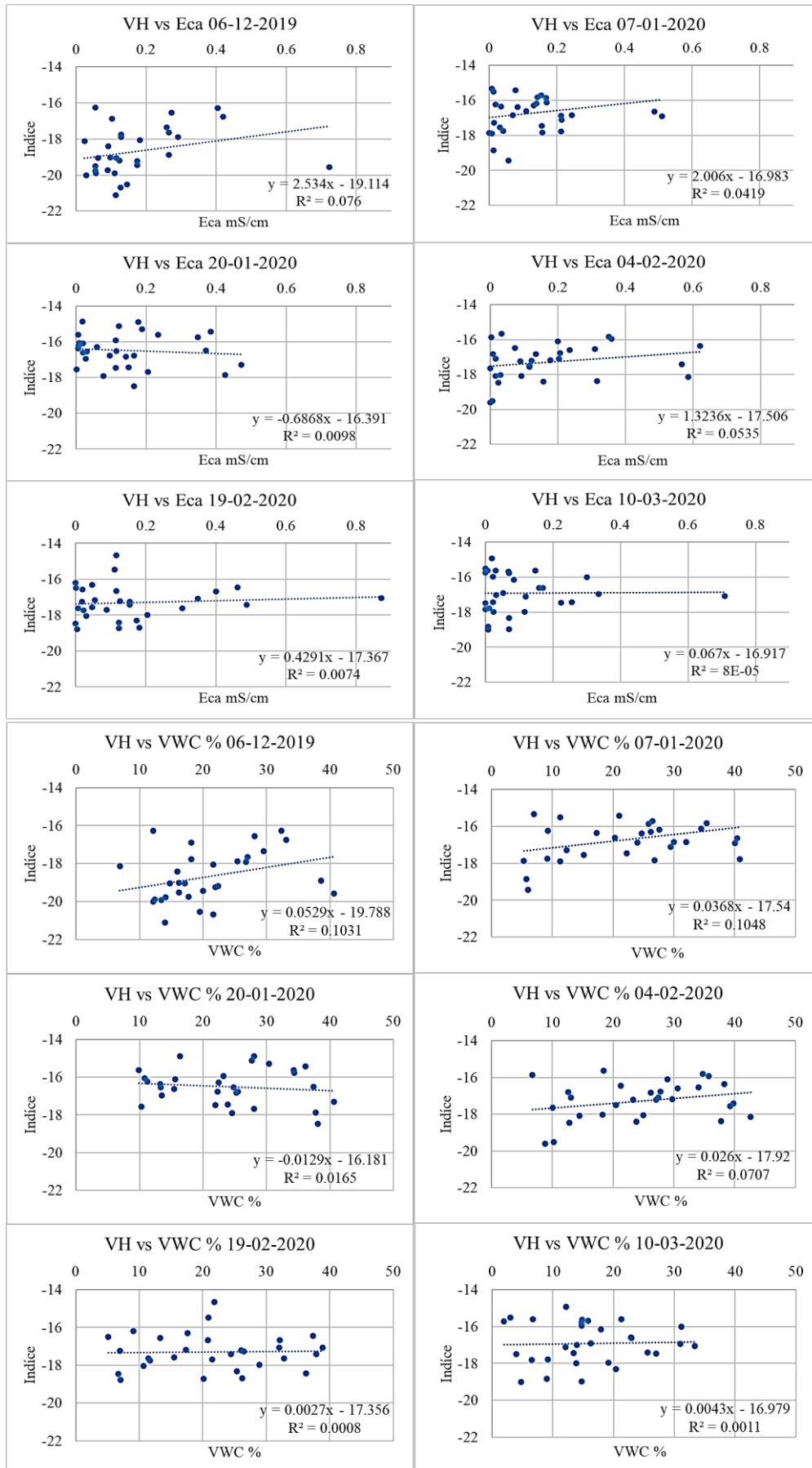
ANEXO XXIII - Relação entre VV e Parâmetros do Solo



ANEXO XXIV - Variação do Índice VH ao longo do tempo entre argila e areia



ANEXO XXV - Relação entre VH e Parâmetros do Solo



ANEXO XXVI - Dados de Medições de Ec (mS/cm) com TDR

Po nto	POINT _X	POINT _Y	02/12/ 2019	11/12/ 2019	07/01/ 2020	20/01/ 2020	04/02/ 2020	19/02/ 2020	10/03/ 2020	Mé dia	Desvio- Padrão
1	180780 .0933	107710 .3708	0.124	-	0.156	0.178	0.235	0.182	0.159	0.1 72	0.037
2	180756 .3238	107858 .2849	0.055	-	0.032	0.02	0.015	0.047	0.023	0.0 32	0.016
3	180838 .9369	108032 .204	0.057	-	0.056	0.008	0	0	0.008	0.0 22	0.027
4	180932 .5917	108116 .6638	0.113	-	0.012	0.009	0.006	0.004	0	0.0 24	0.044
5	181110 .2412	108136 .5066	0.03	-	0	0.001	0	0.018	0	0.0 08	0.013
6	180993 .7889	107998 .5678	0.055	-	0.041	0.007	0.007	0	0.006	0.0 19	0.023
7	180930 .1487	107844 .7375	0.098	-	0.008	0.02	0.029	0.023	0.119	0.0 50	0.047
8	180921 .237	107674 .5707	0.145	-	0.244	0.234	0.316	0.304	0.256	0.2 50	0.061
9	180957 .9571	107533 .2924	0.11	-	0.069	0.115	0.091	0.048	0.011	0.0 74	0.040
10	181162 .9547	107572 .896	0.09	-	0.084	0.079	0.122	0.088	0.032	0.0 83	0.029
11	181122 .8034	107716 .9409	0.127	-	0.143	0.371	0.621	0.872	0.709	0.4 74	0.308
12	181098 .1023	107862 .0555	0.175	-	0.17	0.188	0.2	0.205	0.17	0.1 85	0.015
13	181185 .8668	107897 .5432	0.259	-	0.275	0.385	0.351	0.348	0.225	0.3 07	0.063
14	181295 .701	107942 .2257	0.128	-	0.168	0.122	0.177	0.155	0.085	0.1 39	0.034
15	181293 .2617	107827 .8604	0.063	-	0.035	0.018	0.033	0.02	0.03	0.0 33	0.016
16	181723 .0903	107637 .0942	-	0.103	0.077	0.06	0.072	0.127	0.019	0.0 76	0.037
17	182034 .6733	107821 .4997	-	0.273	0.007	0.348	0.358	0.401	0.148	0.2 56	0.151
18	182319 .9616	107820 .0451	-	0.024	0.018	0.007	0.003	0.002	0	0.0 09	0.010
19	182163 .9843	107690 .4779	-	0.092	0.153	0.15	0.206	0.116	0.07	0.1 31	0.049
20	181971 .5306	107500 .7947	-	0.182	0.139	0.096	0.134	0.112	0.052	0.1 19	0.044
21	181779 .1098	107376 .0143	-	0.174	0.109	0.114	0.157	0.154	0.023	0.1 22	0.055
22	181928 .673	107133 .8732	-	0.291	0.155	0.142	0.202	0.116	0.069	0.1 63	0.077

23	182065 .233	107386 .8163	-	0.129	0.131	0.113	0.089	0.056	0.024	0.0 90	0.043
24	182316 .2846	107409 .6133	-	0.419	0.488	0.426	0.566	0.488	0.335	0.4 54	0.079
25	182491 .2008	107659 .7945	-	0.116	0.014	0.028	0.016	0.008	0.009	0.0 32	0.042
26	182568 .9665	107458 .4027	-	0.055	0.012	0.031	0.023	0.03	0	0.0 25	0.019
27	182411 .1307	107272 .5082	-	0.723	0.511	0.472	0.585	0.462	0.3	0.5 09	0.141
28	182209 .1226	107168 .6119	-	0.404	0.214	0.206	0.309	0.174	0.117	0.2 37	0.103
29	182058 .9707	106982 .2194	-	0.265	0.212	0.165	0.115	0.124	0.07	0.1 59	0.071
30	182478 .4739	107118 .1168	-	0.265	0.212	0.165	0.115	0.124	0.07	0.1 59	0.071

ANEXO XXVII - Dados de Medições de VWC (%) com TDR

Po nto	POINT _X	POINT _Y	02/12/ 2019	11/12/ 2019	07/01/ 2020	20/01/ 2020	04/02/ 2020	19/02/ 2020	10/03/ 2020	Mé dia	Desvio- Padrão
1	180780. 0933	107710. 3708	22.38	-	26.85	28.01	30.63	26.23	22.83	26. 155	3.139
2	180756. 3238	107858. 2849	16.23	-	15.17	15.64	14.5	17.6	14.72	15. 643	1.145
3	180838. 9369	108032. 204	12.4	-	5.99	11.22	8.78	6.67	4.81	8.3 12	3.025
4	180932. 5917	108116. 6638	14	-	5.75	10.79	10.22	7.05	4.01	8.6 37	3.692
5	181110. 2412	108136. 5066	12.17	-	5.32	10.3	10.09	6.99	3.01	7.9 80	3.468
6	180993. 7889	107998. 5678	14.1	-	9.13	13.21	12.65	9.09	6.67	10. 808	2.929
7	180930. 1487	107844. 7375	16.23	-	11.3	15.44	18.28	11.72	12.11	14. 180	2.872
8	180921. 237	107674. 5707	19.5	-	32.02	34.32	37.72	32.78	25.63	30. 328	6.615
9	180957. 9571	107533. 2924	13.4	-	30.0	24.8	25.0	15.5	9.2	19. 650	8.076
10	181162. 9547	107572. 896	17.73	-	24.67	24.58	27.11	21.45	13.9	21. 573	4.959
11	181122. 8034	107716. 9409	21.6	-	35.41	37.44	38.32	38.91	33.36	34. 173	6.490
12	181098. 1023	107862. 0555	21.92	-	34.52	30.43	28.91	28.92	22.94	27. 940	4.746
13	181185. 8668	107897. 5432	29.57	-	31.53	36.14	34.75	32.03	26.97	31. 832	3.345

14	181295.701	107942.2257	25.38	-	25.85	27.72	29.73	26.48	17.93	25.517	4.030
15	181293.2617	107827.8604	14.72	-	17.28	16.36	18.46	13.31	14.83	15.827	1.891
16	181723.0903	107637.0942	-	18.12	21.03	22.45	21.22	26.02	12.22	20.177	4.662
17	182034.6733	107821.4997	-	28.1	6.99	34.35	35.7	32.14	21.25	26.422	10.852
18	182319.9616	107820.0451	-	6.88	9.24	9.88	6.72	5.1	1.96	6.630	2.884
19	182163.9843	107690.4779	-	15.94	26.46	23.88	27.75	20.79	14.70	21.586	5.421
20	181971.5306	107500.7947	-	21.62	27.64	22.31	26.23	20.88	16.26	22.490	4.067
21	181779.1098	107376.0143	-	20.01	20.27	21.95	23.85	24.48	13.44	20.667	3.978
22	181928.673	107133.8732	-	26.74	22.26	25.27	27.45	21.83	15.82	23.228	4.292
23	182065.233	107386.8163	-	18.16	26.17	23.17	23.32	17.39	13.83	20.339	4.622
24	182316.2846	107409.6133	-	33.12	40.37	37.75	39.75	37.91	31.01	36.652	3.755
25	182491.2008	107659.7945	-	17.14	12.33	13.53	13.01	11.43	9.01	12.744	2.679
26	182568.9665	107458.4027	-	12.16	11.32	13.29	12.79	10.66	6.5	11.120	2.457
27	182411.1307	107272.5082	-	40.58	40.09	40.6	42.64	37.32	31.18	38.735	4.075
28	182209.1226	107168.6119	-	32.32	29.48	28.03	34.05	25.36	19.15	28.065	5.343
29	182058.9707	106982.2194	-	27.01	23.97	25.5	20.5	20.09	14.7	21.962	4.481
30	182478.4739	107118.1168	-	38.6	40.84	38.05	39.24	36.3	20.39	35.570	7.583

ANEXO XXVIII - Dados Da Polarização VV

Po nto	POIN T_X	POIN T_Y	06/12/ 2019	12/12/ 2019	05/01/ 2020	11/01/ 2020	23/01/ 2020	04/02/ 2020	10/02/ 2020	11/03/ 2020	Mé dia	Desvio- Padrão
1	180780.0933	107710.3708	-9.968	-8.850	-7.557	-7.704	-8.415	-8.065	-8.788	-9.273	8.577	0.813
2	180756.3238	107858.2849	-9.979	-9.145	-7.516	-7.994	-8.428	10.789	-9.865	10.491	9.276	1.200
3	180838.9369	108032.204	-	-6.746	-9.147	-9.908	-8.695	11.521	10.484	10.100	9.578	1.422
4	180932.5917	108116.6638	-	-7.568	-9.846	-	-8.612	11.923	12.330	11.297	10.416	1.664

5	181110 .2412	10813 6.5066	- 10.80 0	-8.702	- 10.43 7	- 10.53 2	-8.699	- 10.73 8	- 11.44 0	- 10.05 6	- 10.1 75	0.990
6	180993 .7889	10799 8.5678	- 10.96 9	-8.874	-9.183	-9.535	-8.674	- 11.47 2	- 10.13 4	-9.562	- 9.80 0	0.993
7	180930 .1487	10784 4.7375	-9.849	-7.817	-8.921	-9.311	-7.570	- 10.11 6	- 10.52 6	- 10.53 6	- 9.33 1	1.154
8	180921 .237	10767 4.5707	-9.074	-7.894	-5.848	-5.794	-6.507	-7.675	-8.270	- 10.54 2	- 7.70 1	1.639
9	180957 .9571	10753 3.2924	-8.853	-7.932	-6.943	-6.809	-7.320	-9.768	-9.629	- 11.57 4	- 8.60 4	1.663
10	181162 .9547	10757 2.896	-9.582	-8.106	-7.731	-7.910	-9.255	-9.101	-9.001	-9.579	- 8.78 3	0.753
11	181122 .8034	10771 6.9409	- 10.63 1	-8.175	-5.589	-6.363	-7.539	-7.717	-7.218	-9.229	- 7.80 8	1.584
12	181098 .1023	10786 2.0555	-7.868	-9.372	-6.652	-6.920	-7.111	-8.069	-7.820	- 10.21 3	- 8.00 3	1.231
13	181185 .8668	10789 7.5432	-8.710	-8.382	-6.806	-6.956	-7.106	-3.997	-4.213	-8.271	- 6.80 5	1.812
14	181295 .701	10794 2.2257	-8.515	-7.592	-7.371	-7.066	-7.666	-9.550	-9.124	-9.900	- 8.34 8	1.077
15	181293 .2617	10782 7.8604	-9.328	-8.338	-6.959	-6.642	-7.724	-8.022	-8.907	- 10.14 9	- 8.25 9	1.182
16	181723 .0903	10763 7.0942	- 10.15 1	-7.554	-7.361	-7.917	-8.617	-9.867	- 10.10 6	-9.463	- 8.87 9	1.164
17	182034 .6733	10782 1.4997	-8.752	- 10.08 2	-7.165	-7.333	-8.040	-6.708	-6.919	-9.325	- 8.04 0	1.232
18	182319 .9616	10782 0.0451	-9.908	-9.773	-9.738	- 10.37 3	- 10.46 7	- 11.43 6	- 11.40 0	- 10.48 5	- 10.4 47	0.670
19	182163 .9843	10769 0.4779	-8.803	-8.652	-7.624	-7.654	-8.646	-7.326	-7.090	-9.530	- 8.16 6	0.858
20	181971 .5306	10750 0.7947	-9.947	-7.968	-7.591	-8.117	-8.887	-8.177	-8.136	- 10.90 0	- 8.71 5	1.142
21	181779 .1098	10737 6.0143	-9.883	-8.438	-7.854	-7.955	-9.068	- 10.24 0	- 10.35 2	- 10.60 2	- 9.29 9	1.116
22	181928 .673	10713 3.8732	-8.555	-8.023	-7.455	-7.829	-6.928	-6.571	-7.709	-8.880	- 7.74 4	0.771
23	182065 .233	10738 6.8163	- 10.49 3	-8.932	-9.012	-8.624	-7.741	-9.398	-9.666	- 10.80 5	- 9.33 4	0.995

24	182316 .2846	10740 9.6133	-8.343	-7.633	-6.186	-7.330	-8.467	-8.224	-8.120	10.60 5	- 8.11 4	1.251
25	182491 .2008	10765 9.7945	-8.483	-8.027	-9.183	-8.463	-9.116	-9.410	-9.220	-9.761	- 8.95 8	0.577
26	182568 .9665	10745 8.4027	-9.010	-8.058	-9.267	-8.674	-8.841	-8.491	-8.829	10.17 4	- 8.91 8	0.622
27	182411 .1307	10727 2.5082	-7.212	-8.112	-4.535	-6.169	-6.764	-5.959	-6.903	10.45 4	- 7.01 3	1.737
28	182209 .1226	10716 8.6119	-8.676	-8.953	-7.088	-4.321	-8.689	-8.906	-9.020	10.82 5	- 8.31 0	1.900
29	182058 .9707	10698 2.2194	-9.231	-8.240	-6.952	-7.850	-8.614	-9.969	-9.341	11.09 6	- 8.91 2	1.292
30	182478 .4739	10711 8.1168	-9.538	-7.322	-7.782	-7.937	-9.488	-8.793	-9.258	-9.507	- 8.70 3	0.896

ANEXO XXIX - Dados Da Polarização VH

Po nto	POIN T_X	POIN T_Y	06/12/ 2019	12/12/ 2019	05/01/ 2020	11/01/ 2020	23/01/ 2020	04/02/ 2020	10/02/ 2020	11/03/ 2020	Mé dia	Desvio- Padrão
1	180780 .0933	10771 0.3708	- 19.18 8	- 14.66 5	- 17.85 2	- 18.05 2	- 14.89 0	- 16.58 6	- 18.68 5	- 16.59 9	- 17.0 65	1.676
2	180756 .3238	10785 8.2849	- 19.51 1	- 15.60 2	- 17.55 5	- 17.90 4	- 16.09 2	- 18.09 1	- 16.30 7	- 15.96 1	- 17.1 28	1.354
3	180838 .9369	10803 2.204	- 19.89 3	- 15.55 5	- 19.43 4	- 21.76 3	- 16.22 7	- 19.59 1	- 18.46 7	- 18.99 7	- 18.7 41	2.010
4	180932 .5917	10811 6.6638	- 21.11 5	- 15.40 7	- 18.84 4	- 19.86 0	- 16.05 6	- 19.51 6	- 18.77 0	- 17.47 9	- 18.3 81	1.941
5	181110 .2412	10813 6.5066	- 19.99 8	- 15.31 6	- 17.86 8	- 18.79 9	- 17.55 5	- 17.63 8	- 17.24 3	- 15.50 9	- 17.4 91	1.553
6	180993 .7889	10799 8.5678	- 19.77 0	- 15.33 0	- 17.74 0	- 18.17 1	- 16.36 5	- 16.81 1	- 16.19 7	- 15.61 3	- 17.0 00	1.483
7	180930 .1487	10784 4.7375	- 19.01 6	- 15.56 2	- 17.91 0	- 18.02 9	- 16.61 3	- 18.02 0	- 17.73 7	- 17.11 3	- 17.5 00	1.053
8	180921 .237	10767 4.5707	- 20.53 3	- 16.08 0	- 16.85 7	- 17.09 4	- 15.61 1	- 18.37 8	- 17.62 2	- 17.41 0	- 17.4 48	1.518
9	180957 .9571	10753 3.2924	- 19.90 6	- 14.87 9	- 16.85 9	- 17.93 7	- 16.52 9	- 18.06 7	- 17.56 7	- 17.77 5	- 17.4 40	1.443
10	181162 .9547	10757 2.896	- 19.73 6	- 15.15 6	- 16.39 5	- 18.50 1	- 17.90 3	- 17.21 9	- 17.69 4	- 17.01 3	- 17.4 52	1.374
11	181122 .8034	10771 6.9409	- 20.67 8	- 15.14 0	- 15.83 8	- 16.24 4	- 16.49 8	- 16.36 2	- 17.05 9	- 17.07 0	- 16.8 61	1.666

12	181098 .1023	10786 2.0555	- 19.22 5	- 14.90 7	- 16.12 2	- 16.13 6	- 15.28 4	- 16.10 2	- 17.97 3	- 16.61 8	- 16.5 46	1.416
13	181185 .8668	10789 7.5432	- 17.35 3	- 14.58 0	- 12.60 9	- 16.84 2	- 15.42 2	- 15.82 2	- 17.07 4	- 17.46 5	- 15.8 96	1.675
14	181295 .701	10794 2.2257	- 17.88 9	- 14.35 3	- 15.86 8	- 17.14 5	- 15.11 1	- 17.17 7	- 17.26 2	- 16.15 6	- 16.3 70	1.213
15	181293 .2617	10782 7.8604	- 19.03 9	- 15.10 2	- 16.36 4	- 17.94 2	- 14.87 6	- 15.64 5	- 16.56 5	- 15.61 7	- 16.3 94	1.442
16	181723 .0903	10763 7.0942	- 16.88 3	- 13.99 9	- 15.44 1	- 16.35 9	- 16.28 1	- 16.46 1	- 17.21 3	- 14.93 4	- 15.9 46	1.076
17	182034 .6733	10782 1.4997	- 16.53 9	- 15.18 9	- 15.35 3	- 17.32 2	- 15.75 3	- 15.93 8	- 16.67 1	- 15.60 9	- 16.0 47	0.733
18	182319 .9616	10782 0.0451	- 18.12 1	- 14.92 6	- 16.24 9	- 17.48 9	- 15.61 0	- 15.87 6	- 16.48 7	- 15.73 1	- 16.3 11	1.044
19	182163 .9843	10769 0.4779	- 18.40 4	- 14.22 8	- 15.70 7	- 17.89 9	- 17.43 4	- 16.76 6	- 16.66 2	- 15.76 6	- 16.6 08	1.352
20	181971 .5306	10750 0.7947	- 18.06 1	- 15.36 3	- 16.17 8	- 17.01 8	- 16.76 5	- 16.83 0	- 15.46 7	- 16.91 2	- 16.5 74	0.884
21	181779 .1098	10737 6.0143	- 19.44 5	- 15.08 3	- 16.62 5	- 17.76 2	- 17.46 6	- 18.41 3	- 17.41 2	- 17.43 7	- 17.4 55	1.270
22	181928 .673	10713 3.8732	- 17.90 5	- 13.91 1	- 17.46 4	- 17.60 1	- 16.82 1	- 17.09 9	- 14.66 3	- 15.68 4	- 16.3 93	1.475
23	182065 .233	10738 6.8163	- 17.75 6	- 15.73 1	- 16.31 1	- 18.96 1	- 15.92 8	- 17.22 4	- 17.17 5	- 17.97 4	- 17.1 32	1.104
24	182316 .2846	10740 9.6133	- 16.75 5	- 14.12 4	- 16.65 9	- 17.83 7	- 17.86 1	- 17.41 9	- 17.41 8	- 16.94 9	- 16.8 78	1.203
25	182491 .2008	10765 9.7945	- 19.04 4	- 14.40 9	- 17.28 3	- 18.35 8	- 16.95 9	- 17.09 7	- 17.63 2	- 18.83 3	- 17.4 52	1.462
26	182568 .9665	10745 8.4027	- 16.25 7	- 14.99 9	- 15.51 1	- 16.12 3	- 16.54 4	- 18.47 3	- 18.03 4	- 17.82 1	- 16.7 20	1.256
27	182411 .1307	10727 2.5082	- 19.56 6	- 14.54 3	- 16.92 2	- 18.09 1	- 17.29 2	- 18.14 2	- 16.44 3	- 16.01 0	- 17.1 26	1.529
28	182209 .1226	10716 8.6119	- 16.27 8	- 14.80 4	- 17.11 1	- 17.55 6	- 17.68 3	- 16.54 0	- 18.30 5	- 17.96 6	- 17.0 31	1.132
29	182058 .9707	10698 2.2194	- 17.64 5	- 14.24 0	- 16.88 0	- 17.87 6	- 16.77 2	- 17.49 9	- 18.71 7	- 18.96 4	- 17.3 24	1.468
30	182478 .4739	10711 8.1168	- 18.89 0	- 14.94 3	- 17.76 8	- 19.02 3	- 18.46 9	- 17.56 5	- 18.42 3	- 18.31 4	- 17.9 24	1.303

ANEXO XXX - Dados do Índice Clay Ratio

Po nto	POIN T_X	POIN T_Y	02/12/ 2019	11/12/ 2019	02/01/ 2020	05/01/ 2020	10/01/ 2020	04/02/ 2020	19/02/ 2020	10/03/ 2020	Mé dia	Desvio- Padrão
1	180780 .0933	107710 .3708	1.403	1.279	1.314	1.308	1.329	1.371	1.355	1.434	1.3 49	0.052
2	180756 .3238	107858 .2849	1.519	1.305	1.336	1.335	1.340	1.253	1.400	1.480	1.3 71	0.090
3	180838 .9369	108032 .204	1.363	1.266	1.289	1.264	1.276	1.291	1.322	1.335	1.3 01	0.036
4	180932 .5917	108116 .6638	1.360	1.263	1.321	1.292	1.319	1.289	1.324	1.339	1.3 13	0.031
5	181110 .2412	108136 .5066	1.446	1.261	1.318	1.314	1.330	1.343	1.297	1.328	1.3 30	0.053
6	180993 .7889	107998 .5678	1.425	1.274	1.401	1.364	1.380	1.278	1.399	1.514	1.3 79	0.078
7	180930 .1487	107844 .7375	1.425	1.257	1.300	1.299	1.294	1.238	1.323	1.369	1.3 13	0.060
8	180921 .237	107674 .5707	1.430	1.291	1.306	1.332	1.304	1.276	1.370	1.421	1.3 41	0.059
9	180957 .9571	107533 .2924	1.422	1.294	1.304	1.319	1.303	1.358	1.371	1.414	1.3 48	0.051
10	181162 .9547	107572 .896	1.312	1.328	1.384	1.395	1.372	1.171	1.439	1.490	1.3 61	0.096
11	181122 .8034	107716 .9409	1.424	1.294	1.371	1.368	1.337	1.484	1.454	1.520	1.4 06	0.077
12	181098 .1023	107862 .0555	1.450	1.318	1.353	1.360	1.360	1.385	1.445	1.406	1.3 85	0.046
13	181185 .8668	107897 .5432	1.435	1.316	1.338	1.341	1.338	1.391	1.418	1.435	1.3 77	0.049
14	181295 .701	107942 .2257	1.474	1.303	1.358	1.382	1.376	1.386	1.415	1.440	1.3 92	0.052
15	181293 .2617	107827 .8604	1.451	1.300	1.375	1.386	1.393	1.329	1.433	1.624	1.4 11	0.099
16	181723 .0903	107637 .0942	1.222	1.374	1.288	1.578	1.558	1.281	1.360	1.521	1.3 98	0.137
17	182034 .6733	107821 .4997	1.429	1.310	1.289	1.345	1.364	1.261	1.367	1.463	1.3 53	0.068
18	182319 .9616	107820 .0451	1.612	1.406	1.330	1.614	1.611	1.352	1.436	1.526	1.4 86	0.120
19	182163 .9843	107690 .4779	1.470	1.306	1.282	1.303	1.316	1.316	1.351	1.468	1.3 52	0.075
20	181971 .5306	107500 .7947	1.360	1.307	1.278	1.340	1.331	1.189	1.374	1.457	1.3 29	0.078
21	181779 .1098	107376 .0143	1.167	1.529	1.305	1.401	1.397	1.175	1.407	1.581	1.3 70	0.149
22	181928 .673	107133 .8732	1.250	1.396	1.255	1.322	1.306	1.347	1.276	1.298	1.3 06	0.049
23	182065 .233	107386 .8163	1.465	1.315	1.292	1.350	1.344	1.428	1.391	1.405	1.3 74	0.059
24	182316 .2846	107409 .6133	1.503	1.321	1.245	1.325	1.315	1.263	1.268	1.304	1.3 18	0.080
25	182491 .2008	107659 .7945	1.480	1.280	1.277	1.368	1.383	1.253	1.395	1.547	1.3 73	0.103
26	182568 .9665	107458 .4027	1.529	1.308	1.305	1.376	1.418	1.429	1.409	1.583	1.4 20	0.098
27	182411 .1307	107272 .5082	1.498	1.293	1.248	1.302	1.309	1.300	1.304	1.316	1.3 21	0.074

28	182209 .1226	107168 .6119	1.487	1.466	1.229	1.284	1.279	1.222	1.259	1.276	1.3 13	0.104
29	182058 .9707	106982 .2194	1.527	1.517	1.245	1.304	1.309	1.210	1.261	1.304	1.3 35	0.121
30	182478 .4739	107118 .1168	1.571	1.319	1.263	1.316	1.321	1.303	1.294	1.324	1.3 39	0.096

ANEXO XXXI - Correlação entre VV e Ec

Correlação de Pearson						
VV vs Eca (mS/cm)						
Ponto	Coefficiente R	N	T Estatístico	DF	p-value	Intensidade Correlação
1	0.417	8	1.1227	6	0.304	Moderada Positiva
2	-0.561	8	1.6600	6	0.148	Moderada Negativa
3	0.282	8	0.7207	6	0.498	Fraca Positiva
4	-0.167	8	0.4145	6	0.693	Muito Fraca Negativa
5	-0.269	8	0.6852	6	0.519	Fraca Negativa
6	-0.070	8	0.1716	6	0.869	Muito Fraca Negativa
7	-0.522	8	1.4982	6	0.185	Moderada Negativa
8	0.304	8	0.7822	6	0.464	Moderada Positiva
9	0.447	8	1.2249	6	0.267	Moderada Positiva
10	-0.140	8	0.3456	6	0.741	Muito Fraca Negativa
11	0.108	8	0.2660	6	0.799	Muito Fraca Positiva
12	-0.079	8	0.1930	6	0.853	Muito Fraca Negativa
13	-0.050	8	0.1224	6	0.907	Muito Fraca Negativa
14	0.272	8	0.6922	6	0.515	Fraca Positiva
15	-0.488	8	1.3699	6	0.220	Moderada Negativa
16	0.174	8	0.4324	6	0.681	Muito Fraca Positiva
17	-0.108	8	0.2650	6	0.800	Muito Fraca Negativa
18	0.874	8	4.4128	6	0.005	Forte Positiva
19	-0.313	8	0.8064	6	0.451	Moderada Negativa
20	0.038	8	0.0928	6	0.929	Muito Fraca Positiva
21	0.277	8	0.7053	6	0.507	Fraca Positiva
22	-0.195	8	0.4869	6	0.644	Fraca Negativa
23	0.299	8	0.7677	6	0.472	Moderada Positiva
24	-0.026	8	0.0629	6	0.952	Muito Fraca Negativa
25	0.741	8	2.7022	6	0.035	Forte Positiva

26	0.455	8	1.2525	6	0.257	Forte Positiva
27	-0.218	8	0.5467	6	0.604	Fraca Negativa
28	-0.143	8	0.3534	6	0.736	Muito Fraca Negativa
29	0.454	8	1.2475	6	0.259	Moderada Positiva
30	0.826	8	3.5893	6	0.012	Muito Forte Positiva

ANEXO XXXII - Correlação entre VV e VWC

Correlação de Pearson						
VV vs VWC%						
Ponto	Coefficiente R	N	T Estatístico	DF	p-value	Intensidade Correlação
1	0.604	8	1.8586	6	0.112	Moderada Positiva
2	-0.571	8	1.7026	6	0.140	Moderada Negativa
3	0.198	8	0.4956	6	0.638	Muito Fraca Positiva
4	0.279	8	0.7105	6	0.504	Fraca Positiva
5	0.444	8	1.2137	6	0.270	Moderada Positiva
6	0.131	8	0.3229	6	0.758	Muito Fraca Positiva
7	0.566	8	1.6812	6	0.144	Moderada Negativa
8	0.580	8	1.7449	6	0.132	Moderada Positiva
9	0.641	8	2.0465	6	0.087	Moderada Positiva
10	0.391	8	1.0417	6	0.338	Fraca Negativa
11	0.727	8	2.5937	6	0.041	Forte Positiva
12	0.345	8	0.9013	6	0.402	Fraca Positiva
13	-0.276	8	0.7033	6	0.508	Fraca Negativa
14	0.438	8	1.1921	6	0.278	Moderada Positiva
15	0.408	8	1.0939	6	0.316	Moderada Positiva
16	0.174	8	0.4331	6	0.680	Muito Fraca Positiva
17	-0.169	8	0.4199	6	0.689	Muito Fraca Negativa
18	0.761	8	2.8707	6	0.028	Forte Positiva
19	-0.171	8	0.4244	6	0.686	Muito Fraca Negativa
20	-0.003	8	0.0080	6	0.994	Muito Fraca Negativa
21	0.208	8	0.5211	6	0.621	Fraca Positiva
22	0.007	8	0.0162	6	0.988	Muito Fraca Positiva
23	0.422	8	1.1386	6	0.298	Moderada Positiva
24	0.185	8	0.4614	6	0.661	Muito Fraca Positiva

25	0.708	8	2.4587	6	0.049	Muito Forte Positiva
26	0.097	8	0.2394	6	0.819	Muito Fraca Positiva
27	0.037	8	0.0911	6	0.930	Muito Fraca Positiva
28	0.076	8	0.1857	6	0.859	Muito Fraca Positiva
29	0.462	8	1.2763	6	0.249	Moderada Positiva
30	0.441	8	1.2028	6	0.274	Moderada Positiva

ANEXO XXXIII - Correlação Entre VH e Ec

Correlação de Pearson						
VH vs Eca (mS/cm)						
Ponto	Coeficiente R	N	T Estatístico	DF	p-value	Intensidade Correlação
1	0.911	8	5.4157	6	0.002	Muito Forte Positiva
2	-0.748	8	2.7615	6	0.033	Forte Negativa
3	-0.254	8	0.6440	6	0.543	Fraca Negativa
4	-0.571	8	1.7018	6	0.140	Moderada Negativa
5	-0.465	8	1.2863	6	0.246	Moderada Negativa
6	-0.689	8	2.3255	6	0.059	Forte Negativa
7	-0.318	8	0.8203	6	0.443	Fraca Negativa
8	0.753	8	2.8038	6	0.031	Forte Positiva
9	-0.305	8	0.7840	6	0.463	Fraca Negativa
10	-0.093	8	0.2287	6	0.827	Muito Fraca Negativa
11	0.408	8	1.0951	6	0.315	Moderada Positiva
12	0.618	8	1.9231	6	0.103	Moderada Positiva
13	0.019	8	0.0476	6	0.964	Muito Fraca Positiva
14	0.700	8	2.3985	6	0.053	Forte Positiva
15	-0.505	8	1.4330	6	0.202	Moderada Negativa
16	0.485	8	1.3590	6	0.223	Moderada Positiva
17	-0.258	8	0.6534	6	0.538	Fraca Negativa
18	0.419	8	1.1296	6	0.302	Moderada Positiva
19	-0.467	8	1.2940	6	0.243	Moderada Negativa
20	0.112	8	0.2752	6	0.792	Muito Fraca Positiva
21	0.251	8	0.6364	6	0.548	Fraca Positiva
22	0.338	8	0.8793	6	0.413	Fraca Positiva
23	0.185	8	0.4616	6	0.661	Muito Fraca Positiva

24	-0.226	8	0.5672	6	0.591	Fraca Negativa
25	0.751	8	2.7883	6	0.032	Forte Positiva
26	0.458	8	1.2629	6	0.253	Moderada Positiva
27	0.495	8	1.3966	6	0.212	Moderada Positiva
28	0.700	8	2.4037	6	0.053	Forte Positiva
29	0.740	8	2.6939	6	0.036	Forte Positiva
30	0.717	8	2.5216	6	0.045	Forte Positiva

ANEXO XXXIV - Correlação entre VH e VWC

Correlação de Pearson						
VH vs VWC%						
Ponto	Coefficiente R	N	T Estatístico	DF	p-value	Intensidade Correlação
1	0.819	8	3.4974	6	0.013	Muito Forte Positiva
2	-0.615	8	1.9091	6	0.105	Forte Negativa
3	-0.372	8	0.9819	6	0.364	Fraca Negativa
4	-0.277	8	0.7067	6	0.506	Moderada Negativa
5	-0.524	8	1.5054	6	0.183	Moderada Negativa
6	-0.575	8	1.7235	6	0.136	Forte Negativa
7	0.235	8	0.5925	6	0.575	Fraca Negativa
8	0.866	8	4.2472	6	0.005	Forte Positiva
9	0.573	8	1.7132	6	0.138	Fraca Negativa
10	0.277	8	0.7054	6	0.507	Muito Fraca Negativa
11	0.952	8	7.5888	6	0.000	Moderada Positiva
12	0.817	8	3.4733	6	0.013	Moderada Positiva
13	0.170	8	0.4236	6	0.687	Muito Fraca Positiva
14	0.465	8	1.2857	6	0.246	Forte Positiva
15	0.294	8	0.7543	6	0.479	Moderada Negativa
16	0.080	8	0.1955	6	0.851	Moderada Positiva
17	-0.344	8	0.8970	6	0.404	Fraca Negativa
18	-0.244	8	0.6156	6	0.561	Moderada Positiva
19	-0.454	8	1.2478	6	0.259	Moderada Negativa
20	-0.393	8	1.0471	6	0.335	Muito Fraca Positiva
21	-0.271	8	0.6904	6	0.516	Fraca Positiva
22	-0.186	8	0.4641	6	0.659	Fraca Positiva

23	0.024	8	0.0578	6	0.956	Muito Fraca Positiva
24	-0.399	8	1.0649	6	0.328	Fraca Negativa
25	0.623	8	1.9489	6	0.099	Forte Positiva
26	0.582	8	1.7524	6	0.130	Moderada Positiva
27	-0.040	8	0.0976	6	0.925	Moderada Positiva
28	0.450	8	1.2339	6	0.263	Forte Positiva
29	0.623	8	1.9507	6	0.099	Forte Positiva
30	0.232	8	0.5854	6	0.580	Forte Positiva

ANEXO XXXV - Correlação entre Clay Ratio e Ec

Correlação de Pearson						
Clay Ratio vs ECa (mS/cm)						
Ponto	Coeficiente R	N	T Estatístico	DF	p-value	Intensidade Correlação
1	-0.353	8	0.9237	6	0.391	Moderada Negativa
2	0.289	8	0.7390	6	0.488	Fraca Positiva
3	0.522	8	1.4972	6	0.185	Moderada Positiva
4	0.754	8	2.8096	6	0.031	Forte Positiva
5	0.909	8	5.3311	6	0.002	Muito Forte Positiva
6	0.450	8	1.2340	6	0.263	Forte Positiva
7	0.619	8	1.9291	6	0.102	Forte Positiva
8	-0.737	8	2.6728	6	0.037	Forte Negativa
9	-0.071	8	0.1745	6	0.867	Muito Fraca Negativa
10	-0.307	8	0.7910	6	0.459	Fraca Negativa
11	0.364	8	0.9566	6	0.376	Moderada Positiva
12	-0.438	8	1.1944	6	0.277	Moderada Negativa
13	-0.565	8	1.6794	6	0.144	Moderada Negativa
14	-0.480	8	1.3411	6	0.228	Moderada Negativa
15	0.300	8	0.7704	6	0.470	Forte Positiva
16	-0.313	8	0.8075	6	0.450	Fraca Negativa
17	0.012	8	0.0284	6	0.978	Muito Fraca Positiva
18	-0.353	8	0.9229	6	0.392	Fraca Negativa
19	-0.165	8	0.4104	6	0.696	Moderada Negativa
20	-0.231	8	0.5816	6	0.582	Fraca Negativa
21	-0.002	8	0.0047	6	0.996	Muito Fraca Negativa

22	0.636	8	2.0206	6	0.090	Moderada Positiva
23	-0.785	8	3.1029	6	0.021	Forte Negativa
24	0.063	8	0.1552	6	0.882	Muito Fraca Positiva
25	-0.170	8	0.4222	6	0.688	Fraca Negativa
26	-0.181	8	0.4514	6	0.668	Fraca Negativa
27	-0.105	8	0.2578	6	0.805	Muito Fraca Negativa
28	0.824	8	3.5677	6	0.012	Forte Positiva
29	0.680	8	2.2710	6	0.064	Moderada Positiva
30	-0.042	8	0.1027	6	0.922	Muito Fraca Negativa

ANEXO XXXVI - Correlação entre Clay Ratio e VWC

Correlação de Pearson						
Clay Ratio vs VWC%						
Ponto	Coefficiente R	N	T Estatístico	DF	p-value	Intensidade Correlação
1	-0.508	8	1.4443	6	0.199	Forte Negativa
2	-0.205	8	0.5118	6	0.627	Fraca Negativa
3	0.176	8	0.4385	6	0.676	Muito Fraca Positiva
4	0.361	8	0.9477	6	0.380	Fraca Positiva
5	0.679	8	2.2633	6	0.064	Moderada Positiva
6	0.150	8	0.3712	6	0.723	Fraca Positiva
7	0.353	8	0.9236	6	0.391	Fraca Positiva
8	-0.748	8	2.7630	6	0.033	Forte Negativa
9	-0.721	8	2.5466	6	0.044	Forte Negativa
10	-0.055	8	0.1353	6	0.897	Muito Fraca Negativa
11	-0.145	8	0.3581	6	0.733	Muito Fraca Negativa
12	-0.935	8	6.4339	6	0.001	Muito Forte Negativa
13	-0.701	8	2.4064	6	0.053	Forte Negativa
14	-0.329	8	0.8526	6	0.427	Fraca Negativa
15	0.027	8	0.0670	6	0.949	Muito Fraca Positiva
16	0.048	8	0.1173	6	0.910	Muito Fraca Positiva
17	0.155	8	0.3846	6	0.714	Fraca Positiva
18	0.238	8	0.6014	6	0.570	Fraca Positiva
19	-0.206	8	0.5150	6	0.625	Moderada Negativa
20	-0.159	8	0.3947	6	0.707	Fraca Negativa

21	-0.328	8	0.8493	6	0.428	Moderada Negativa
22	0.510	8	1.4520	6	0.197	Moderada Positiva
23	-0.623	8	1.9497	6	0.099	Moderada Negativa
24	-0.106	8	0.2617	6	0.802	Muito Fraca Negativa
25	-0.199	8	0.4983	6	0.636	Fraca Negativa
26	-0.152	8	0.3765	6	0.720	Fraca Negativa
27	-0.145	8	0.3589	6	0.732	Muito Fraca Negativa
28	0.440	8	1.1993	6	0.276	Moderada Positiva
29	0.587	8	1.7773	6	0.126	Moderada Positiva
30	0.087	8	0.2151	6	0.837	Muito Fraca Positiva