

THYAGO ANTHONY SOARES LIMA

Caracterização hidrogeológica e uso da água de um sector das areias, arenitos
e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA - ISE
FACULDADE DE CIENCIA E TECNOLOGIA - FCT

FARO, 2020

THYAGO ANTHONY SOARES LIMA

Caracterização hidrogeológica e uso da água de um sector das areias, arenitos
e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo

Mestrado em Geomática

(Especialidade análise de sistemas ambientais)

Trabalho efetuado sob orientação de:

Prof. Dr. José Paulo Patrício Geraldês Monteiro

Coorientação:

Msc. Luis Ricardo Dias da Costa



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA - ISE

FACULDADE DE CIENCIA E TECNOLOGIA - FCT

FARO, 2020

Caracterização hidrogeológica e uso da água de um sector das areias, arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo

Declaração de Autoria do Trabalho

Declaro ser autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam na listagem de referências incluída.

THYAGO ANTHONY SOARES LIMA

Copyright Thyago Anthony Soares Lima

A Universidade do Algarve tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicitar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Dedicatória

Este trabalho de pesquisa é dedicado em especial minha mãe, sua grande força foi a mola propulsora que permitiu o meu avanço, mesmo durante os momentos mais difíceis. Agradeço do fundo do meu coração. Ao meu pai, pelo apoio incondicional, os dois juntos são os maiores incentivadores das realizações dos meus sonhos. E ao meu amado filho, minha razão de viver, o motivo que eu encontro todos os dias para levantar da cama e enfrentar a vida.

Muito obrigado.

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado com o contributo de várias pessoas, sem o qual não teria sido possível a sua realização. Por esse motivo, manifesto a minha sentida gratidão e reconhecimento. Gostaria de deixar, de forma especial, o meu agradecimento a todos os docentes do Mestrado em Geomática, pela forma assumidamente competente e reconhecidamente doutra com que transmitiram e partilharam conhecimentos sobre os temas das necessidades educativas especiais e da comunicação e linguagem. Em especial ao Professor Fernando Martins, uma pessoa prestativa, de caráter sem igual, um professor mais humano que já conheci! E a Professora Helena Fernandez, sempre dedicada, que me tratou com simpatia e educação! Um agradecimento também especial ao orientador Professor Doutor José Paulo Monteiro, por disponibilizar seu apoio e conhecimento para a realização do presente trabalho.

Ao Projecto LIFE “Conservação de Charcos Temporários na Costa Sudoeste de Portugal”, LIFE12NAT/PT/997, financiado pela Comissão Europeia, e a Universidade do Algarve, pela disponibilização dos dados que sustentaram esse trabalho, sem este apoio não seria possível a concretização desta dissertação.

Ao meu colega de laboratório Luis Costa, pela sua permanente disponibilidade, ajuda e apoio prestado, aqui há uma imensa gratidão de minha parte! Um agradecimento às colegas de mestrado que com a sua jovialidade e motivação que sempre apoiaram na realização deste trabalho. Em especial aos meus amigos Filipe Pereira, Andersson Pontes, Janaina Rugueri, João Castanheiro e Rogério Puccarelli.

Há um agradecimento especial a meus anjos lusos, Luis Fernando e Sara Mora, Uma imensa Gratidão a Marta Melo e a David Tesch.

Agradeço ao meu Pai, José Lima, por todo apoio, amo-te, agradeço a minha Mãe, Leocádia Soares, por todo afeto, carinho, apoio, esforço. Não há adjetivos para descrever e para agradecer, apenas dizer que devo tudo a ela, e só tenho amor por isso!

Agradeço a mãe do meu filho, Caterinne Seixas, por cuidar e amá-lo em minha ausência, isso me faz ser tão grato! Agradeço, ao meu filho, Benjamin, que é a base e o motivo para que suplantar qualquer que seja a adversidade.

Aqueles que não nomeamos por lapso, mas que igualmente me apoiaram, expresso também os meus sinceros agradecimentos tão sentidos quanto outros.

Resumo

Na presente dissertação discutem-se as tarefas necessárias para realizar a caracterização hidrogeológica das areias, arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo. Até à actualidade esta caracterização foi efectuada em detalhe apenas nas áreas em que estas formações constituem unidades hidroestratigráficas dos sistemas aquíferos de Sines e da Bacia de Alvalade. Além de caracterizar o sistema hidrogeologicamente, estimou-se o volume de água utilizado para rega na área em estudo, com o objectivo de caracterizar a sua evolução inter-anual entre 2000 e 2018 e intra-anual para o ano de 2018. Para tal recorreram-se a métodos de deteção remota e tratamento de imagens de satélite (LANDSAT 5 e 8 e MODIS). Apresenta-se assim uma síntese da caracterização hidrogeológica desta formação numa área de 195,8 km², dividida em dois sectores aquíferos, um situado a norte do Rio Mira com 94,12 km² e outro a sul com 101,75 km². A primeira etapa do trabalho consistiu na análise da recarga dos aquíferos em estudo com base na precipitação e na análise de dados de piezometria de forma a definir o modelo conceptual de funcionamento hidráulico do sistema. Os dados disponíveis foram obtidos a partir de trabalhos de campo, e do Projecto LIFE-Charcos (LIFE12NAT/PT/997). Paralelamente, realizou-se uma análise de uso e ocupação do solo, com particular destaque para a identificação das áreas de rega. Finalmente, procedeu-se à determinação do volume de água usado na rega agrícola recorrendo ao método de estimativa de uso consuntivo de água na rega à escala local, a partir da determinação dos valores de evapotranspiração, através do algoritmo SEBAL, precipitação, e eficiência de rega. Os resultados obtidos foram validados, com alta precisão, através da comparação com os volumes de rega conhecidos durante o ano de 2018, e da calibração do modelo do balanço hídrico sequencial mensal ao nível do solo.

Palavras Chave: sistema aquífero da das areias, arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo; hidrogeologia; Rega; Deteção Remota

ABSTRACT

This dissertation discusses the necessary tasks to carry out the hydrogeological characterization of the sands, sandstones, and gravels of the Baixo Alentejo coast. Currently, this characterization has done in detail only in the areas where these formations constitute hydro-stratigraphic units of the aquifer systems of Sines and the Alvalade Basin. In addition to system hydrogeological characterization of the system, the volume of water used for irrigation in the study area was estimated, with the aim of characterizing its inter-annual evolution between 2000 and 2018 and intra-annual for the year 2018. To do so, remote sensing and satellite image processing methods were used (LANDSAT 5 and 8 and MODIS). A synthesis of the hydrogeological characterization is presented in an area of 195.8 km², divided into two aquifer sectors, one located north of the Mira River with 94.12 km² and the other south with 101.75 km². The first stage of the work consisted of the analysis of the studied aquifers recharge based on precipitation and the analysis of piezometry data in order to define the conceptual model of hydraulic functioning of the system. The available data were obtained from fieldwork and from the LIFE-Charcos Project (LIFE12NAT / PT / 997). In parallel, an analysis of land use and occupation performed, with emphasis on the identification of irrigation areas. Finally, the volume of water used in agriculture irrigation was determined using the method of estimating the consumptive use of water in irrigation at a local scale, based on the determination of evapotranspiration values, using the algorithm SEBAL, precipitation, and irrigation efficiency. The results obtained were validated, with high precision, through the comparison with the irrigation volumes known during 2018, and the calibration of the monthly sequential water balance model at ground level.

Key words: aquifer system of sands, sandstones and gravels of the Baixo Alentejo coast; hydrogeology; Irrigation; Remote Sensing.

Índice

Dedicatória	i
Agradecimentos.....	ii
Resumo	iii
Abstract	iv
Índice	v
Índice Figuras	vii
Índice Tabelas e Quadros	xi
Índice Equações	xiii
1.Introdução	1
2.Caracterização Da Área de Estudos	4
2.1. Localização Geográfica	4
2.2. Geologia e Relevo	6
2.2.1. <i>Declividade e Hipsometria</i>	10
2.3. Hidrografia	18
2.4. Caracterização Climatológica	22
2.4.1. <i>Precipitação</i>	24
2.4.2. <i>Evapotranspiração Potencial</i>	32
2.5. Caracterização do Uso e Ocupação do Solo.....	33
3. Hidrogeologia.....	43
3.1. Balanço Hidrogeológico.....	44
3.2. Balanço Hídrico Sequencial Mensal ao Nível do Solo.....	55
3.3. Caracterização Piezométrica	64
3.4. Série Piezométrica.....	73
4. Estimativa de Rega por meio de deteção remota.....	76

4.1. Separação das Parcelas Agrícolas e Não Agrícolas.....	78
4.2. Estimativa de Evapotranspiração.....	81
4.3. Identificação das áreas agrícolas regadas e não regadas.....	87
4.4. Estimativa da Precipitação.....	91
4.5. Coeficiente relativo à eficiência da rega.....	95
4.6. Estimativa do volume de água usado na rega.....	96
5. Validação dos Resultados.....	106
5.1. Validação do Volume De Rega Estimado Via Detecção Remota.....	106
5.1.1. <i>Verificação da precisão e coerência das Estimativas inter-anual e intra-anual.....</i>	<i>108</i>
5.2. Calibração e validação do modelo do balanço hídrico sequencial mensal ao nível do solo.....	109
6. Conclusão.....	114
Revisão Bibliográficas.....	119
Anexos.....	128

Índice de Figuras

Figura 1- Carta de Localização.....	5
Figura 2- Geologia.....	7
Figura 3- Localização do aquífero em relação as demais massas de águas subterrâneas	9
Figura 4- Declividade.....	11
Figura 5- Hipsometria	13
Figura 6- Rugosidade Topográfica	14
Figura 7- Perfil Topográfico	15
Figura 8- Perfis Topográficos	16
Figura 9-Perfil Topográfico/Relevo	17
Figura 10- Hidrografia	19
Figura 11- Bacias Hidrográficas	21
Figura 12- Localização Estações Meteorológicas.....	23
Figura 13- Mapa de Isolinhas.....	29
Figura 14 – Precipitação X Altitude	30
Figura 15-Valores médios plurianuais mensais de precipitação (série 1959/60 – 1990/91)	31
Figura 16 -Valores médios anuais de precipitação (série 1959/60 – 1990/91)	32
Figura 17- Valores médios anuais de Evapotranspiração Potencial (série 1941-1970)	33
Figura 18 – Uso e Ocupação do Solo.....	34
Figura 19 – Uso e Ocupação do Solo-Percentagem	35
Figura 20 - Uso e Ocupação do Solo- Agricultura	40
Figura 21 - Uso do Solo (Demais usos / Áreas Artificializadas)	41

Figura 22- Uso do Solo (Sistemas Agroflorestais / Florestas)	42
Figura 23- Uso do Solo (Pastagens)	42
Figura 24- Rede Ortogonal da precipitação média anual para a série de 1959/60- 1990/91	46
Figura 25 – Volume médio Anual de recarga	47
Figura 26-Volume Anual Médio de Escoamento - Ano Seco	48
Figura 27-Volume Anual Médio de Escoamento - Ano Húmido.....	48
Figura 28-Disponibilidade Hídrica- Ano Seco	50
Figura 29- Disponibilidade Hídrica - Ano Húmido.....	51
Figura 30-Disponibilidade Hídrica - Anual	52
Figura 31- Disponibilidade Hídrica mês a mês	52
Figura 32- Disponibilidade Hídrica Anual- Ano Seco.....	53
Figura 33- Disponibilidade Hídrica Anual- Ano Húmido.....	54
Figura 34- Disponibilidade Hídrica Anual- Normal.....	55
Figura 35-Balanço Hídrico Sequencial do Aquífero das areias, arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo/ Estação Odemira	57
Figura 36-Balanço Hídrico Sequencial do Aquífero das areias, arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo/ Estação Santiago do Cacém -	58
Figura 37-Balanço Hídrico Sequencial do Aquífero das areias, arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo/Estação Odemira (Sector Sul)	60
Figura 38-Balanço Hídrico Sequencial do Aquífero das areias, arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo/Estação Santiago do Cacém (Sector Sul)	61

Figura 39- Balanço Hídrico Sequencial do Aquífero das areias, arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo / Estação Santiago do Cacém (Sector Norte)	62
Figura 40-Balanço Hídrico Sequencial do Aquífero das areias, arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo / Estação Odemira (Sector Norte)	64
Figura 41-Localização dos Pontos de coletas Piezométricas Sector Norte	66
Figura 42-Localização dos Pontos de coletas Piezométricas Sector Sul	67
Figura 43- Boxplot- Variação e Sentido Piezométrico	70
Figura 44- Sentidos de Escoamento	72
Figura 45- Modelo Conceptual	73
Figura 46- Variação Piezométrica (dados obtidos no projecto LIFE Charcos) e da Precipitação (Estação Meteorológica Automática de Odemira)	74
Figura 47- Variação Piezométrica Sector Norte (dados obtidos no projecto LIFE Charcos) e da Precipitação (Estação Meteorológica Automática de Odemira)	75
Figura 48- Variação Piezométrica Sector Sul (dados obtidos no projecto LIFE Charcos) e da Precipitação (Estação Meteorológica Automática de Odemira)	75
Figura 49 -Sobreposição do Padrão espectro-visual / Uso do Solo	79
Figura 50- Clip Agricultura/ Imagem Landsat8	80
Figura 51- Fluxograma SEBAL	83
Figura 52- Evapotranspiração Julho 2013(SEBAL)	86
Figura 53- NDVI- agosto 2018	89
Figura 54- Distinção das parcelas irrigadas	90
Figura 55- Precipitação 26 de Janeiro 2018	94
Figura 56- Volume de Água para rega- Maio- 2018	98
Figura 57- Relação Volume de Rega X Área Agrícola para o período seco	99

Figura 58 - Relação Volume de Rega X Área Agrícola para o período seco no Sector Sul	100
Figura 59 - Relação Volume de Rega X Área Agrícola para o período seco no Sector Norte	101
Figura 60- Relação Volume de Rega X Área Agrícola para o período húmido.....	102
Figura 61-Relação Volume de Rega X Área Agrícola para o período húmido no sector Sul.....	103
Figura 62- Relação Volume de Rega X Área Agrícola para o período húmido no sector Norte.....	103
Figura 63- Relação Volume de Rega X Área Agrícola para o Ano de 2018.....	104
Figura 64- Relação Volume de Rega X Área Agrícola para o Ano de 2018 no Sector Sul.....	105
Figura 65 - Relação Volume de Rega X Área Agrícola para o Ano de 2018 no Sector Norte.....	105
Figura 66 -Área de Ocupação agrícola do Sector Sul em relação ao perímetro de rega do Rio Mira.....	107
Figura 67 -Balanço Hídrico Sequencial do Aquífero das areias, arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo/ Estação Odemira– Sector Sul / com capacidade de campo ajustada.....	111
Figura 68 -Balanço Hídrico Sequencial do Aquífero das areias, arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo/ Estação Santiago do Cacém – Sector Sul / com capacidade de campo ajustada.....	112

Índice de Quadros e Tabelas

Tabela 1- Estações Meteorológicas	22
Tabela 2- Precipitação, Estação de ODEMIRA, valores de precip. med. anual mensal da serie 1953/1995 e 2001/2009	24
Tabela 3- Precipitação, Estação de CERCAL DO ALENTEJO, valores de precip. média anual mensal da serie 1953/1995 e 2001/2009.....	26
Tabela 4 – Parâmetros Estatísticos Calculados para os valores de precipitação média anual mensal da serie 1953/1995 e 2001/2009, da Estação de CERCAL DO ALENTEJO.....	28
Tabela 5- Parâmetros Estatísticos Calculados para os valores de precipitação média anual mensal da serie 1953/1995 e 2001/2009, da Estação de ODEMIRA	28
Tabela 6- Valores de Média Mensal de Evapotranspiração Potencial (Thorntwaite), das Estações de Odemira e Santiago do Cacém do periodo anual de 1941/1970	32
Tabela 7- Uso e ocupação do Solo.....	36
Tabela 8 - Balanço Hídrico Sequencial Mensal (Dados de EVP. Mensal da estação de Odemira, série (1941-1970) e Precipitação da série de1959/60 – 990/91)	56
Tabela 9- Balanço Hídrico Sequencial Mensal (Dados de EVP. Mensal da estação de Santiago do Cacém, série (1941-1970) e Precipitação da série de1959/60 – 1990/91)	58
Tabela 10-Balanço Hídrico Sequencial Mensal (Dados de EVP. Mensal da estação de Odemira, série (1941-1970) e Precipitação da série do sector Sul 1959/60 – 1990/91)	59
Tabela 11 -Balanço Hídrico Sequencial Mensal (Dados de EVP. Mensal da estação de Santiago do Cacém, série (1941-1970) e Precipitação da série do sector Sul 1959/60 – 1990/91)	60

Tabela 12- Balanço Hídrico Sequencial Mensal (Dados de EVP. Mensal da estação de Santiago do Cacém, série (1941-1970) e Precipitação da série do sector Norte 1959/60 – 1990/91)	62
Tabela 13- Balanço Hídrico Sequencial Mensal (Dados de EVP. Mensal da estação de Odemira, série (1941-1970) e Precipitação da série do sector Norte 1959/60 – 1990/91)	63
Tabela 14-Dados Piezométricos.....	68
Tabela 15- Volumes de rega totais calculados para o ano de 2018.....	108
Tabela 16 - Volumes de rega total para o Período seco e Período Húmido calculados para o ano de 2018.....	109
Tabela 17- Comparativo de Valores de Volumes do Déficit Hídrico do Balanço Sequencial Hídrico, e de dados medidos de volume de rega proveniente do perímetro irrigado do Mira.....	110
Tabela 18- Balanço Hídrico Sequencial Mensal (Dados de EVP. Mensal da estação de Odemira, série (1941-1970) e Precipitação da série de 1959/60 – 1990/91), Sector Sul, com capacidade de campo ajustada.....	110
Tabela 19- Balanço Hídrico Sequencial Mensal (Dados de EVP. Mensal da estação de Santiago do Cacém, série (1941-1970) e Precipitação da série de 1959/60 – 1990/91), Sector Sul, com capacidade de campo ajustada.....	112
Tabela 20- Comparativo de Valores de Volumes estimados pelas 3 metodologias Aplicadas: Déficit Hídrico do Balanço Sequencial Hídrico, Volume de rega através de deteção remota e dados medidos de volume de rega proveniente do perímetro irrigado do Mira.....	113

Índice de Equações

Equação 1- Disponibilidade Aquífera (Eq.1)	49
Equação 2- Evapotranspiração real e os excedentes ou déficits hídricos mensais (Eq.2)	56
Equação 3- Fluxo de Calor Latente (Eq.3).....	81
Equação 4- NDVI (Eq.4).....	88
Equação 5- Volume de Rega (Eq.5).....	96

1. Introdução

O actual trabalho consiste na estimativa de volumes de rega utilizados, através de metodologias de deteção remota, num sector da formação das areias, arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo situado nas Bacias hidrográficas do Rio Mira e do Rio Sado que se estende desde as proximidades da Barragem de Morgavel, a norte, até cerca de 5 km a sul do Cabo Sardão.

Pretende-se dar continuidade ao trabalho de caracterização hidrogeológica desta formação no litoral alentejano (Monteiro et al., 2019) com o intuito de identificar e caracterizar uma formação aquífera que ocupa uma área de 195,8 km², dividida em dois sectores aquíferos, um situado ao norte do Rio Mira com 94,12 km² e outro a sul com 101,75 km², o sector norte apresenta áreas agrícolas com uso da água proveniente dos aquíferos em estudo enquanto que no sector sul, as áreas agrícolas são regadas predominantemente com água de superfície, uma vez que este sector é abrangido pelo perímetro de rega do rio Mira.

A área de estudo abrange compartimentos geológicos sedimentares, de origem do período quaternário, constituídos por rochas não consolidadas como areias, arenitos e cascalheiras formando uma plataforma ocupada por tais sedimentos, sobretudo os arenosos, muito remodelado devido à actividade agrícola actual. Quanto às praias do litoral marinho podem ser formadas por dois tipos, areias e cascalhos. Ambas ocupam reentrâncias na costa, herdadas da erosão do substrato rochoso sobre o qual assentam. Este substrato é maioritariamente constituído por xistos, grauvaques e quartzitos das Formações de Mira.

O estudo apresentado foi possível, numa primeira fase, devido ao suporte base sustentado por dados obtidos desde 2012, em trabalhos desenvolvidos por pesquisadores da Universidade do Algarve (UALG), sobretudo o Projecto LIFE “Conservação de Charcos Temporários na Costa Sudoeste de Portugal”, LIFE12NAT/PT/997. Este projecto procedeu-se à construção de piezómetros, inventariação de pontos de água superficial e subterrânea, medição de níveis com sonda manual, instalação de sensores de condutividade elétrica, temperatura e nível em contínuo.

O trabalho teve como objetivo principal a caracterização das formações aquíferas do quaternário localizadas no sudoeste do Baixo Litoral Alentejano. Esta caracterização engloba uma caracterização geográfica e geométrica do sistema, além da geologia e mais especificamente parâmetros hidrogeológicos. Adicionalmente, quantificou-se o balanço anual médio (recarga, descarga e escoamento), procedeu-se ao mapeamento da disponibilidade hídrica do aquífero, cálculo do balanço sequencial mensal ao nível do solo, e estabeleceu-se um modelo conceptual de funcionamento hidráulico do aquífero.

Além de caracterizar o sistema, o trabalho objetiva também estimar o volume de água utilizado na irrigação da área agrícola na área de estudo, através de métodos de deteção remota. Através da utilização de imagens de satélites, nomeadamente, TM/Landsat 5, OLI/Landsat 8, e MODIS Terra/Aqua, e da aplicação do Algoritmo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land), que foi reproduzido e aplicado em linguagem programacional denominada Python.

Tendo como resultado o volume de água utilizado para rega na área de estudo, com a produção de estimativas para o período seco e húmido entre os anos de 2000 a 2018, e, adicionalmente, estimou-se a utilização mensal para o ano de 2018.

Por fim os resultados foram analisados e validados, sendo conferido a integridade e confiabilidade dos dados.

A tese encontra-se dividida em sete capítulos. A primeira parte corresponde à introdução. Neste capítulo enquadra-se o trabalho realizado ao nível da motivação e objetivos. Também é neste capítulo que descreve, de uma forma sucinta os temas a abordar nos capítulos que estruturam a dissertação e que se seguem.

No segundo capítulo descrevem-se diferentes características da área em estudo. Serão abordados os seguintes temas: a Localização geográfica, Geologia, Hipsometria, Declividade, Hidrografia, Climatologia, e Uso e Ocupação do Solo, onde serão apresentados mapas, tabelas e gráficos com informações fisiográficas da área em estudo, além de apresentar o tratamento de dados meteorológicos e climáticos que são extremamente necessários para cálculo da recarga anual média da formação em estudo com base em estimativas da precipitação anual média, precipitações plurianuais mensais e os anos secos e húmidos para a série climática 1959/60 - 1990/91 da autoria de Nicolau (2002).

Adicionalmente foram analisados dados de evapotranspiração potencial, oriundos

das Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), para as estações de Odemira e Santiago do Cacém. Foi também realizada uma análise de ocupação e uso do solo.

No capítulo 3 apresenta-se uma descrição Hidrogeológica com dados de volume de recarga anual média a longo prazo em regime permanente, bem como para anos húmidos e secos e também as séries plurianuais mensais. É feita uma análise no que respeita aos parâmetros hidráulicos do sistema, em particular, à taxa de infiltração e recarga anual, além da disponibilidade hídrica do sistema. Adicionalmente, procedeu-se ao cálculo do balanço hídrico sequencial mensal ao nível do solo e ao estabelecimento de um modelo conceptual de funcionamento hidráulico dos dois sectores em que se dividem as formações aquíferas, com base no estudo da piezometria. Adicionalmente, estimaram-se as condições e direções de fluxo subterrâneo.

No 4 capítulo realiza-se a descrição do tratamento de dados dos satélites TM - Landsat 5, OLI/TIRS - Landsat 8 e MODIS-Aqua, para a estimativa do volume usado na área de rega presente no território em estudo, bem como a validação do resultado obtido pós processamento. Neste capítulo, detalha-se todo o processo aplicado para a determinação da quantidade volumétrica de água utilizada na área de rega do sector Norte, que depende essencialmente de água subterrânea para irrigação na agricultura, e do sector Sul que recorre a água superficial do perímetro de rega do Rio Mira para rega agrícola.

No capítulo 5 executa-se a validação do volume de água de rega estimado via deteção remota, e a calibração do modelo do balanço hídrico sequencial mensal ao nível do solo, a fim de verificar a precisão dos métodos aplicados.

Finalmente no capítulo 6 efetua-se uma recapitulação de todo o trabalho desenvolvido, juntamente com a apresentação das considerações finais e descrição das conclusões que foram possíveis retirar do trabalho realizado.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

No presente capítulo procede-se à revisão do conhecimento atual acerca das areias, arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo. Serão abordados temas, tais como: a localização geográfica, geologia, hidrografia, climatologia e uso e ocupação do solo.

2.1. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA

A secção da formação das areias, arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo pertencente à área de estudo situa-se numa área que se estende desde as proximidades da Barragem de Morgavel, a Norte, até cerca de 5 km a sul do Cabo Sardão, na região do Alentejo. (Figura 1)

A região geográfica de localização deste sistema abrange os concelhos de Sines e Odemira, ocupando uma área total de 195,8 km². No enquadramento cartográfico cobre as folhas 526, 527, 535, 536, 544, 545, 552, 553, 560, 561, 568, 576, da Carta Topográfica à escala 1:25000 do IGeoE.

Sendo o aquífero localizado nos limites do quadrante de coordenadas Latitudes 37° 54' 16" para o limite mais a norte, 37° 33' 11" para o limite mais a sul; e para Longitudes: 8° 48' 00" para o limite mais oeste, 8° 42' 22" para o limite mais a leste, dentro do sistema de Projecção, datum ETRS 89.

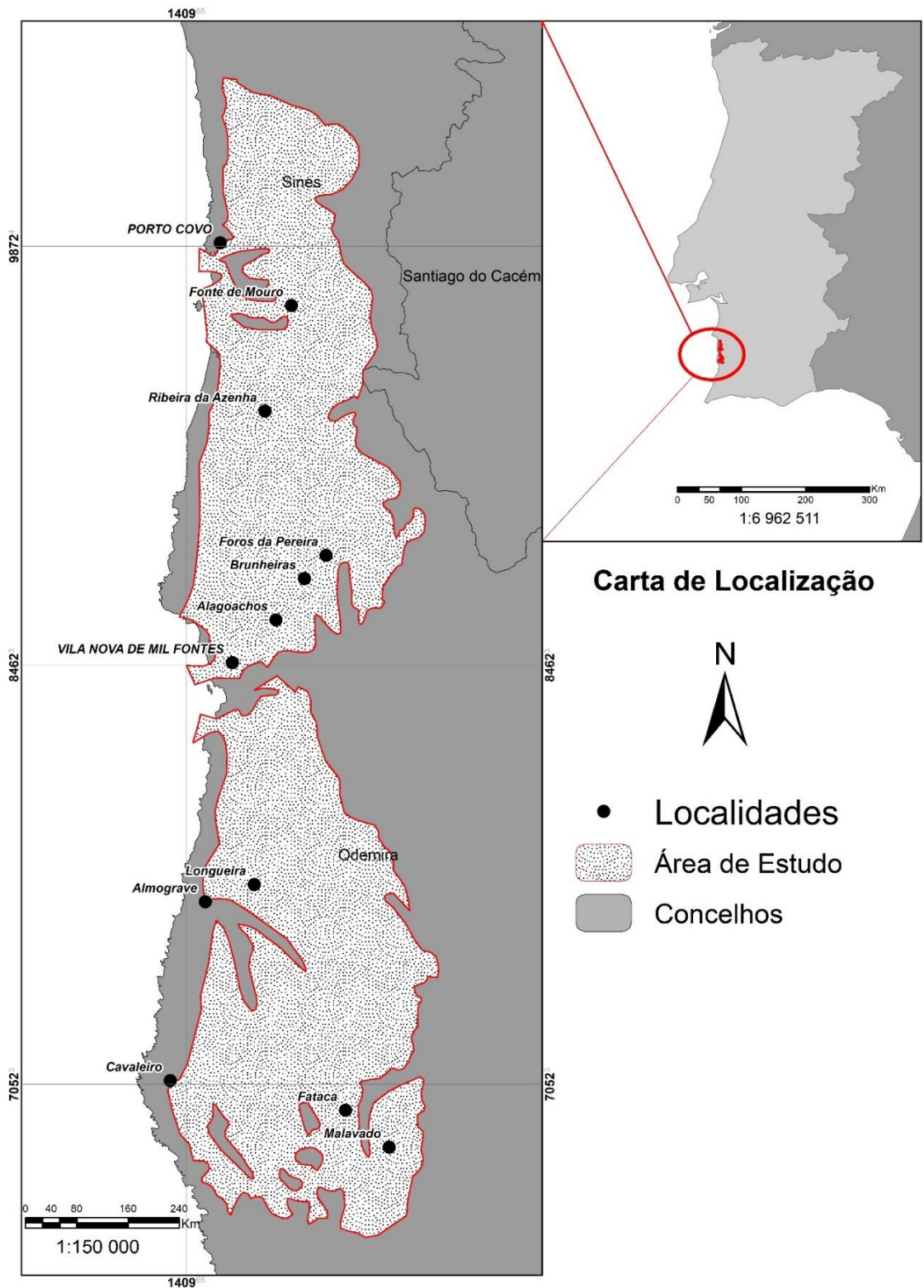


Figura 1- Carta de Localização

2.2. Geologia e Relevo

As areias, arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo em estudo no presente projecto localizam-se numa vasta área do litoral alentejano na qual se sobrepõem maioritariamente sobre as formações de Mira (Namuriano e Westfaliano) e, numa área mais modesta, a Sul, sobre a formação da Brejeira (Viseano e Namuriano), ambas do período do Carbonífero. A porção destas rochas em estudo no âmbito da presente dissertação ocorre em dois afloramentos independentes cuja área é de 195,8km² na Carta Geológica de Portugal, na escala 1:500.000 (Oliveira et al 1992).

A formação em estudo sobrepõe-se na sua maioria à formação de Mira, que é constituída por xistos, intercalados com porções maiores de siltitos e grauvaques. Na carta geológica, (Figura 2), esta formação está representada nas arribas da costa a norte da praia de Almogrove. Está também assinalada nas arribas setentrional e meridional da foz do rio Mira. A formação ocupa uma vasta área no Baixo Alentejo e está bem representada ao longo do vale do rio Mira (Monteiro et al 2017, Salvador et al 2015, Salvador e Monteiro 2016).

Como referido anteriormente, a formação de estudo também se sobrepõe à formação Brejeira, que é constituída por grandes parcelas e grauvaques e de quartzitos, que são notáveis nas áreas de arribas, intercaladas em xistos argilosos escuros e siltitos. As bancadas destas rochas exibem estruturas sedimentares típicas de deposição em ambientes marinhos profundos. Esta unidade estratigráfica está representada no Baixo Alentejo e Algarve (Monteiro et al 2017, Salvador et al 2015, Salvador e Monteiro 2016).

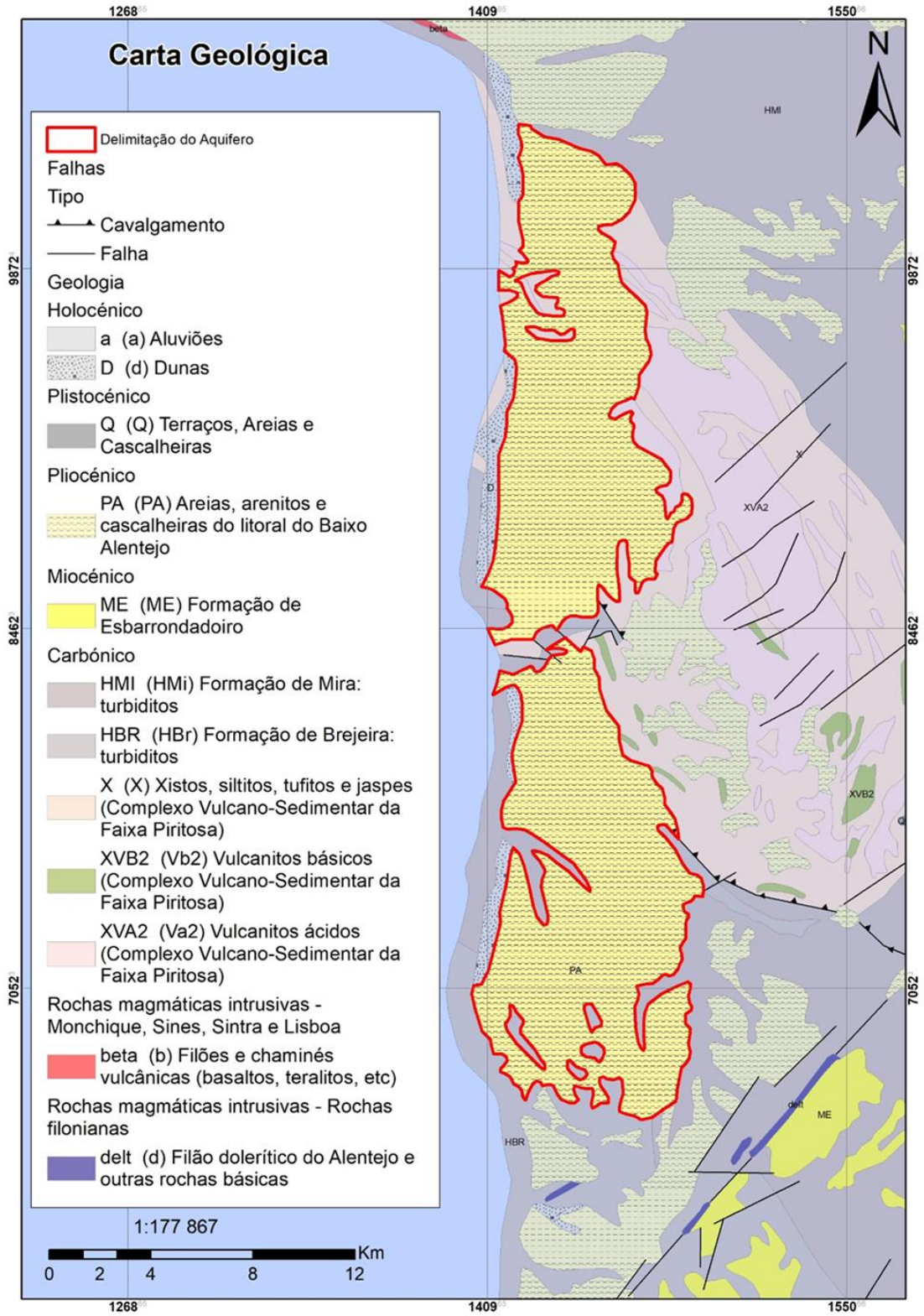


Figura 2- Geologia

No que se refere particularmente à formação em estudo, na área do sistema predominam solos de textura ligeira de horizonte superficial arenoso, formados a partir de sedimentos Plio-Plistocénico. Estes depósitos sedimentares do quaternário encontram-se assentes sobre xistos e grauvaques de idade do Carbonífero, subjacente a este horizonte encontra-se geralmente um horizonte de acumulação de sedimentos mais finos de menor permeabilidade, de génese podzólica, onde o nível freático intercepto, periodicamente, a superfície topográfica durante época de chuva. (Monteiro et al 2019).

No que respeita a referências sobre as formações em estudo, os únicos trabalhos identificados na bibliografia foram ERHSA 1996/1999, Chambel et al. 2010, Chambel e Monteiro 2016, Monteiro et al 2008, Salvador et al 2013, Monteiro et al 2017 e 2019. Algumas das referências apresentadas referem-se para os locais onde estas formações sedimentares constituem unidades hidroestratigráficas dos sistemas aquífero de Sines e da Bacia de Alvalade.

De acordo com o relatório técnico do Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Alentejo (ERHSA 1996/1999), através de estudos recentes, já apontava uma provável presença de um possível sistema aquífero produtivo na área dos sedimentos piloplistocénico, situados sobre o complexo Vulcano-sedimentar, que abrange cercal do Alentejo e São Luís, exatamente no Sul do concelho de Sines, e Noroeste do concelho de Odemira. Porém devido a espessura destes sedimentos, que raramente ultrapassa os 25 metros, por apenas se conhecerem captações produtivas a captar no maciço, e pela continuidade dos valores de caudal e dos descritores químicos para o interior ao longo do referido complexo, e não para o sul onde há continuidade dos sedimentos, uma vez que os valores dos caudais mais elevados estavam a ser captados nos aquíferos do complexo Vulcano-sedimentar. Porém, admite-se a possibilidade que as bancadas sedimentares, poderão, em casos pontuais, armazenar, quantidades de água consideráveis.

Assim sendo, como anteriormente referido, caracterizou-se as areias, arenitos e cascalheiras que estão situadas no Litoral do Baixo Alentejo, e como qualquer aquífero têm os seus domínios espaciais limitados em superfície e em profundidade, nos quais podem existir um ou vários aquíferos, relacionados ou não entre si, mas que constituem uma unidade prática para a investigação ou exploração. Neste caso, o aquífero que se pretende estudar situa-se entre as massas de água Zona Sul do aquífero de Sines, a zona sul portuguesa da Bacia do Mira e a orla ocidental da Bacia do Sado, como podemos ver na figura 3.

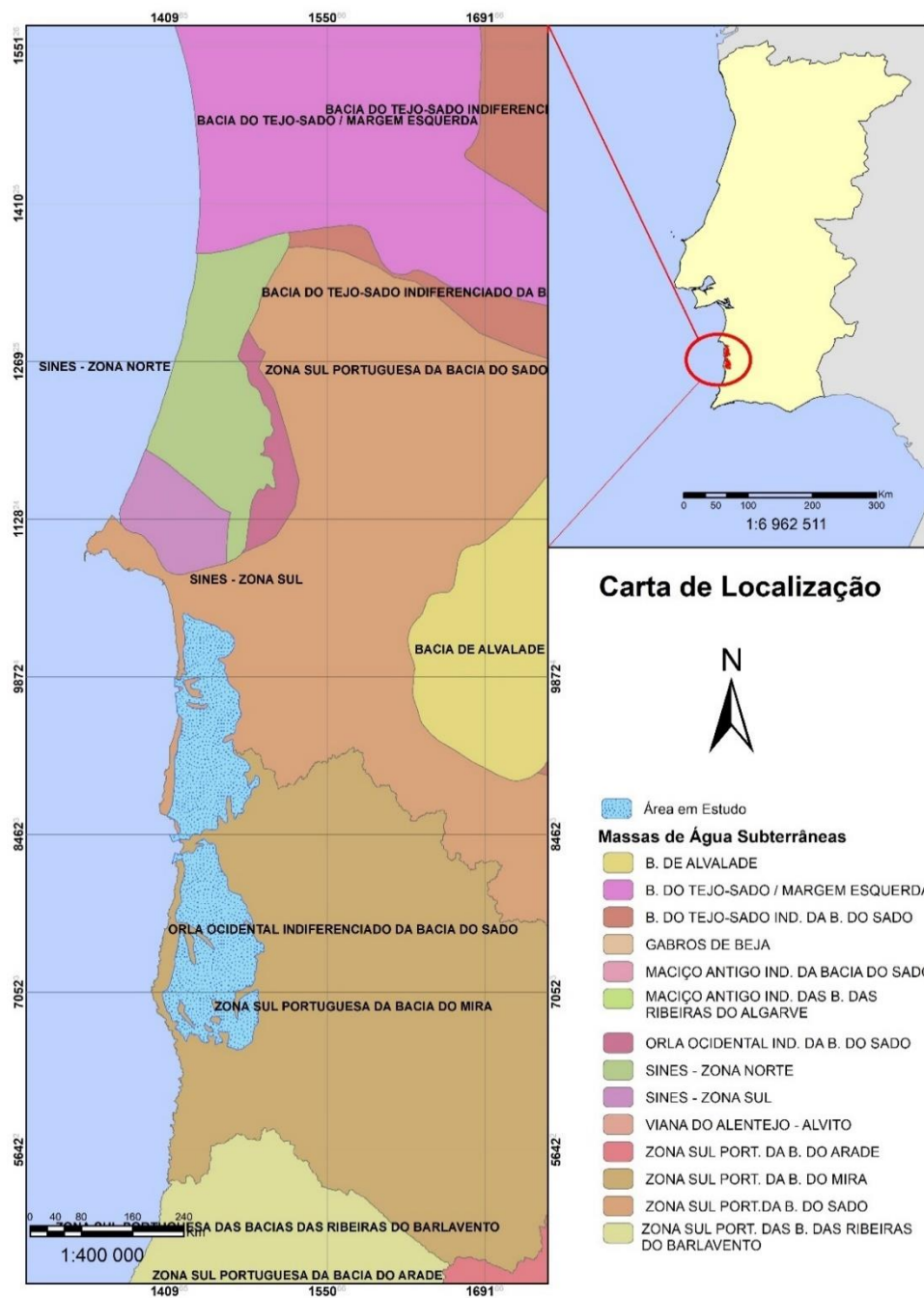


Figura 3- Localização do aquífero em relação as demais massas de águas subterrâneas

2.2.1- Declividade e Hipsometria

A declividade na área apresenta valores baixos, aproximadamente de 1,6% e são responsáveis em grande parte por promover a recarga do aquífero. Em baixas declividades, a velocidade da água é pequena, tendo o solo mais tempo para absorvê-la. Uma menor porção da área chega ao máximo de aproximadamente 25% de inclinação, (Figura 4), sendo estas partes às áreas pertencentes as serras, que possuem declives mais acentuados que a costa alentejana e vicentina. O aumento da declividade contribui para a diminuição da infiltração da água no solo, aumenta o escoamento superficial, e contribui para o aumento da erosão.

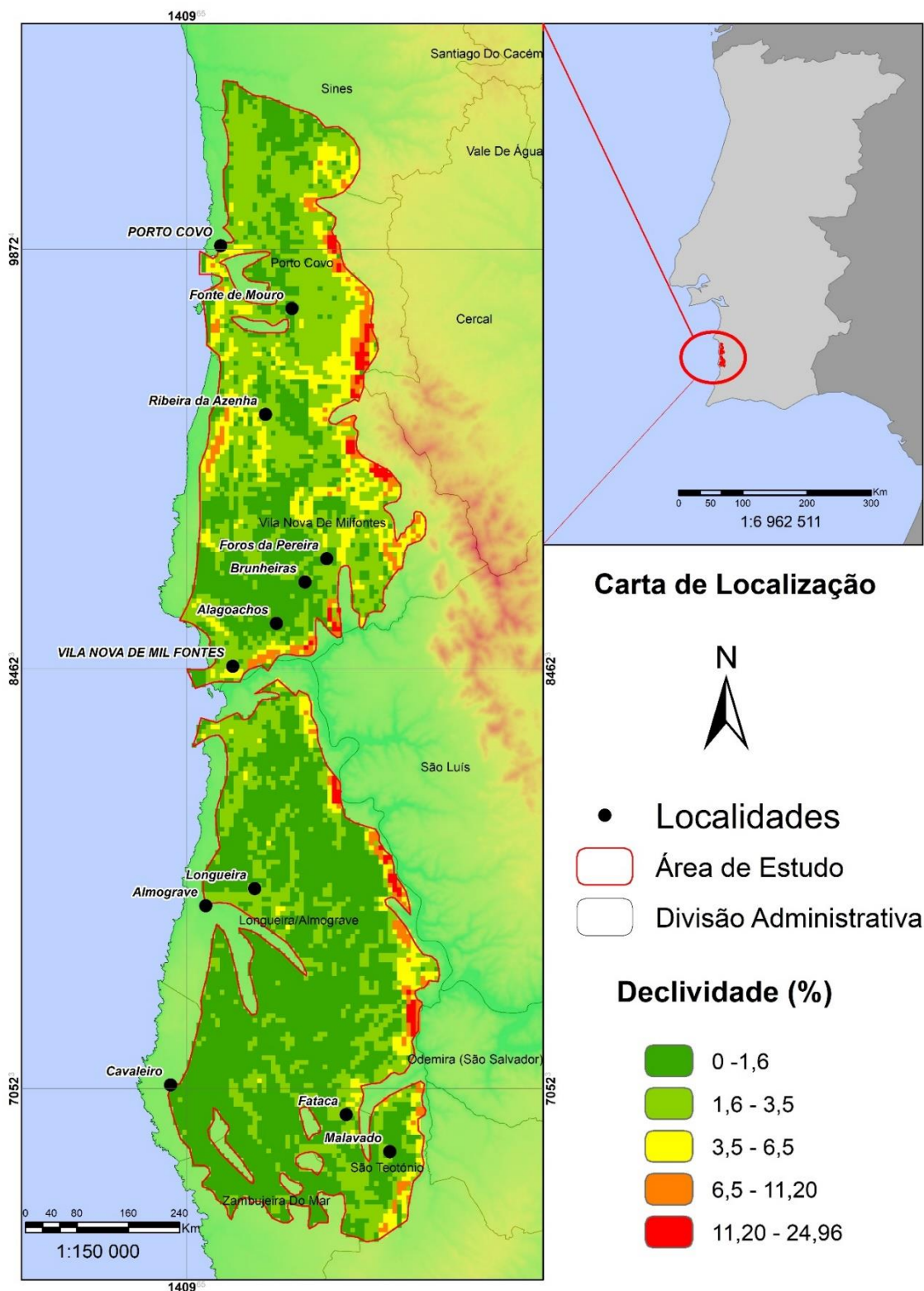


Figura 4- Declividade

O relevo na área de estudo possui características planas , com baixas ondulações valores que variam de 1 a 89 metros, em relação ao nível do mar e constituem a costa litorânea. No que respeita à rugosidade da superfície topográfica, expressa pelo desnível, esta área revela também valores médios a baixos, não ultrapassando o valor 180 metros na área em estudo. (Figura 5)

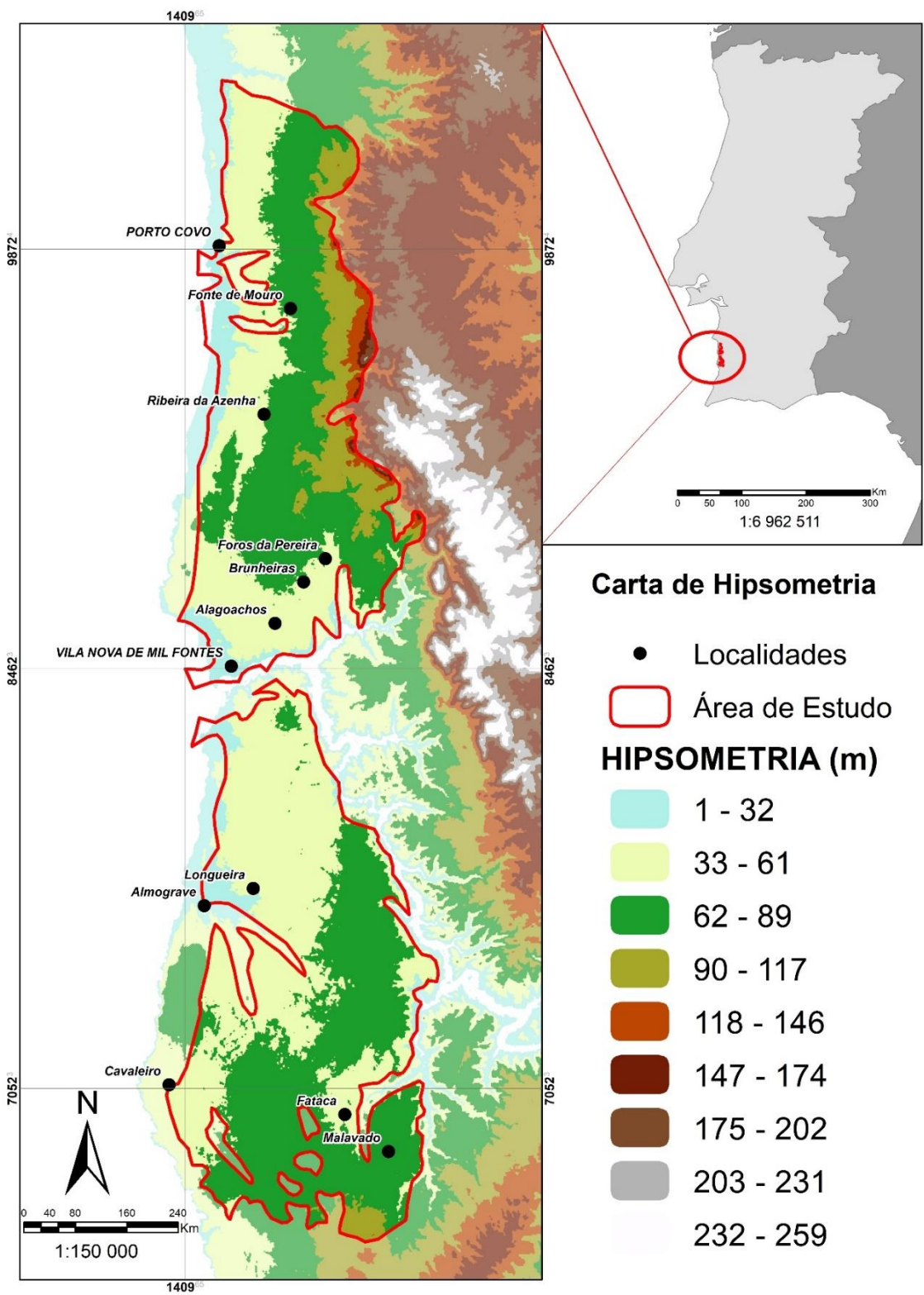


Figura 5- Hipsometria

Relacionando a dissecação do relevo e/ou a rugosidade topográfica na área, que é um importante aporte à identificação e entendimento acerca do espaçamento dos diferentes relevos residuais sobre a determinada área, é possível perceber dois conjuntos entre a variação de 0 e 180 m. Um mais rugoso, porém, com menor amplitude de variação, que são as áreas mais baixas, e outro menos rugoso com uma maior amplitude de variação, que são as áreas mais altas, perceptível na figura 6:



Figura 6- Rugosidade Topográfica

Para melhor compreensão do relevo, foram traçados perfis topográficos, que evidenciam a representação das superfícies geográficas de algumas seções da área de estudo. Estes perfis de corte vertical sobre o relevo permitem identificar a silhueta de cadeias de montanhas, vales de rios, etc. No total foram feitos três perfis latitudinais (AB, CD, EF), e dezasseis perfis longitudinais (AB, CD, EF, GH, IJ, KL, MN, OP, QR, ST, UV, WY, XZ, A1B1, C1D1, E1F1). Adicionalmente, é apresentado uma representação altimétrica do relevo com uso de cores convencionais, os mais claros as partes mais baixas e os mais altos as partes mais escuras, construído a partir de dados do modelo digital de superfície (MDS), contidos no Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), da National Aeronautics and Space Administration (NASA), respetivamente na Figura 7, Figura 8 e Figura 9.

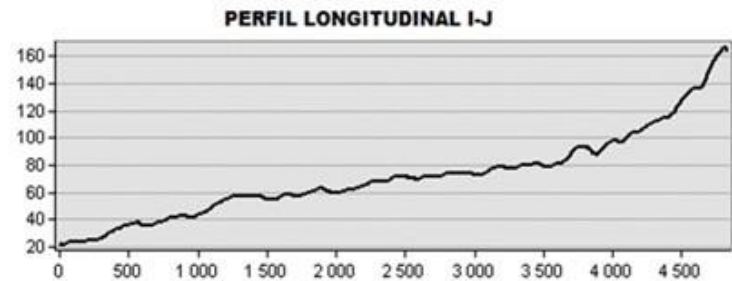
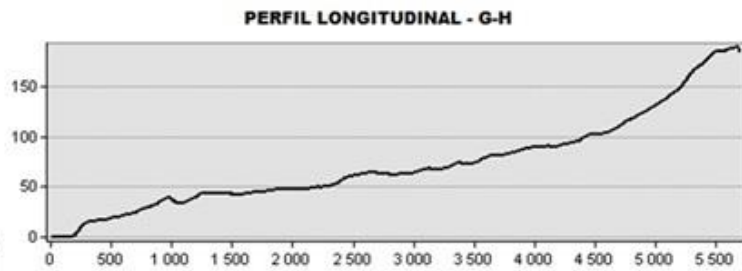
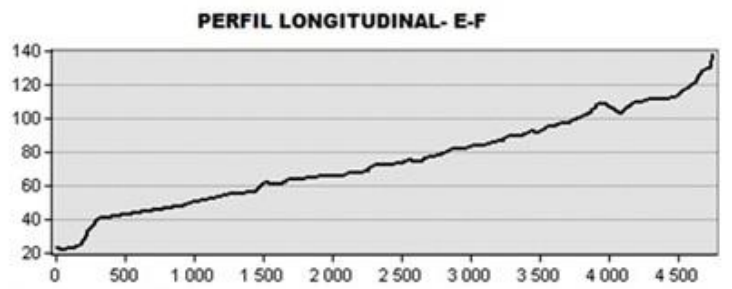
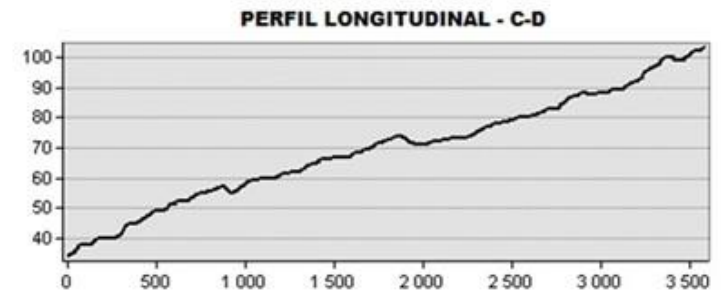
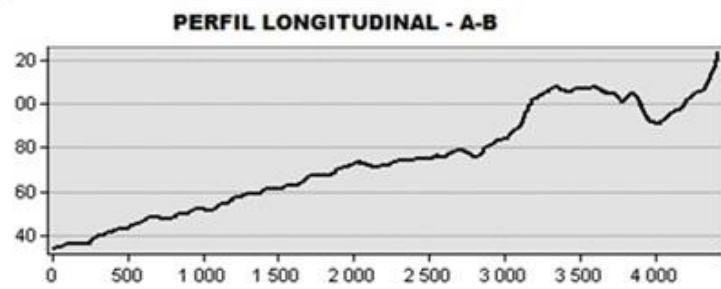
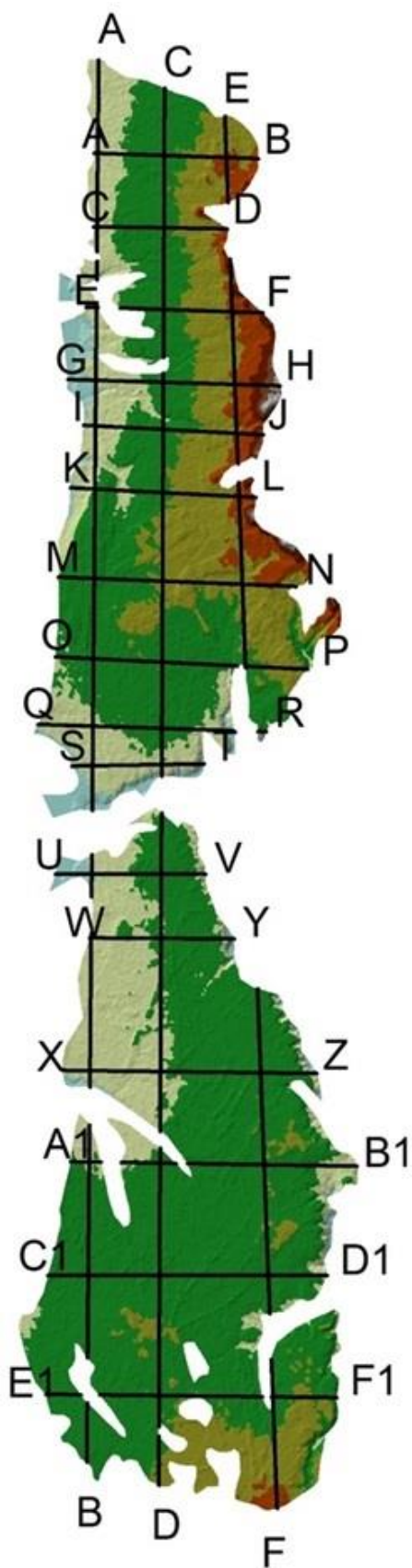


Figura 7- Perfil Topográfico

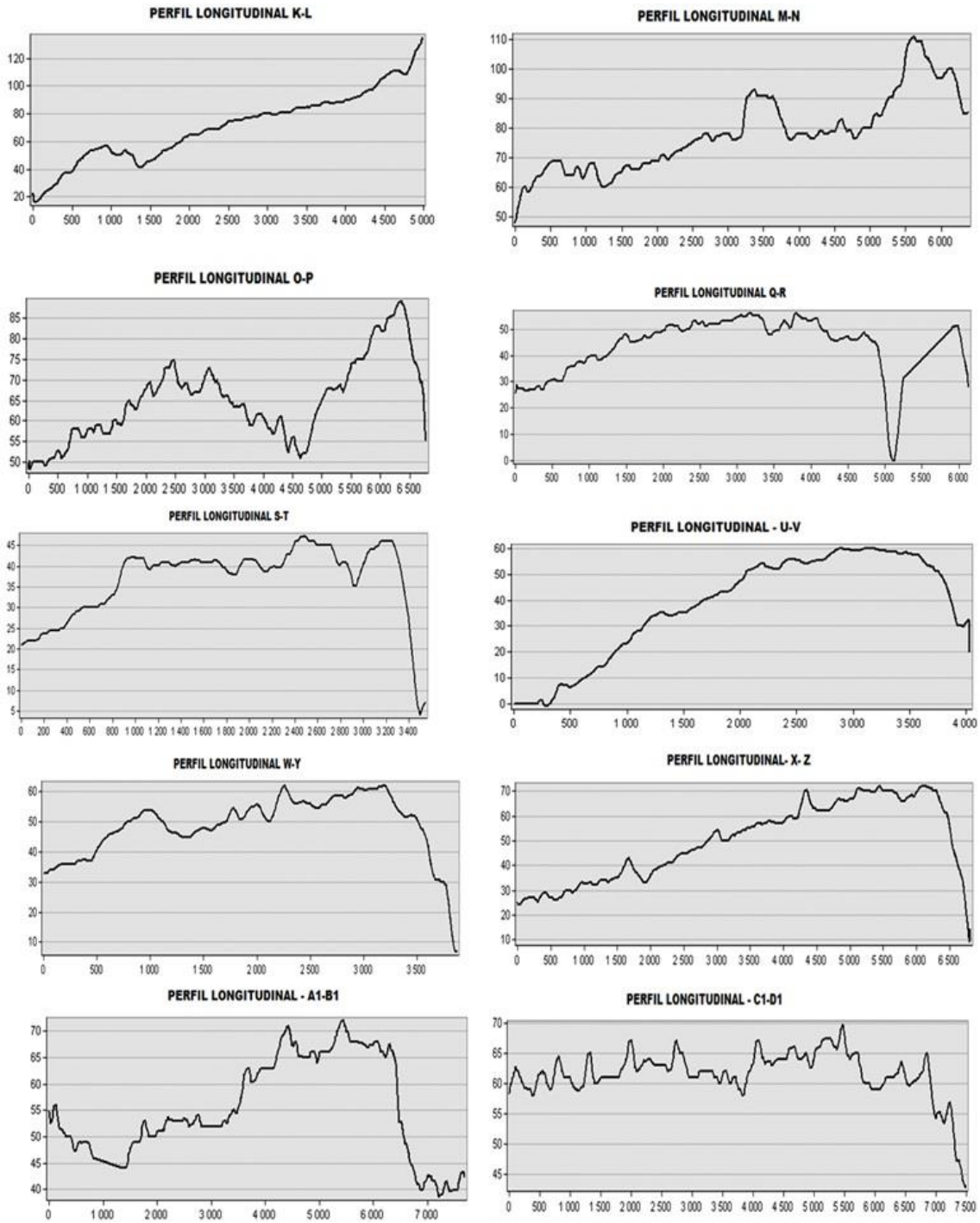


Figura 8- Perfiles Topográficos

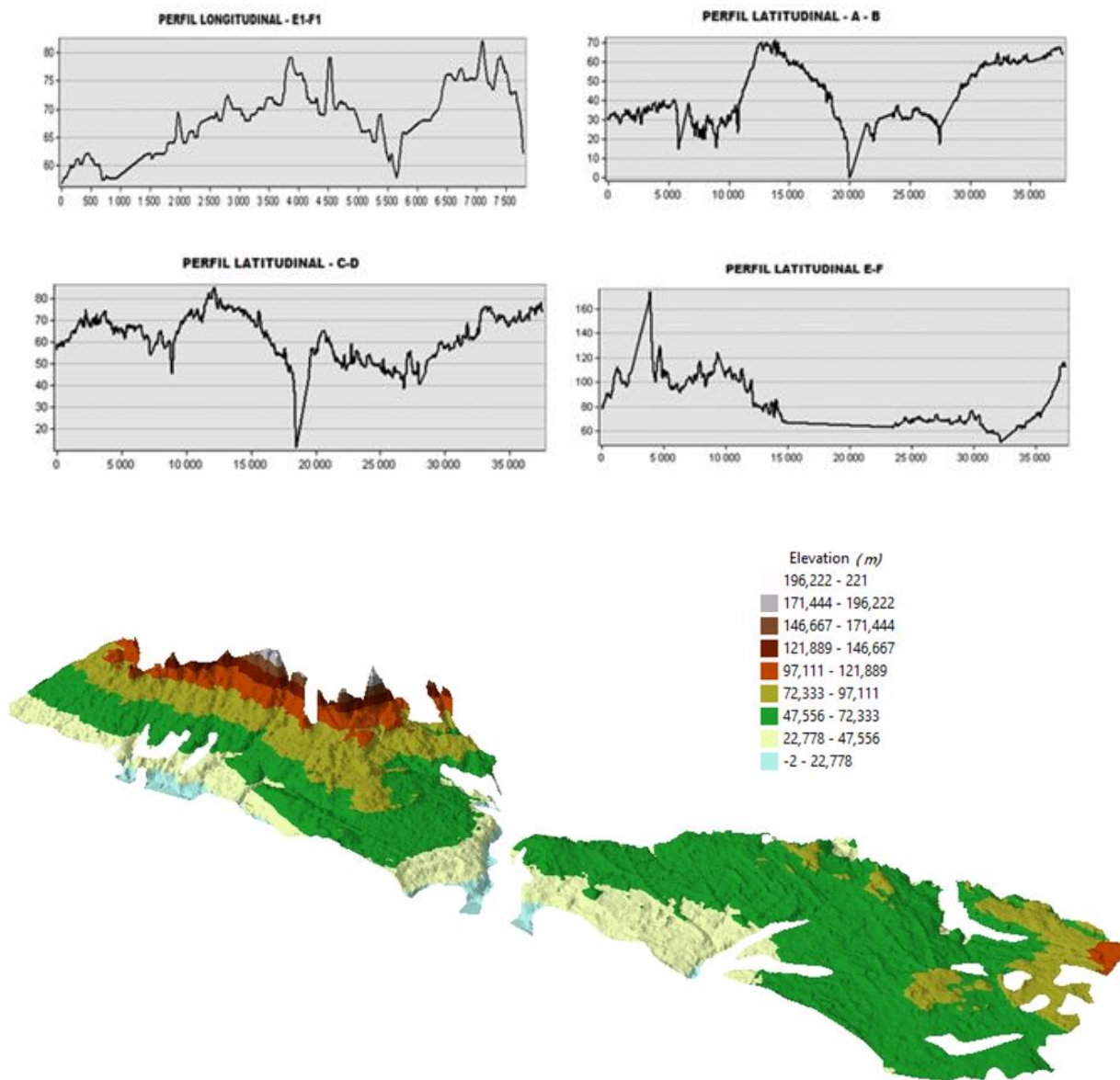


Figura 9-Perfil Topográfico/Relevo

2.3. Hidrografia

As areias, arenitos, cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo localizam-se na região hidrográfica do Sado e Mira, denominada Região Hidrográfica 6 (RH6), que possui uma área total de 12 .149 km², e integra as bacias hidrográficas dos rios Sado e Mira e as bacias hidrográficas das ribeiras de costa, incluindo as respetivas águas subterrâneas e águas costeiras adjacentes. (Figura 10)

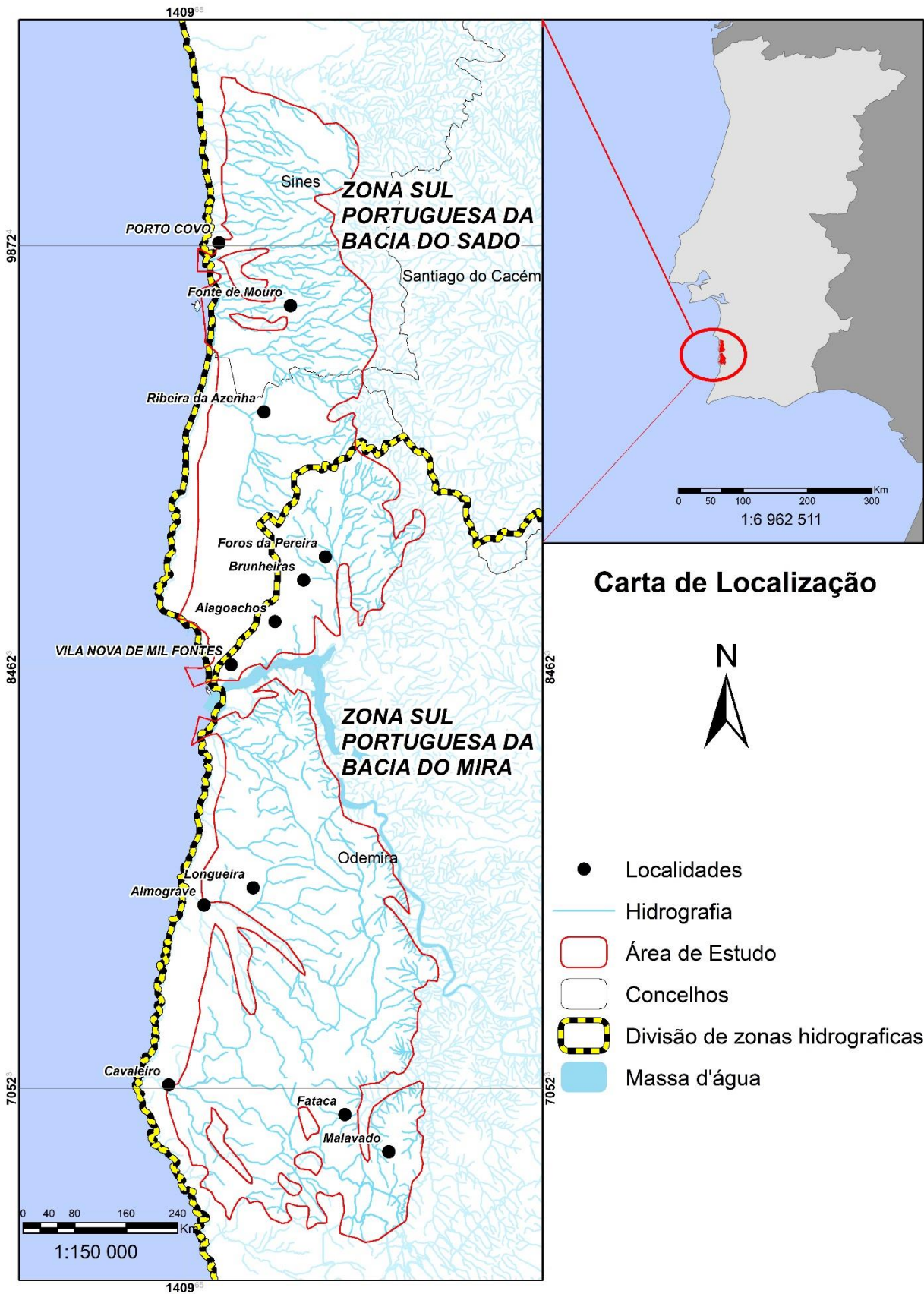


Figura 10- Hidrografia

A área específica de estudo, está inserida nos concelhos de Sines e Odemira, abrangendo uma área total de 195,8 km². Uma parte da área está distribuída para a bacia do sado, a maior parte do sector norte, já todo o sector sul e uma pequena parte do sector norte situa-se na bacia da Mira.

As micro bacias que compõe o sector norte que pertencem a bacia hidrográfica do sado, são: Albufeira Morgavel, Ribeira de Morgavel, Bacia da Costa ou Litorânea, Barranco do Queimado e Corgo dos Aivados, já as partes que pertencem a Bacia do Mira, são o Corgo do Porta da Mó e parte da própria Bacia do Mira. (Figura 11)

O sector sul, fica inteiramente na zona da Bacia do rio Mira, sendo composta também da Bacia da Costa ou Litoral, o Barranco dos Portos Ruivos e a Ribeira do Vale de Gomes.

O facto é que as areias, arenitos e cascalheiras plio-pleistocénicas localizam-se sobre as formações flysch do Baixo Alentejo do carbonífero, que por sua vez vão fazer parte da linha de costa, principalmente constituindo as falésias, levando a descarga da água infiltrada nas formações em estudo venha apresentar uma descarga na faixa limítrofe geológica, quase sempre horizontal, ou sub-horizontal nas falésias, entre as rochas plio-pleistocénicas e paleozoicas. São testemunho deste facto as numerosas nascentes existentes neste limite geológico e hidrogeológico.

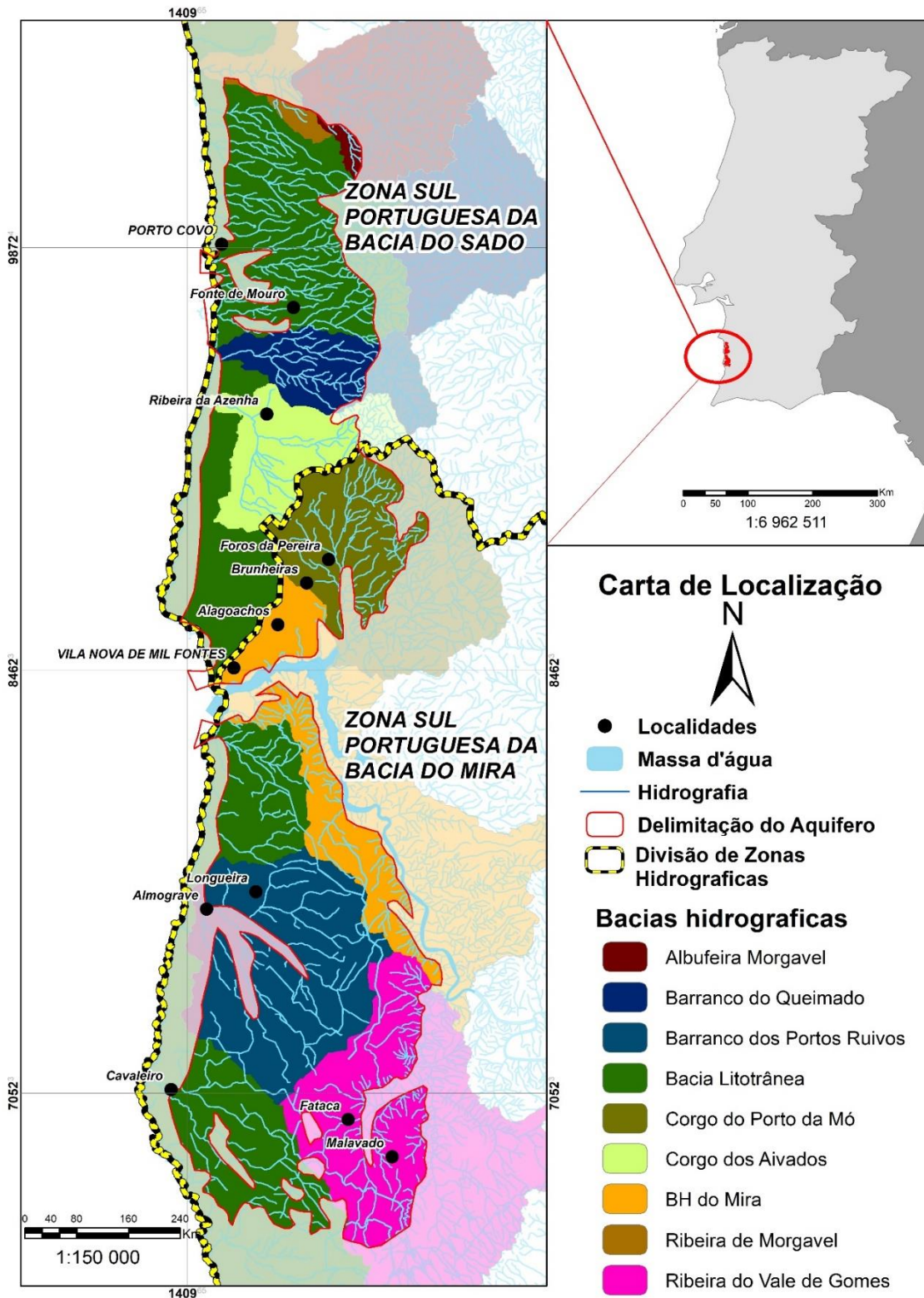


Figura 11- Bacias Hidrográficas

2.4. CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA

O clima da área circundante ao sistema das areias, arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo é classificado de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, (csa) - clima mediterrâneo de verão quente.

Em específico para a área de estudo, a sazonalidade quanto a precipitação está bem vincada nesta região, dado que os períodos secos ocorrem habitualmente entre Junho e Setembro e os húmidos entre Outubro e Janeiro.

As estações climatológicas e udométricas, pertencentes ao Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), e ao Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) e dos Serviços Hidráulicos do Ministério das Obras Públicas, que estão localizadas nas proximidades do sistema das areias, arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo são: Odemira, Santiago do Cacém, Alvalade, Moinho do Brejo Redondo e Cercal do Alentejo. (Tabela 1 e Figura 12).

Tabela 1- Estações Meteorológicas

NOME	ALT.(m)	LAT.	LONG.	TIPO	DOMINIO
ALVALADE	61	37,570	-8,240	Climatológica	SNRH
CERCAL DO ALENTEJO	175	37,798	-8,671	Udométrica	SNRH
MOINHO DO BREJO REDONDO	52	37,642	-8,764	Udométrica	SNRH
ODEMIRA	49	37,593	-8,641	Climatológica	IPMA
SANTIAGO DO CACÉM	61	37,946	-8,394	Udométrica	IPMA

No item seguinte procede-se ao tratamento de dados meteorológicos e climáticos, consequentemente resultado dos cálculos efectuados, apresentando uma estimativa da precipitação anual média para a série climática de 1959/60 a 1990/91.

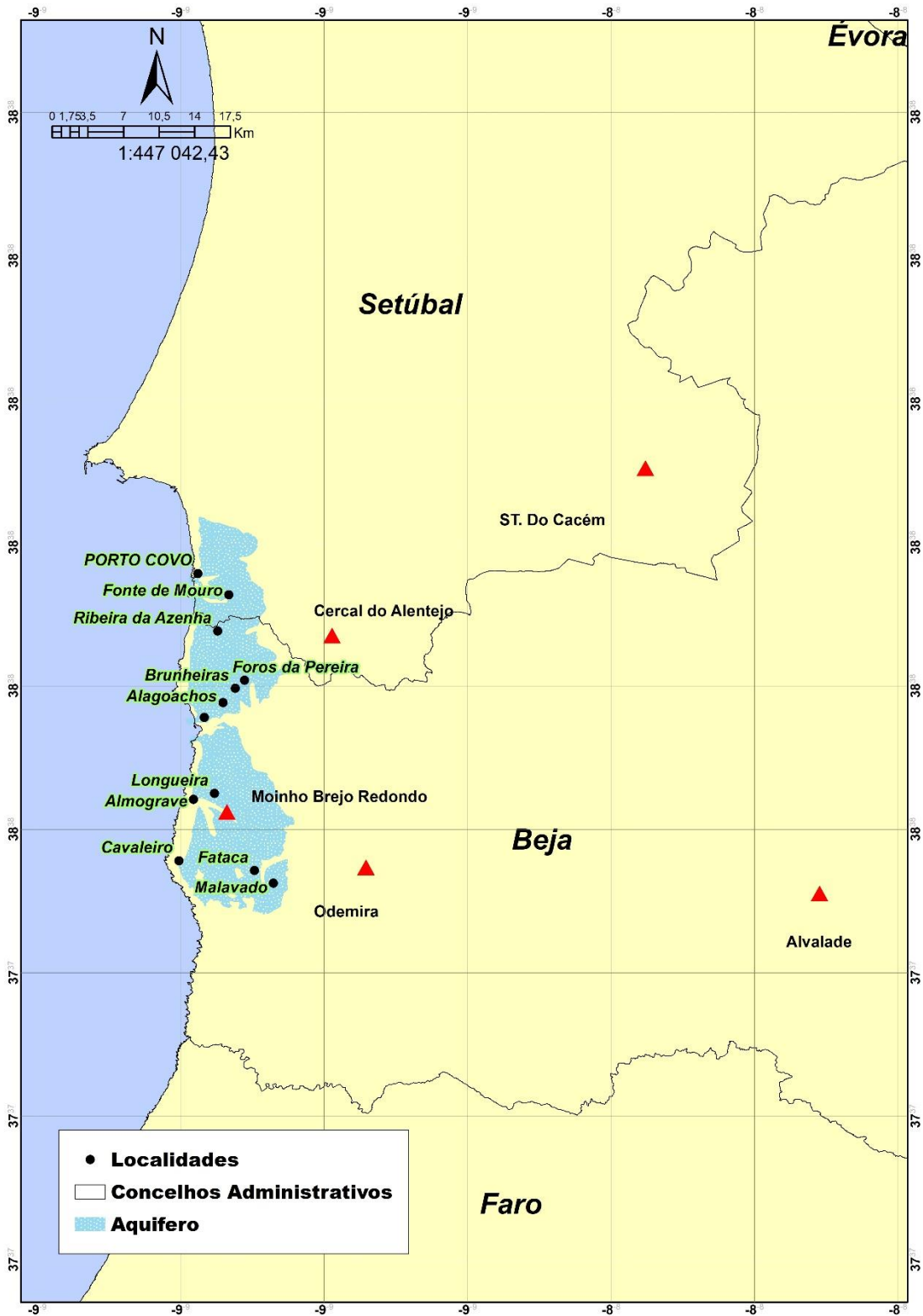


Figura 12- Localização estações meteorológicas

2.4.1. Precipitação

A escala temporal de análise dos dados de precipitação deverá ser considerada, uma vez que irá variar de acordo com os dados de precipitação obtidos. As estações utilizadas para a análise foram apenas as de Cercal do Alentejo e Odemira, uma vez que as demais estações de Alvalade, Santiago do Caém e Moinho Brejo Redondo não apresentam dados de chuva. Refere-se a ausência de dados de temperatura para todas as estações analisadas. Os dados de precipitação apresentam-se na tabela 2 (Odemira), 3 (Cercal do Alentejo), e os Parâmetros Estatísticos Calculados para os valores de precipitação nas tabelas 4 (Odemira) e 5 (Cercal do Alentejo).

Tabela 2- Precipitação, Estação de ODEMIRA, valores de precipitação média anual mensal da serie 1953/1995 e 2001/2009

ANO	JAN (mm)	FEV (mm)	MAR (mm)	ABR (mm)	MAI (mm)	JUN (mm)	JUL (mm)	AGO (mm)	SET (mm)	OUT (mm)	NOV (mm)	DEZ (mm)	TOT. (mm)
1953	60	40	80	94	6	0	0	0	7	89	64	144	584
1954	50	47	126	42	4	12	0	0	0	0	123	68	470
1955	163	130	163	12	18	7	0	0	0	113	149	73	828
1956	110	44	167	93	17	0	0	0	44	54	47	49	626
1957	22	36	74	60	41	10	8	1	9	126	77	80	543
1958	79	32	79	23	0	8	8	24	0	20	36	295	605
1959	46	48	222	48	50	0	0	0	18	37	108	89	666
1960	120	108	177	40	79	24	0	3	20	250	85	79	982
1961	62	7	39	37	61	0	0	0	164	112	97	161	740
1962	116	65	129	13	15	16	0	0	10	131	117	95	705
1963	194	151	56	90	37	37	0	0	6	13	122	246	952
1964	41	142	114	34	12	4	2	0	31	9	58	29	476
1965	56	46	67	9	2	15	0	0	52	114	100	43	505
1966	113	151	0	69	2	18	0	6	35	98	47	25	562
1967	68	83	42	37	40	13	0	0	2	93	109	19	505
1968	1	147	87	26	12	12	0	1	6	41	198	120	651
1969	88	174	120	27	44	21	4	0	51	170	132	48	876
1970	271	8	39	24	42	58	0	6	0	14	30	53	543
1971	132	18	58	130	104	24	1	0	1	9	17	57	549
1972	113	152	88	1	43	4	0	0	34	177	80	102	795

ANO	JAN (mm)	FEV (mm)	MAR (mm)	ABR (mm)	MAI (mm)	JUN (mm)	JUL (mm)	AGO (mm)	SET (mm)	OUT (mm)	NOV (mm)	DEZ (mm)	TOT. (mm)
1973	91	19	8	5	68	3	3	0	6	17	61	106	385
1974	49	68	92	95	14	27	0	0	0	6	50	16	416
1975	62	81	100	50	53	8	0	0	20	18	7	107	506
1976	39	55	42	103	8	0	4	8	45	103	50	146	603
1977	120	135	14	1	2	37	2	3	3	91	76	149	633
1978	43	84	71	62	60	0	0	0	0	13	59	139	531
1979	150	157	112	78	3	0	4	0	10	259	13	13	797
1980	48	27	59	41	108	0	0	13	5	72	134	6	512
1981	0	25	34	73	22	5	0	0	27	63	0	153	401
1982	72	67	32	53	0	0	5	3	43	15	78	42	407
1983	1	28	0	52	37	6	0	0	0	44	182	100	449
1984	42	28	82	80	68	16	0	0	1	11	133	58	517
1985	146	119	25	53	15	3	1	0	5	6	47	67	485
1986	81	138	34	61	20	2	0	0	73	36	65	42	553
1987	106	115	22	49	0	3	0	30	3	115	74	170	688
1988	153	47	9	15	34	68	22	0	2	140	215	10	716
1989	67	60	36	123	135	0	0	1	56	179	300	317	1274
1990	88	10	68	74	9	1	0	0	2	175	116	55	598
1991	52	125	169	51	0	3	0	5	15	92	26	40	577
1992	61	30	24	51	28	47	0	0	21	54		130	445
1993	13	60	34	93	85	1	0	0	21	84	128	11	530
1994	85	120	10	18	69	1	0	0	0	42	53	41	439
1995	26	59	43	33	0	16	8	0	0				185
1996													
1997												154	154
1998													
1999													
2000													
2001				8	32	3	1	1	27	67	23	62	223
2002	52	15	120	73	12	5	1	1	71	26	91	100	568
2003	71	50	23	95	11	4	4	3	7	149	100	89	606
2004	24	55	34	32	24	1	1	15	4	97	26	32	343
2005	5	14	23	11	24	0	0	2	7	126	112	49	372
2006	73	73	95	51	2	48	5	46	29	139	98	83	741
2007	22	75	38	55		19	2	0	62	20	43	79	416
2008	35	67					0	0	0	0	5	2	110
2009	49	0				3	0	0	0	0	12	156	220
2010													
2011													
2012													
2013													

ANO	JAN (mm)	FEV (mm)	MAR (mm)	ABR (mm)	MAI (mm)	JUN (mm)	JUL (mm)	AGO (mm)	SET (mm)	OUT (mm)	NOV (mm)	DEZ (mm)	TOT. (mm)
2014													
2015													
2016													
2017													

Tabela 3- Precipitação, Estação de CERCAL DO ALENTEJO, valores de precipitação média anual mensal da serie 1953/1995 e 2001/2009

ANO	JAN (mm)	FEV (mm)	MAR (mm)	ABR (mm)	MAI (mm)	JUN (mm)	JUL (mm)	AGO (mm)	SET (mm)	OUT (mm)	NOV (mm)	DEZ (mm)	TOT. (mm)
1953	70	69	79	82	16	4	0	0	12	148	72	171	722
1954	76	108	152	35	12	20	0	0	0	2	159	68	632
1955	179	164	159	1	28	13	0	0	0	82	158	155	938
1956	202	50	209	96	18	1	0	5	31	46	28	59	745
1957	52	103	80	81	68	14	9	0	5	74	76	123	686
1958	122	43	64	28	0	24	8	32	0	18	37	404	782
1959	105	66	221	52	69	0	0	0	22	81	132	187	936
1960	117	168	256	57	143	16	0	7	19	237	145	89	1254
1961	88	11	67	71	102	4	0	0	42	89	150	120	743
1962	104	66	124	16	18	11	0	0	17	141	125	111	733
1963	209	179	70	124	21	34	0	0	5	17	114	272	1045
1964	54	162	129	47	13	10	0	2	12	12	61	38	542
1965	79	58	79	8	7	19	0	0	69	174	102	67	662
1966	140	179	0	165	3	11	0	4	46	97	33	19	697
1967	63	103	45	21	44	16	0	3	2	80	116	37	530
1968	0	183	87	30	18	3	0	1	3	36	268	102	730
1969	115	229	138	26	51	37	0	0	58	160	186	84	1085
1970	402	28	60	50	51	98	1	0	0	12	48	46	796
1971	202	23	68	179	126	52	5	42	2	2	11	80	792
1972	206	223	148	8	54	8	3	0	23	274	110	144	1200
1973	173	20	19	13	108	12	22	0	2	2	59	107	536
1974	87	111	81	134	34	65	0	0	2	9	89	42	654
1975	78	110	145	38	73	25	0	0	25	17	15	141	667
1976	46	64	89	138	15	0	3	8	79	108	131	277	958
1977	211	196	23	7	6	32	1	5	11	181	81	223	976
1978	56	167	78	100	74	10	0	0	0	37	120	249	890
1979	206	259	129	94	12	2	19	0	21	281	20	30	1071
1980	63	45	57	51	103	11	1	2	2	55	133	25	547
1981	4	30	48	77	54	5	0	0	50	47	1	247	562

ANO	JAN (mm)	FEV (mm)	MAR (mm)	ABR (mm)	MAI (mm)	JUN (mm)	JUL (mm)	AGO (mm)	SET (mm)	OUT (mm)	NOV (mm)	DEZ (mm)	TOT. (mm)
1982	113	82	60	88	0	8	9	7	54	27	144	50	641
1983	0	48	3	85	54	12	2	1	1	40	317	137	699
1984	60	37	87	65	69	33	3	6	4	51	186	103	702
1985	254	157	46	103	27	15	1	0	1	1	65	113	782
1986	113	195	32	73	38	6	0	2	95	43	83	70	751
1987	154	156	54	125	0	2	2	21	10	160	84	227	995
1988	182	52	11	33	74	79	44	0	3	96	169	16	759
1989	55	94	33	137	78	0	0	1	10	189	283	372	1251
1990	49	15	34	95	13	2	0	0	11	212	213	61	705
1991	41	180	203	53	1	3	2	1	23	100	35	41	683
1992	40	59	39	63	48	42	0	9	54	43	10		407
1993	24	57	61	98	77	5	0	3	34	160	176	18	712
1994	106	137	16	21	70	0	0	2	1	88	94	54	588
1995	56	68	40	39	5	4	4	0	4				219
1996													
1997													
1998													
1999													
2000													
2001			172	13	46	7	2	2	15	6	39	78	381
2002	60	17	158	82	14	15	1	0	139	88	113	133	820
2003	109	106	29	133	13	5	6	3	6	97	86	103	695
2004	60	69	59	39	25	1	1	21	37	120	23	34	487
2005	2	18	20	14	18	0	7	3	9	138	117	92	437
2006	76	75	123	26	2	19	2	21	30	208	196	62	840
2007	48	130	36	48	63	48	2	1	30	58	62	76	601
2008	93	63	34	103	71	2	1	2	24	6	0	8	406
2009	53	3			10	15	1	0	9	16	0	7	115
2010													
2011													
2012													
2013													
2014													
2015				36	1	11	1	2	30	134	88	58	359
2016	106	11	21	98	65	4	0	0					304
2017													

Tabela 4 – Parâmetros Estatísticos Calculados para os valores de precipitação média anual mensal da serie 1953/1995 e 2001/2009, da Estação de CERCAL DO ALENTEJO

Est.	Jan (mm)	Fev (mm)	Mar (mm)	Abr (mm)	Mai (mm)	Jun (mm)	Julh (mm)	Ago (mm)	Set (mm)	Out (mm)	Nov (mm)	Dez (mm)	ANO
Média	103	97	82	66	41	16	3	4	22	88	103	110	61
Mín.	0	3	0	1	0	0	0	0	0	1	0	7	0
q1	55	47	35	30	13	4	0	0	3	25	46	48	3
q2	83	72	66	57	31	11	1	1	12	80	91	84	61
q3	127	158	125	96	69	19	2	3	30	139	144	139	139
Máx.	402	259	256	179	143	98	44	42	139	281	317	404	404
Mediana	83	72	66	57	31	11	1	1	12	80	91	84	61
Moda	0	69	60	26	0	0	0	0	0	2			
Desv.p	75	66	60	44	35	20	7	8	27	74	72	89	27

Tabela 5- Parâmetros Estatísticos Calculados para os valores de precipitação média anual mensal da serie 1953/1995 e 2001/2009, da Estação de ODEMIRA

Est.	Jan (mm)	Fev (mm)	Mar (mm)	Abr (mm)	Mai (mm)	Jun (mm)	Jul (mm)	Ago (mm)	Set (mm)	Out (mm)	Nov (mm)	Dez (mm)	ANO
Média	75	71	69	51	32	12	2	3	20	77	83	88	49
Mín	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0
q1	43	31	34	26	8	1	0	0	2	17	47	42	1
q2	62	60	58	50	22	5	0	0	7	67	77	76	54
q3	108	117	95	73	44	16	2	2	29	115	115	123	115
Máx	271	174	222	130	135	68	22	46	164	259	300	317	317
Mediana	62	60	58	50	22	5	0	0	7	67	77	76	54
Moda		28	0		0	0	0	0	0	0	47		
Desv.	52	48	51	32	32	16	4	8	29	65	58	68	21

Segundo a informação disponibilizada, constata-se que a precipitação tende a ser superior a norte comparativamente aos valores registados no sul. Isto é, a estação localizada mais a norte (Cercal do Alentejo) foi a que registou a precipitação média anual mais elevada (737 mm), enquanto a estação situada mais a sul (Odemira) registou um valor menor (584 mm). (Figura 13)

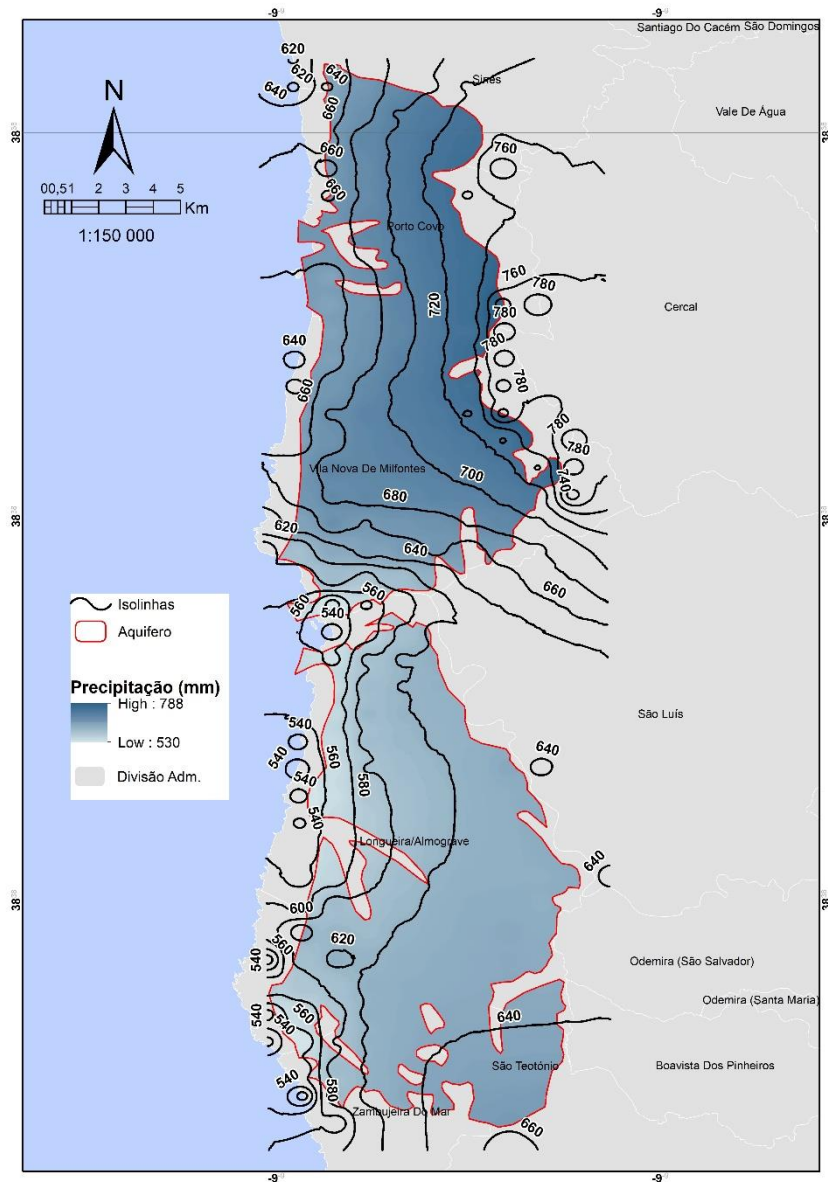


Figura 13- Mapa de Isolinhas

Deduz-se que exista uma tendência de diminuição da precipitação de norte para sul, em conformidade com o decréscimo da orografia, elevação do terreno, como é comprovado através da Figura 14.

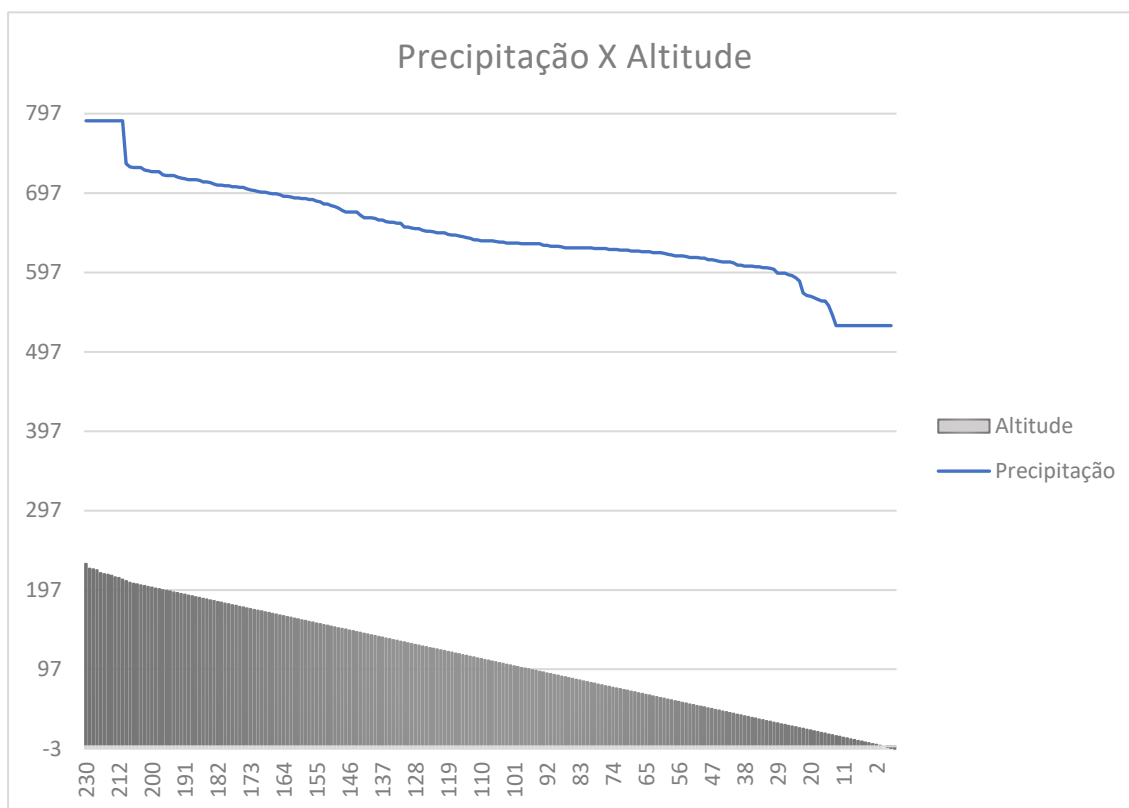


Figura 14 - Precipitação x Altitude

A aquisição dos dados de precipitação também se baseou na série mensal média plurianual de precipitação com uma distribuição espacial de 1 km² calculada por Nicolau (2002). Os dados foram convertidos para folhas de cálculo para permitir o seu tratamento. Os registos foram analisados ao nível mensal, calculando a média para cada mês, e para o ano hidrológico. (Figura 15)

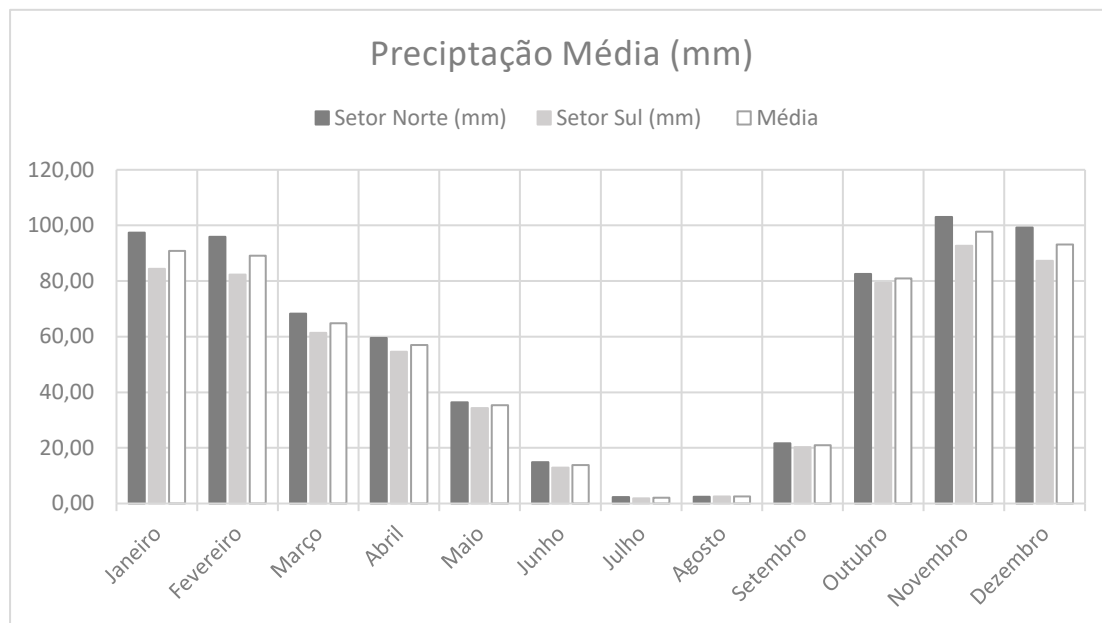


Figura 15-Valores médios mensais de precipitação baseado em dados de Nicolau 2002 (série 1959/60 – 1990/91)

Além de se considerar a média anual final do Ano seco e o Ano húmido, a área em estudo foi dividida em dois sectores, o sector norte e o sector sul. A área total apresentou uma precipitação média anual de 649,59 mm, enquanto que o sector sul apresenta uma precipitação média anual de 613,31 mm e o sector norte com média 686,63 mm. (Figura 16)

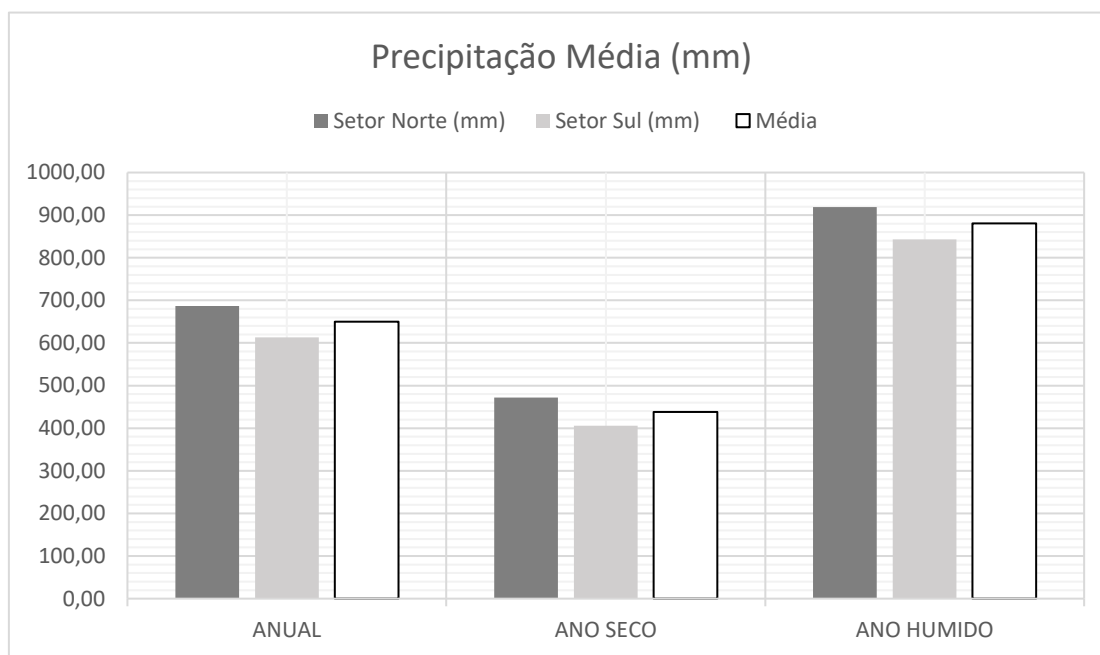


Figura 16 -Valores médios anuais de precipitação baseado em dados de Nicolau 2002 (série 1959/60 – 1990/91)

2.4.2. Evapotranspiração Potencial

Outra componente importante para o Balanço hídrico sequencial mensal, é a evapotranspiração Potencial. Para área foram usados dados das Estações do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) e dos Serviços Hidráulicos do Ministério das Obras Públicas, as estações de Odemira e Santiago do Cacém. (Tabela 6 e Figura 17).

Tabela 6- Valores de Média Mensal de Evapotranspiração Potencial (Thornthwaite), das Estações de Odemira e Santiago do Cacém do período anual de 1941/1970 .

Evapotranspiração Potencial (THORNTHWAITE)														
Est	Per.(ano)	Jan (mm)	Fev (mm)	Mar (mm)	Abr (mm)	Mai (mm)	Jun (mm)	Jul (mm)	Ago(mm)	Set (mm)	Out (mm)	Nov(mm)	Dez (mm)	Tot (mm)
Odemira	41/70	29	31	46	55	80	96	105	102	89	67	41	28	770
Sant. Cacém	41/70	25	28	43	57	78	101	115	111	93	70	40	27	787

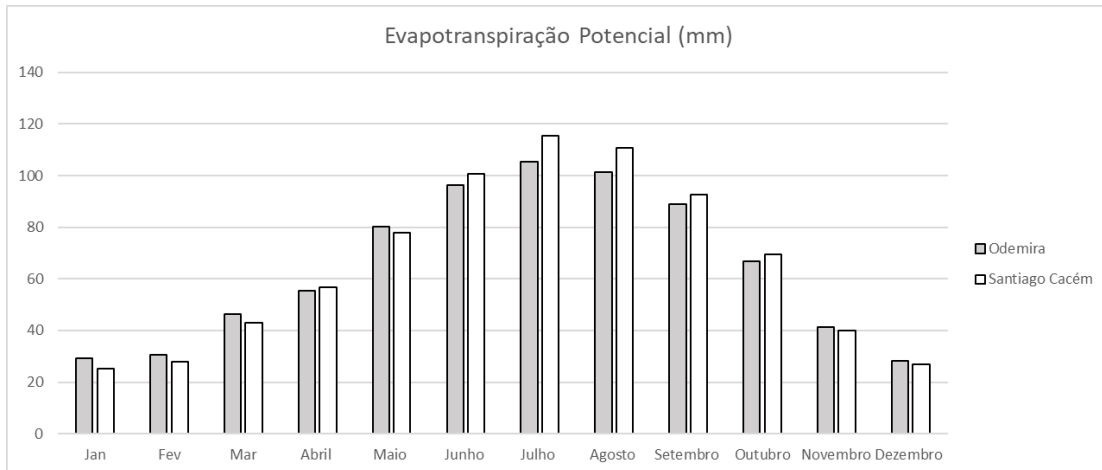


Figura 17- Valores médios anuais de Evapotranspiração Potencial (série 1941-1970)

2.5. Caracterização do Uso e Ocupação do Solo

No presente subcapítulo procede-se a uma análise de ocupação e uso do solo da região pertencente aos 195,8 km² da área de estudo, que são as areias, arenitos, cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo. Esta análise foi realizada com recurso à Carta de Uso e Ocupação do Solo Corine LandCover (CLC 2018). Apresentam-se os resultados de uso e ocupação solo divididos em 9 mega classes: Agricultura, Solo Exposto, Florestas, Matos, Pastagens, Sistema-Agroflorestais, Território Artificializados, Zonas Húmicas e Corpos de água. (Figura 18)

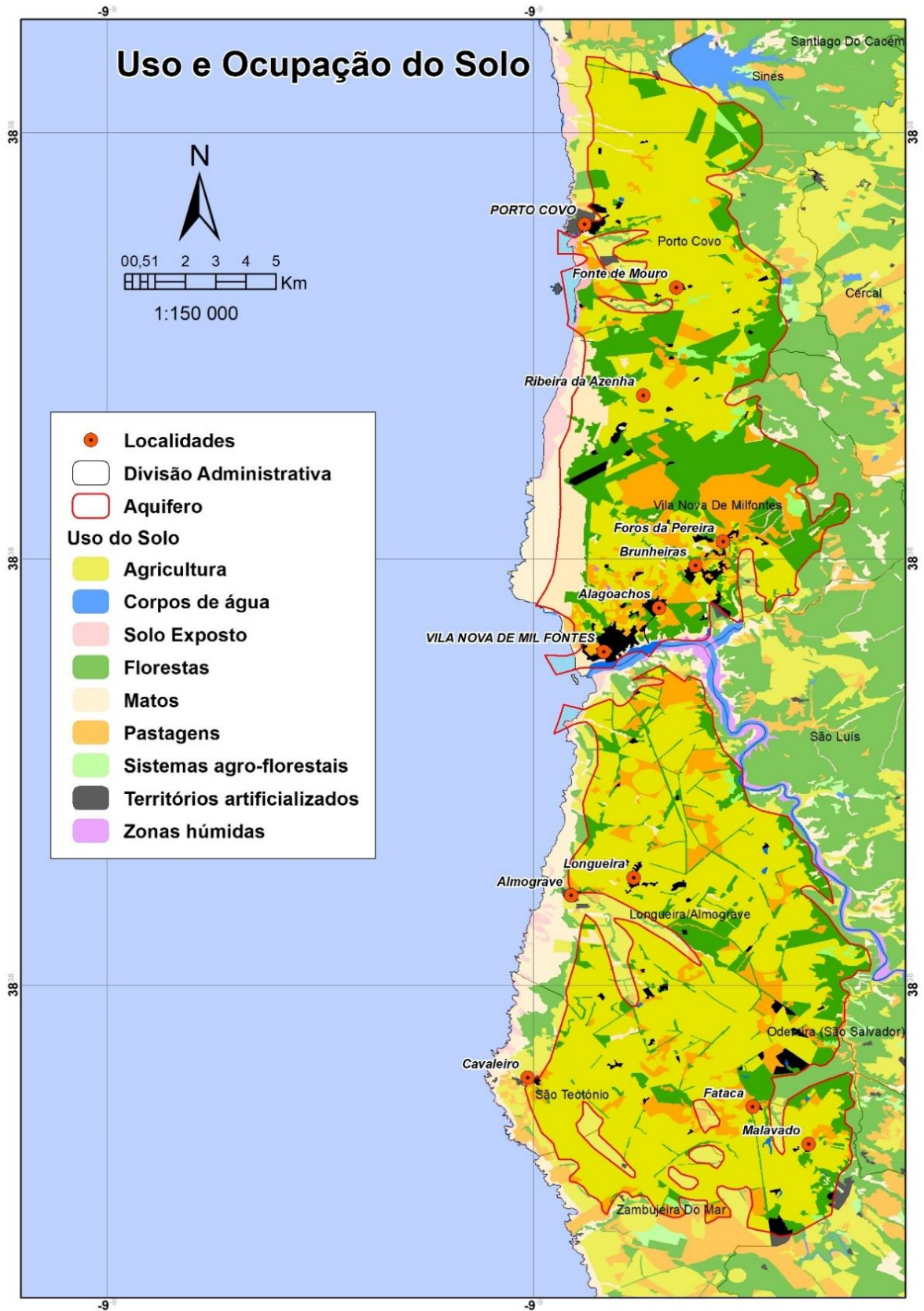


Figura 18-Uso e Ocupação do Solo

A distribuição por tipos de ocupação de solo, calculada através das áreas correspondentes, pode ser visualizada na Tabela 7 e no gráfico da Figura 19.

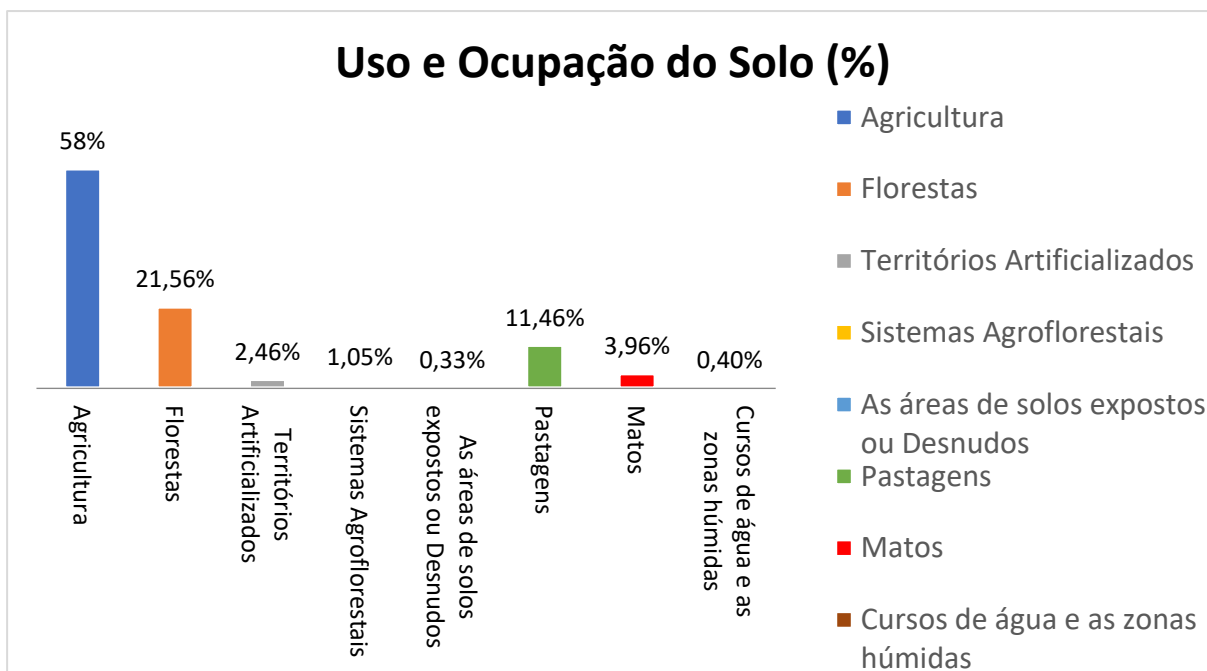


Figura 19-Uso e Ocupação do Solo - Percentagem

Tabela 7- Uso e ocupação do Solo

Mega Classe	Área (Km ²)	Área (%)	Sector	Área (Km ²)	Área (%)	Subdivisões	Área (km ²)	Área (%)	Sect.	Área (Km ²)	Área (%)
Agricultura	111,63	58	Norte	41,95	37,5	Culturas temporárias de sequeiro e regadio	103,9	91,46	Norte	37,63	36,27
						Sul			66,27	63,73	
						Sistemas culturais e parcelares complexos	4,74	4,18	Norte	3,8	80
						Sul			0,94	20	
						Pomares	4,02	3,51	Norte	0,11	2,73
						Sul			3,91	97,27	
			Agricultura com espaços naturais e seminaturais	0,32	0,29	Norte	0,13	40,6			
			Vinhas			0,31	0,28	Norte	0,29	93,5	
								Sul	0,02	6,5	
			Olivais			0,18	0,15	Norte	0,13	64,7	
								Sul	0,05	35,3	
			Culturas Temporárias			0,16	0,13	Norte	0,10	60	
Sul	0,06	40									
Florestas	42,21	21,56	Norte	26,52	62,82	Floresta de eucalipto	18,5	43,82	Norte	10,62	57,4
						Sul			7,88	42,6	
						Floresta de Sobreiro	11,48	27,19	Norte	7,65	66,63
						Sul			3,83	33,37	
						Floresta de Pinheiro Bravo	7,49	17,70	Norte	4,77	63,68
						Sul			2,72	36,32	
			Floresta de Pinheiro Manso	3,29	7,49	Norte	2,51	76,3			
			Sul			0,78	23,7				
			Floresta de Outras Folhosas	1,22	3,00	Norte	0,72	59			
						Sul	0,50	41			
			Florestas de espécies invasoras	0,19	0,80	Norte	0,19	100			
						Sul	0	0			
Florestas de outras resinosas	0,01	0,06	Norte	0,01	100						
			Sul	0	0						

Mega Classe	Área (Km ²)	Área (%)	Sect.	Área (Km ²)	Área (%)	Subdivisões	Área (km ²)	Área (%)	Sect.	Área (Km ²)	Área (%)
Territórios Artificializados	4,82	2,46	Norte	3,04	63,07	Tecidos Urbanos Contínuos	1,03	21,14	Norte	0,82	79,42
								Sul	0,21	20,58	
						Tecidos Urbanos Descontínuos	1,33	27,30	Norte	1,13	85,6
								Sul	0,20	14,4	
						Equipamentos Culturais e outras zonas históricas	0,92	19,15	Norte	0,48	51,64
								Sul	0,44	48,36	
			Sul	1,78	36,93	Indústria, comércio e equipamentos gerais	0,90	18,72	Norte	0,30	31,88
									Sul	0,60	68,12
						Equipamentos de Lazer e outras instalações desportivas	0,32	6,70	Norte	0,03	9,37
								Sul	0,29	90,63	
						Área em construção	0,15	3,16	Norte	0,13	86,66
								Sul	0,02	13,34	
						Áreas de Extração de Inertes	0,13	2,75	Norte	0,11	84,61
								Sul	0,02	15,38	
Rede viária e Ferroviária e espaços associados	0,03	0,75	Norte	0,03	100						
			Sul	0	0						
			Áreas de deposições de Resíduos	0,01	0,33	Norte	0,01	100			
					Sul	0	0				
Sistemas Agroflorestais	2,06	1,05	Norte	1,45	70,30	Sistemas agroflorestais de sobreiro	1,92	93,36	Norte	1,43	74,47
								Sul	0,49	25,53	
			Sul	0,61	29,70	Sistemas agroflorestais de pinheiro manso	0,11	5,51	Norte	0	0
								Sul	0,11	100	
						Sistemas agroflorestais de outras misturas	0,3	1,13	Norte	0,3	100
								Sul	0	0	

Mega Classe	Área (Km²)	Área (%)	Sect.	Área (Km²)	Área (%)	Subdivisões	Área (km²)	Área (%)	Sect.	Área (Km²)	Área (%)
As áreas de solos expostos ou Desnudos	0,95	0,48	Norte	0,87	92,3	X	0,95	100	Norte	0,87	92,3
			Sul	0,08	7,7				Sul	0,08	7,7
Pastagens	25,43	12,90	Norte	12,98	51,04	Pastagens permanentes	23,47	92,30	Norte	12,14	51,88
			Sul	10,51	48,96	Vegetação herbácea natural	1,96	7,70	Sul	11,33	48,12
									Norte	1,32	69,3
			Sul	0,64	30,7						
Matos	7,76	3,15	Norte	6,86	88,40	X	7,76	100	Norte	6,86	88,40
			Sul	0,90	11,60				Sul	0,90	11,60
Cursos de água e as zonas húmidas	0,88	0,40	Norte	0,50	57	X	0,50	57	Norte	0,50	57
			Sul	0,38	43		0,38	43	Sul	0,38	43

As áreas classificadas como mega classe agricultura, apresentaram a maior taxa de ocupação do solo na área em estudo, correspondem a aproximadamente 113, 61 km², o equivalente a 58% do território total estudado, evidenciando a sua grande importância para a área de estudo. Predominantemente ocupado por culturas temporárias de sequeiro e regadio que corresponde a praticamente 92% de toda a área agrícola, sendo maioria no sector Sul, porém ainda com uma parcela bastante significativa no sector norte. Como é possível perceber na Figura 20.

As culturas de sequeiro são decididas pela natureza enquanto que as de regadio têm intervenção de ambos: do homem (regando) e da natureza. As culturas de regadio, principalmente durante o verão, em que as temperaturas atingem valores muito altos, necessitam, para se desenvolver, de ser regadas com regularidade.

A rega deste tipo de culturas geralmente é feita através de um reservatório de água superficial como um rio ou lago, como perímetro de rega do rio Mira, que abastece o sector Sul, ou a partir da água dos poços, ou furos como é mais característico do sector Norte, portanto tornando-se de extrema importância a mensuração do valor de rega na área de estudo, para melhor compreendê-la.

As demais culturas correspondentes a agricultura, como os sistemas culturais e parcelares complexos, pomares, agricultura com espaços naturais e seminaturais, vinhas, olivais, culturas temporárias, juntas corresponderam a valores menores que 10% das áreas de produção agrícola.

A figura 20 permite visualizar a distribuição deste tipo de ocupação de forma específica e detalhada.

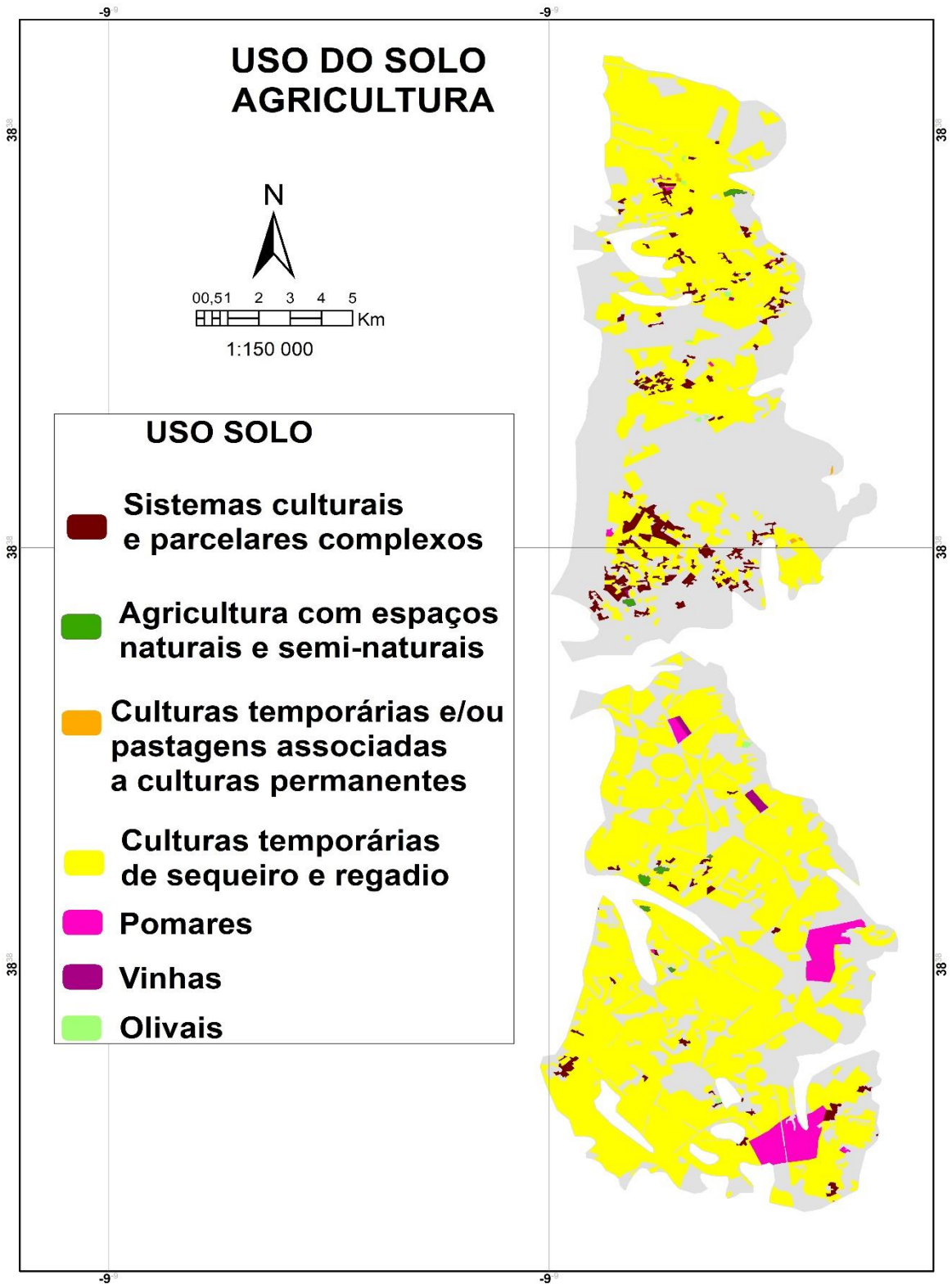


Figura 20- Uso e Ocupação do Solo-Agricultura

A segunda maior área de ocupação corresponde as Florestas, que possuem aproximadamente 42,21 km² e que equivalem a aproximadamente 21,56% da área total do sistema aquífero. Da área total de florestas, 26,52 km² ou 62,82%, situam-se no sector Norte, e 15,69 km² ou 37,17% no sector sul.

As áreas de Pastagens aparecem em seguida com 22,43km², que representam 11,46% da área em estudo. Destes 12,00 Km², cerca de 53,50% estão localizados no Sector Norte, e 10,43 km², 46, 50 %, no sector Sul.

É possível perceber que a área de estudo não é densamente povoada, e a agricultura tem uma grande importância no fator de uso e ocupação solo, com impactos diretos e sensíveis no uso da água.

Nas figuras 21 ,22 e 23 é possível verificar os demais usos ocupações, além da agricultura.

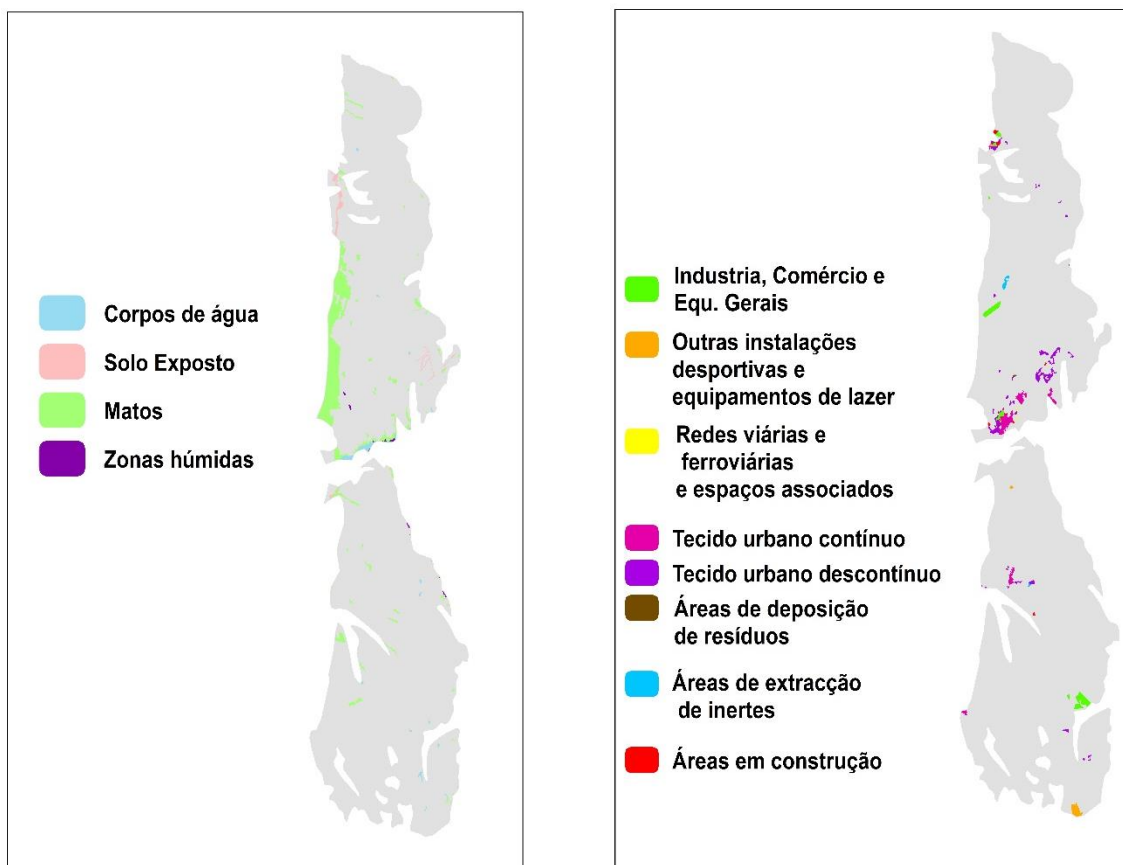


Figura 21 – Uso do Solo (Demais usos / Áreas Artificializadas)

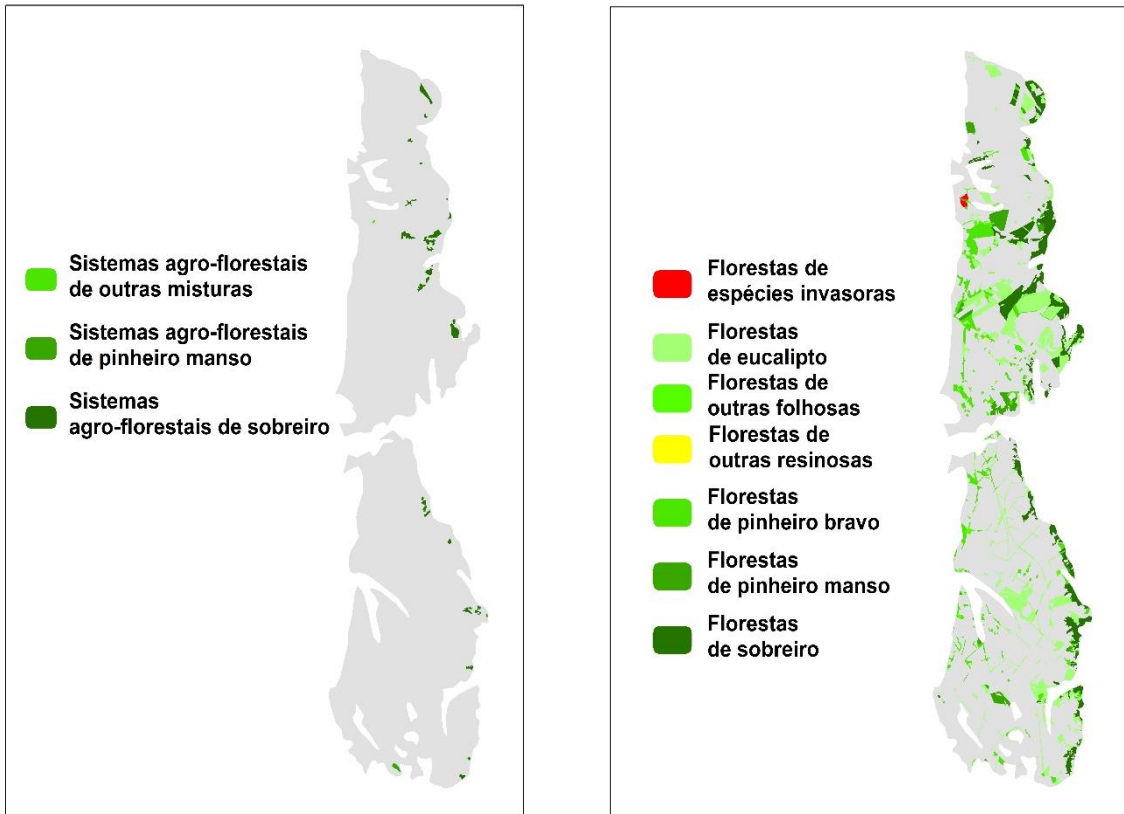


Figura 22 - Uso do Solo (Sistemas Agroflorestais / Florestas)

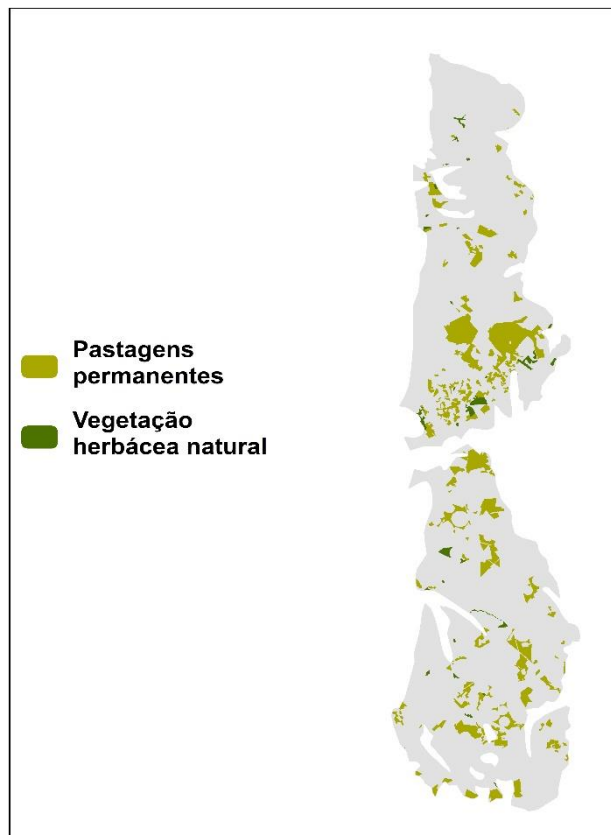


Figura 23 – Uso do Solo (Pastagens)

3. HIDROGEOLOGIA

De acordo com Monteiro et al (2019), do ponto de vista hidrogeológico o sistema aquífero das areias, arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo, corresponde a um aquífero detrítico freático, pouco profundo, formado por material sedimentar, produtos de erosão, transporte, ação do intemperismo - químico e físico - e processos geológicos externos.

Como já fora citado anteriormente, o sistema possui duas áreas independentes, que, neste trabalho, são nomeados de sector norte e sector sul, o primeiro com 94,12 km², e o segundo com 101,75 km², totalizando 195,87 km².

As areias, arenitos e cascalheiras plio-pleistocénicas estão assentes sobre as formações flysch do Baixo Alentejo do carbonífero, que constituem falésias junto à linha de costa. Tal facto leva a que a descarga da água infiltrada nas formações em estudo (muito mais porosas e permeáveis do que as rochas paleozóicas subjacentes), apresentem descarga no limite geológico, quase sempre horizontal, ou sub-horizontal nas falésias, entre as rochas plio-pleistocénicas e paleozoicas. São testemunho deste facto as numerosas nascentes existentes neste limite geológico e hidrogeológico.

Outra forma de descarga natural das areias arenitos e cascalheiras consiste na alimentação do caudal de base de ribeiras perpendiculares à linha de costa que, por vezes, chegam a dissecar as formações plio-pleistocénicas (o que justifica as reentrâncias observadas no limite oeste do aquífero) e constituem áreas de descarga de água subterrânea que desaguam directamente no mar. (Monteiro et al. 2019).

Nesta secção do trabalho apresentam-se estimativas de recarga anual média a longo prazo em regime permanente, e também para séries plurianuais mensais, bem como para anos húmidos e secos (tendo em conta os dados de precipitação disponibilizados por Nicolau, 2002) e as taxas de infiltração anual média propostas em trabalhos anteriores realizados no sistema aquífero de Sines (Monteiro; Chambel, et al. 2008). Apresenta-se também o cálculo do balanço hídrico sequencial mensal ao nível do solo além do estabelecimento de um modelo conceptual de funcionamento hidráulico dos dois sectores em que se dividem as formações aquíferas estudadas. Este modelo baseou-se fundamentalmente no estudo da piezometria, o qual permite definir as condições e direcções de fluxo subterrâneo.

3.1. BALANÇO HIDROGEOLÓGICO

O significado destes balanços, a longo prazo e em regime permanente baseia-se na premissa de que as entradas e saídas de água no sistema têm valores equivalentes e que, por consequência, o valor estimado para a recarga anual e saídas naturais correspondem também ao volume anual de escoamento que se processa entre as áreas de recarga e descarga.

Ver-se-á posteriormente (secção 3.2 do presente capítulo 3) que serão apresentados valores de balanço mais detalhados, em regime transitório para a zona variavelmente saturada do solo que são especialmente relevantes no presente caso de estudo.

Tal como revelado pela distribuição espacial dos valores de precipitação anteriormente apresentados (secção 2.4.1 do presente capítulo 2), verifica-se que a precipitação tende a ser ligeiramente superior a norte comparativamente aos valores registados para sul da área de estudo. Verifica-se também que há uma tendência de aumento de precipitação em direcção ao interior.

Deduz-se que exista uma tendência de diminuição da precipitação de norte para sul, em conformidade com o decréscimo da hipsometria (elevação do terreno).

O balanço hídrico corresponde ao balanço de água, que promove o equilíbrio entre a entrada e saída de água de uma região. Desta forma, no presente capítulo procede-se à estimativa da variação de volume de água presente nas areias, arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo. Considera-se a área como um reservatório delimitado, suprido pelas precipitações e com volumes máximos dados pela capacidade de recarga, os excedentes de infiltração podem percolar profundamente, vindo a transformar-se em recarga, e os excedentes superficiais podem escoar diretamente para a rede de drenagem fluvial.

A estimativa deste balanço baseou-se numa série mensal média plurianual de precipitação com uma distribuição de 1 km², calculada por Nicolau (2002), a qual foi usada para estimar a distribuição de precipitação e recarga na região em estudo, para o período de 1959/60 – 1990/91. A mesma autora estimou a precipitação e a sua distribuição para todo o território nacional de Portugal através da utilização de algoritmos com a aplicação conjunta de técnicas de geoestatística e de variáveis auxiliares determinantes (técnicas de interpolação, como krigagem que incluíram métodos univariados e multi-variados, com deriva externa baseada na altitude, desenvolvida sobre

uma vizinhança móvel). O resultado final desse trabalho consiste numa grelha de precipitação com uma resolução espacial de 1 km², que cobre totalmente a área de Portugal Continental. Para o presente trabalho consideraram-se os pontos referentes à área estudada, juntamente com a área adjacente no raio de 1 km através da aplicação de um buffer de mil metros da área delimitada.

Assim, a série mensal média plurianual com uma grelha de distribuição de 1 km² calculada por Nicolau (2002) foi usada para estimar a distribuição de precipitação e recarga especificamente na região, com distribuição espacial e temporal conforme indicado na Figura 24.

Além de se considerar a média anual final do Ano seco e o Ano húmido, foram também analisadas as médias mensais e anuais, não só à escala da totalidade da área estado como à escala de ambos os sectores.

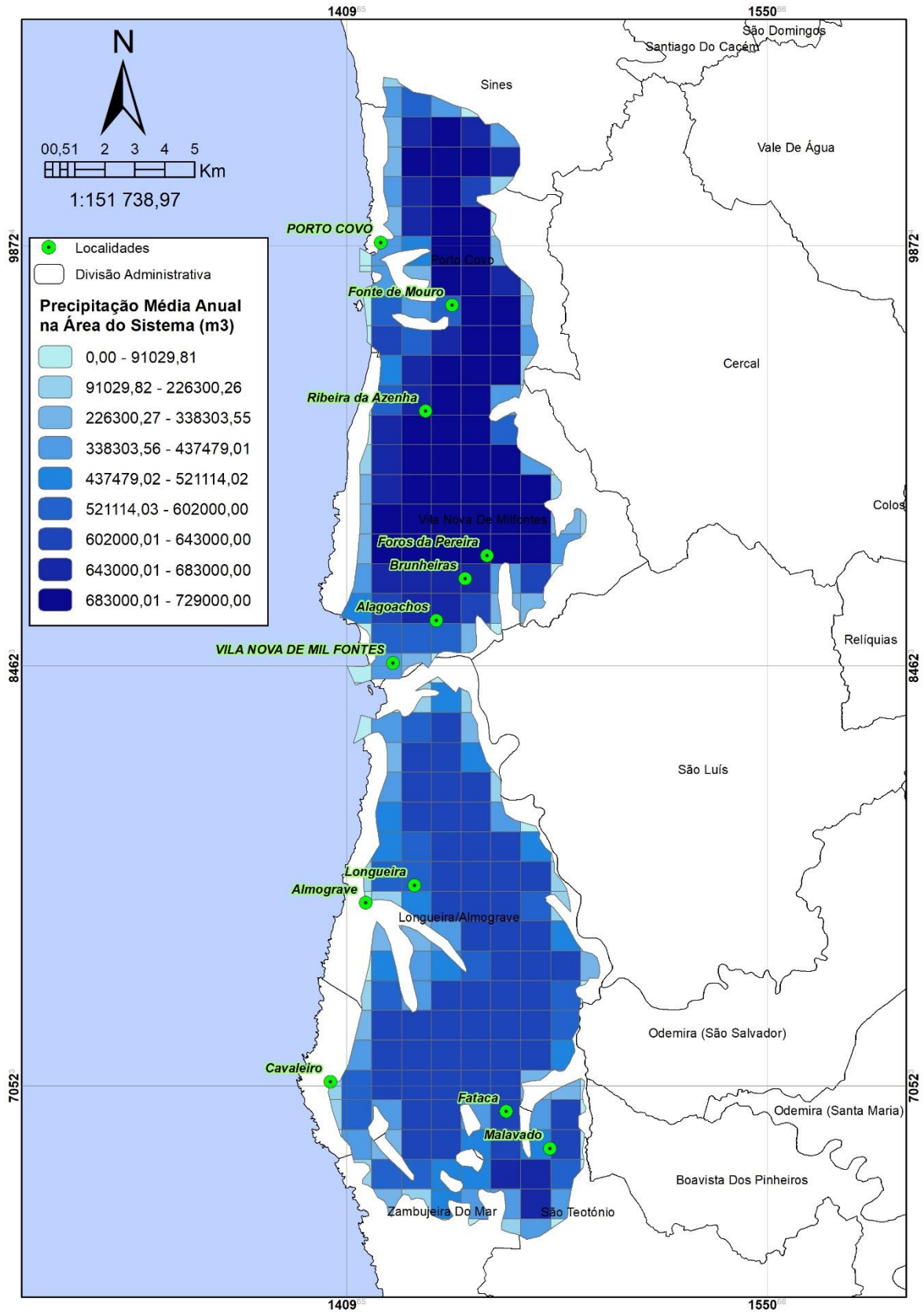


Figura 24 – Rede Ortogonal da precipitação média anual baseado em dados de Nicolau 2002 para a série de 1959/60-1990/91

Após esta fase, os dados de precipitação foram trabalhados no Excel, de forma a obter os dados estatísticos para a área de estudo, e, posteriormente, o valor de recarga.

O valor de precipitação anual média na área deste estudo é da ordem dos 686,59 mm/ano. Adotou-se a taxa de infiltração correspondente a cerca de 20% deste valor, que ocorre nos 195,88 km² das areias, arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo, por analogia com os valores apontados de balanço assumidos em trabalhos anteriores para este mesmo sistema e para o mesmo tipo de formações. (Monteiro et al 2008; Monteiro, Chambel e Martins 2017; Monteiro, Costa e Hugman 2019)

As estimativas anuais totais de recarga totalizaram 25,45 hm³/ano, para toda a área em estudo, sendo 12,93 hm³/ano para sector norte, e 12,48 hm³/ano para o sector sul. (Figura 25)

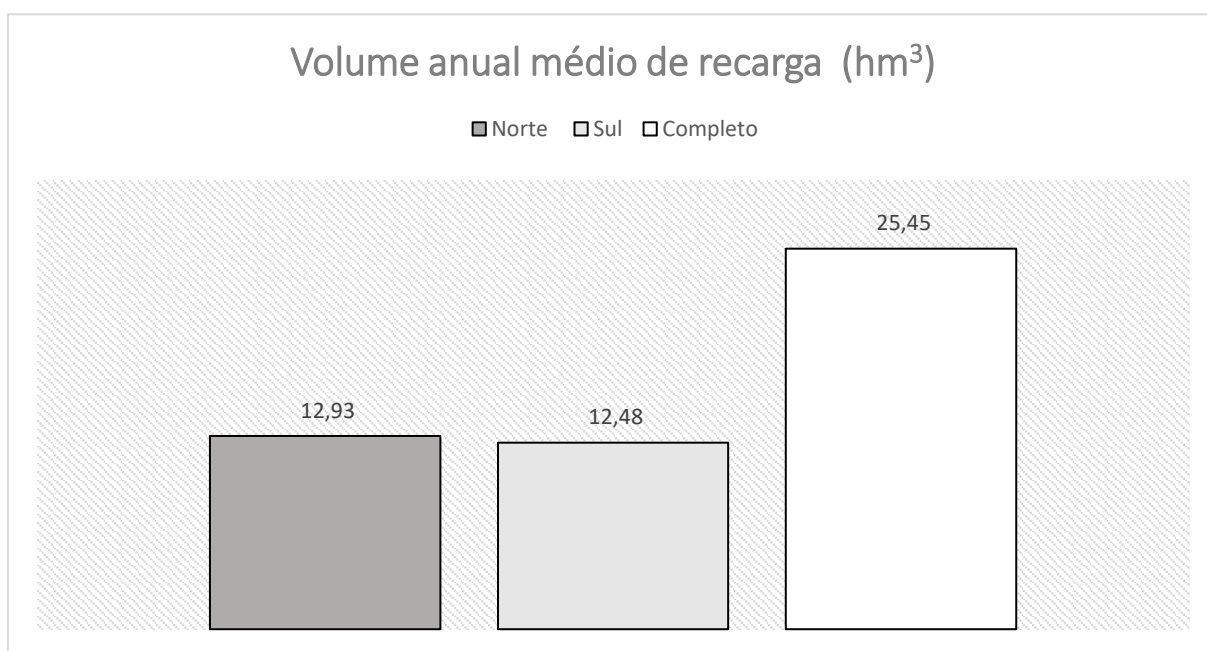


Figura 25 – Volume médio Anual de recarga

Adotando o mesmo valor percentual de recarga de 20%, para os anos húmidos e secos, e dividindo o aquífero em sectores norte e sul, obteve-se para o ano seco o valor anual médio de 8,88 hm³/ano para o sector norte, e 8,26 hm³/ano para o sector sul, obtendo-se um valor total de recarga anual médio de 17,16 hm³/ano. (Figura 26)

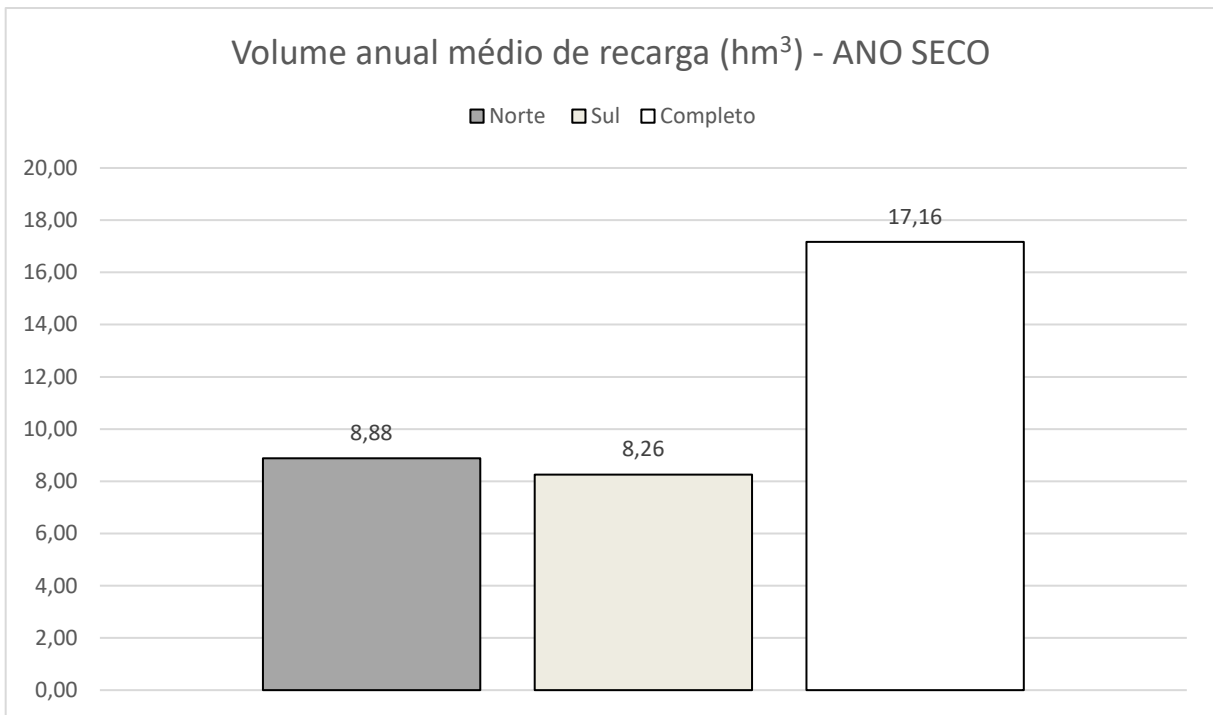


Figura 26- Volume Anual Médio de Recarga - Ano Seco

Já para o ano húmido os valores de recargas anuais apresentaram o seguinte comportamento 17,30 hm³/ano, para o sector norte, 17,15 hm³/ano para sector sul, e 34,51 hm³/ano para o todo o aquífero. (Figura 27)

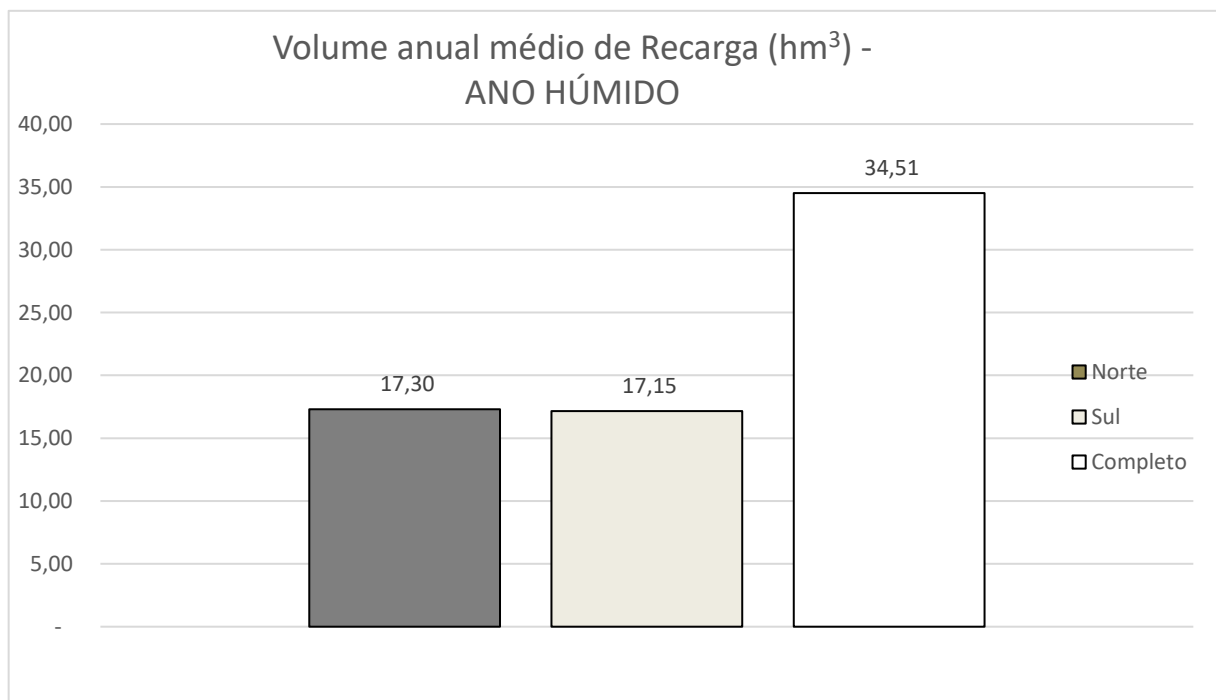


Figura 27 - Volume Anual Médio de Recarga - Ano Húmido

É possível verificar que há uma grande oscilação interanual da recarga na região, uma vez que em média a recarga do ano húmido é aproximadamente o dobro do verificado para o ano seco.

Sendo assim, o produto obtido nos cálculos anteriores, foi usado para calcular o volume de água que é possível extrair continuamente em condições normais sem afetar a reserva e a qualidade da água dos arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo, ou seja, a disponibilidade aquífera. Sendo o valor de recarga obtido, dividido pelo produto da multiplicação da área abordada pelo número de dias do ano. Tendo o resultado como o volume estimado de água que é produzido diariamente.

$$P = R/A \times 365$$

P= Disponibilidade Aquífera (m³/Km²/Dia)

R = Recarga (m³)

A= Área (km²)

(Eq. 1)

Neste caso, foram obtidos os valores de disponibilidade hídrica do sistema para cada mês do ano, e para os anos húmidos e secos e para um ano médio, para ambos os sectores do aquífero e para o aquífero na sua totalidade.

Entende-se por disponibilidade hídrica subterrânea o volume de água que uma massa de água subterrânea pode fornecer anualmente em condições naturais. Este volume está intrinsecamente associado à recarga direta por precipitação. No entanto, ao nível da massa de água subterrânea poderão ocorrer outras origens de recarga, nomeadamente as trocas de água com outras massas de água e processos de drenagem. Este indicador permite conhecer a disponibilidades hídrica existente num determinado dia, mês ou ano, compara com valores médios, e possibilita avaliar se foi um ano húmido ou seco.

Para o Ano Seco os dados apresentaram um valor médio de 240,08 m³/Km² ao dia, referindo-se a toda a área de estudo. Porém ao dividi-la é perceptível que o sector mais a norte apresenta uma maior disponibilidade hídrica, com 258,58 m³/Km² ao dia, sendo este valor maior até que a média para os dois sectores. Em contrapartida o sector sul, apresentou um valor de 222,27 m³/Km² ao dia, portanto abaixo do valor médio da totalidade do aquífero e muito abaixo do valor do sector norte, o que evidencia a alta disponibilidade hídrica do sector norte. (Figura 28)

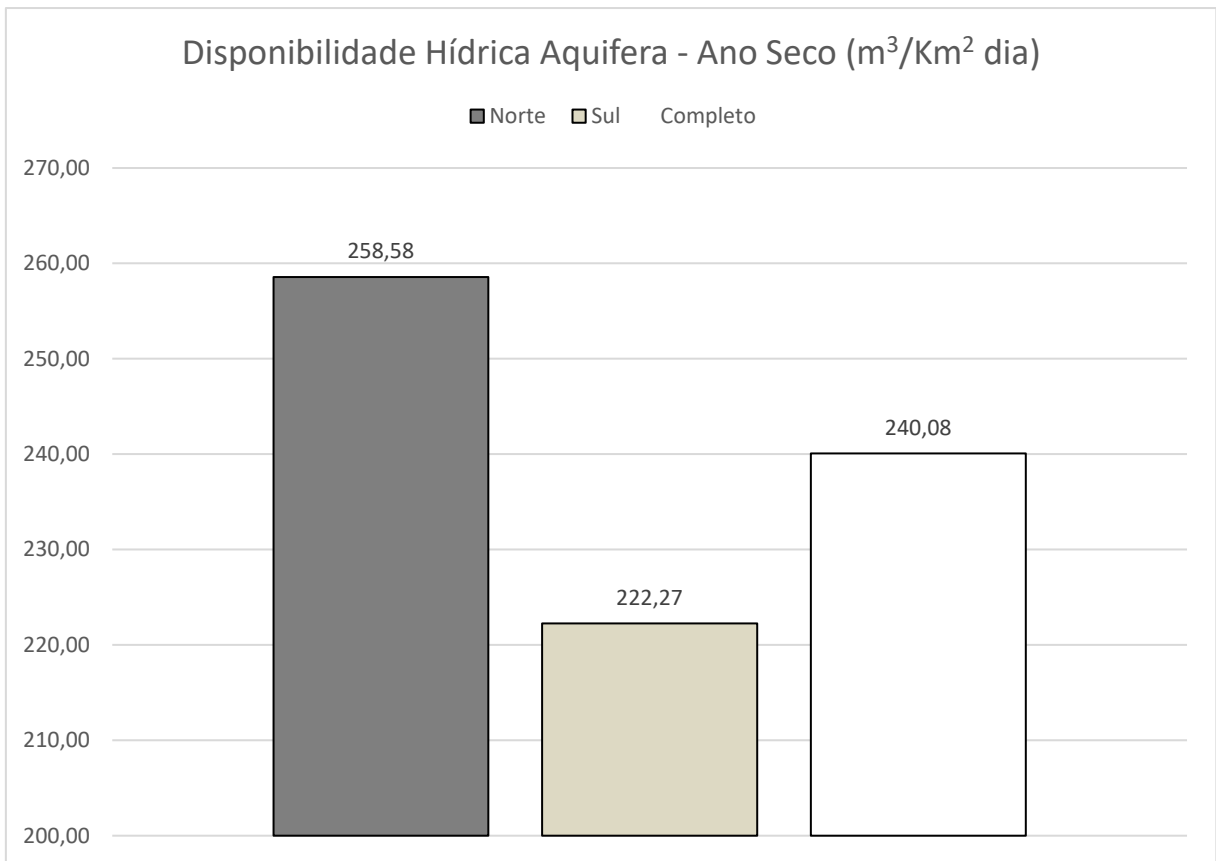


Figura 28-Disponibilidade Hídrica- Ano Seco

Já para o Ano Húmido, os dados de disponibilidade hídrica são aproximadamente o dobro em relação ao Ano seco, apresentando um valor de 482,70 m³/Km² dia. Para o sector Sul o valor calculado é de 461,84 m³/Km² dia, enquanto que para o sector Norte é de 503,67 m³/Km² dia. (Figura 29)

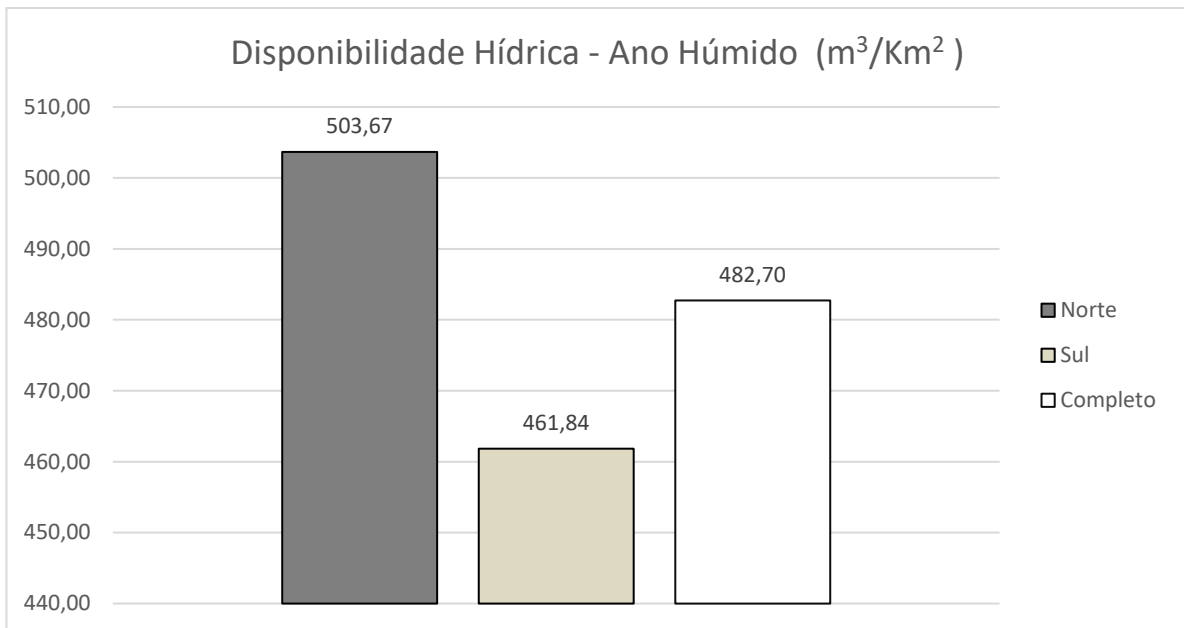


Figura 29-Disponibilidade Hídrica - Ano Húmido

No que respeita à média anual da disponibilidade hídrica, os dados obtidos mantêm os padrões identificados nos períodos temporais anteriores (ano seco e ano húmido), no qual se verifica que o sector Norte apresenta valores mais elevados em relação ao Sul. A média geral do aquífero apresenta um valor de 376,24 m³/Km² dia, endossando tendência de diminuição da precipitação de norte para sul, em conformidade com a altura do relevo. Como é possível perceber o sector Sul apresentou um valor inferior ao norte e a toda área em conjunto, com algo em torno de 336,06 m³/Km² dia, este valor inferior influenciou no resultado médio entre os dois sectores, o qual apresentou um valor inferior que o sector norte, com uma disponibilidade hídrica de 355,94 m³/Km² dia. (Figura 30)

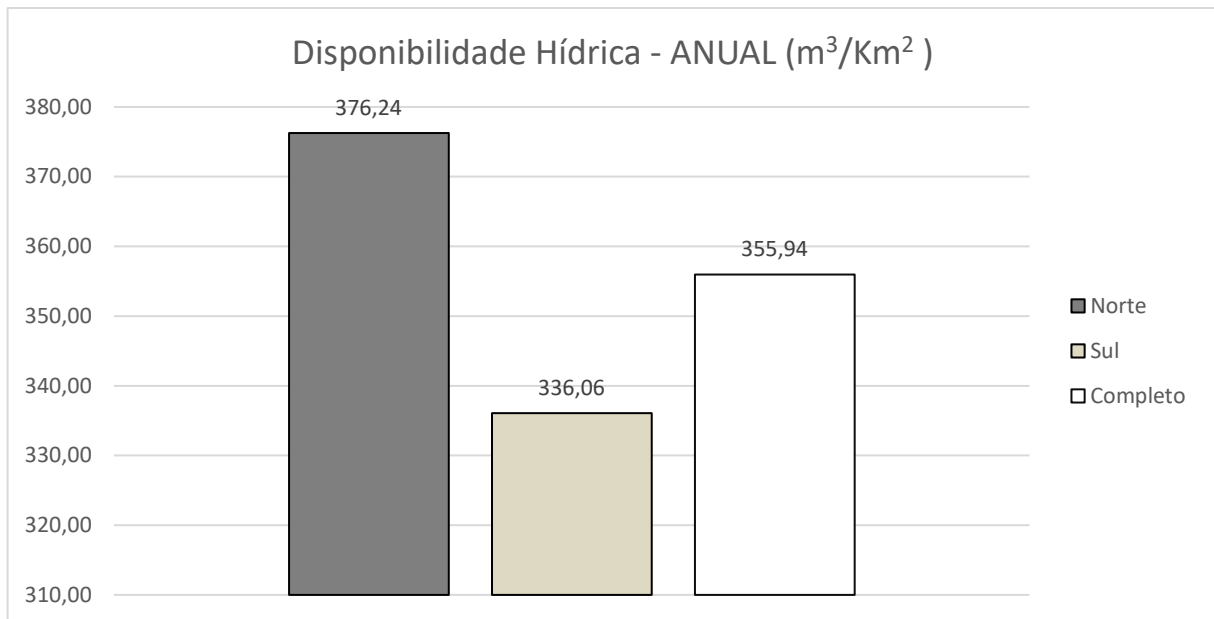


Figura 30-Disponibilidade Hídrica – Anual

Havendo uma comparação da produção aquífera entre os dois sectores, mês a mês, é possível perceber a existência de uma maior disponibilidade hídrica no sector norte do que sul.

Em ambos os sectores o mês com maior disponibilidade hídrica é o mês de novembro, com valores aproximados de 53,47 m³/Km² dia, para o sector norte, e 50,76 m³/Km² ao dia, para o sul. Já os valores menores são referentes ao mês de julho com 1,27 m³/km² dia, para norte, e 1,00 m³/km² para o sul. Confirmando, neste caso, de que há uma maior disponibilidade de água, no sector norte, que é o sector com maior valor de precipitação. (Figura 31)

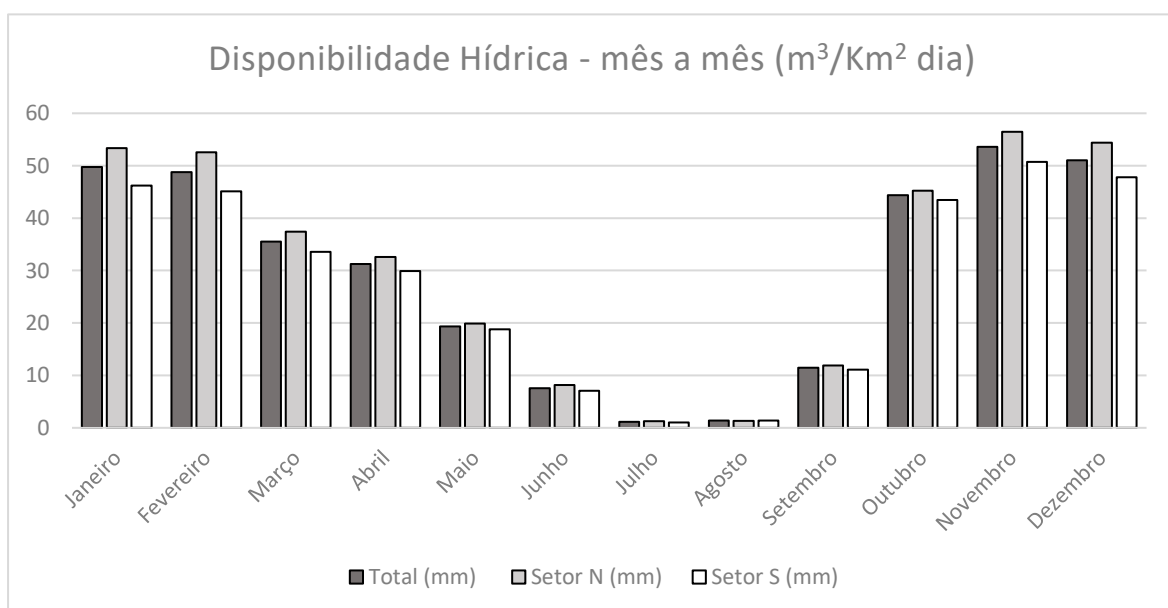


Figura 31-Disponibilidade Hídrica mês a mês

Com estes dados diários e mensais é possível estabelecer os valores de disponibilidade hídrica anual total do sistema, seus respectivos sectores e para os anos húmidos e secos. Para o Ano Seco os dados apresentaram um valor médio de $87629,20\text{m}^3/\text{Km}^2$ ao ano, com $94380,70\text{m}^3/\text{Km}^2$ ao ano para o sector norte, e o valor de $81128,55\text{m}^3/\text{Km}^2$ ao ano para o sector sul. (Figura 32)

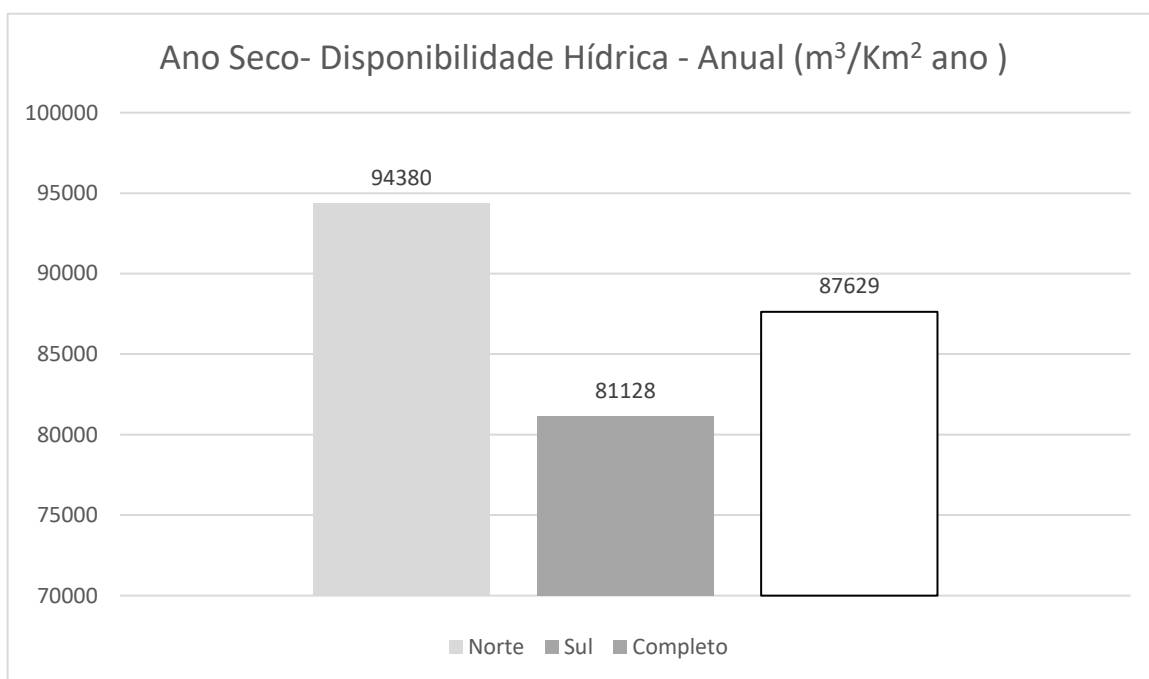


Figura 32- Ano Seco- Disponibilidade Hídrica - Anual

Já para o Ano Húmido, os dados de disponibilidade hídrica, apresentaram um valor de $176185,50\text{m}^3/\text{Km}^2$ ano. Para o sector Sul o valor calculado foi de $168571,60\text{m}^3/\text{Km}^2$ ano, enquanto que para o sector Norte é de $183839,55\text{m}^3/\text{Km}^2$ ano. (Figura 33)

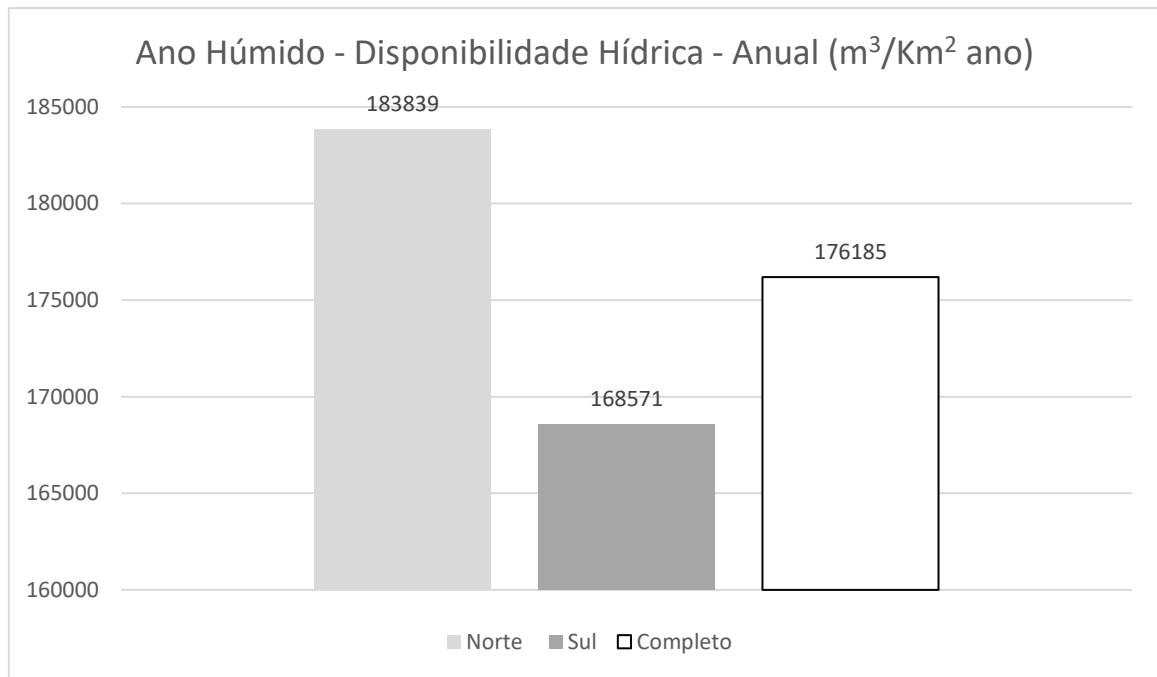


Figura 33-Ano Húmido - Disponibilidade Hídrica - Anual

No que respeita à média anua da disponibilidade hídrica, o comportamento manteve-se padrão, atestando a veracidade do cálculo diário e os valores encontrados nos períodos temporais anteriores (ano seco e ano húmido), como já supracitado, o sector Norte apresenta valores mais elevados em relação ao Sul. A média geral do aquífero apresenta um valor de 129918,10 m³/Km² ano, o sector sul apresentou 122661,90 m³/Km² ano, e o sector norte, com uma disponibilidade hídrica de 137327,60 m³/Km² ano (Figura 34)

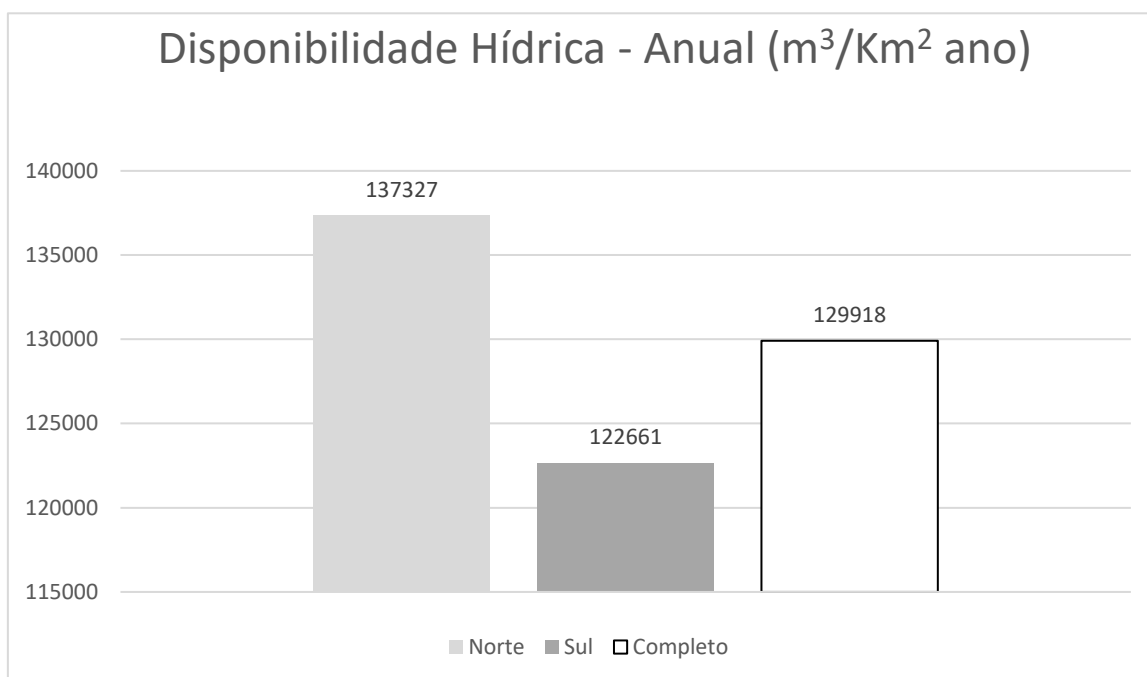


Figura 34- Disponibilidade Hídrica - Anual Normal

3.2. BALANÇO HÍDRICO SEQUENCIAL MENSAL AO NÍVEL DO SOLO

O Balanço Hídrico Sequencial Mensal é uma das diversas maneiras de se caracterizar o armazenamento de água no solo. O balanço hídrico fornece estimativas do armazenamento de água no solo, da evapotranspiração real, da deficiência hídrica e do excedente hídrico em diversas escalas de tempo, dentro do ano hidrológico. Tal é feito através da análise de variáveis, em particular, do preenchimento natural de água no solo através da chuva e das perdas para a atmosfera através da evapotranspiração potencial. Adicionalmente também é necessário considerar o armazenamento máximo apropriado para o tipo de solo ou cultura.

Com base nos dados completos de evapotranspiração potencial, publicados pelo então Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), nas estações meteorológicas de Santiago do Cacém e de Odemira, foi estimado um valor médio para evapotranspiração potencial para toda a área de estudo. Desta forma, procedeu-se ao cálculo do balanço mensal da água no solo, a partir de valores médios mensais de precipitação, utilizando a série de precipitação de Nicolau (2002), e admitindo um determinado valor de capacidade de campo (cc), de acordo com o tipo de solo. Neste caso adotou-se o valor correspondente ao solo arenoso, que possui um valor de 20,00% (Lemos et al 1984).

Calculou-se a evapotranspiração real e os excedentes ou déficits hídricos mensais. A evapotranspiração real é calculada por um processo de balanço sequencial mensal, em que os valores iniciais de cada mês, são os calculados para o final do mês anterior, sendo a evaporação real sempre menor ou igual à evaporação potencial. Assim sendo:

$$P = EVR + R + \Delta AS$$

P é a precipitação

EVR é a evaporação real

R, é o escoamento + infiltração (excedente hídrico)

ΔAS , Variação de reserva de água no solo

(Eq.2)

Foi executado o Balanço Hídrico Sequencial Mensal ao nível do solo, Figura 35, da área em relação aos dados de EVP para a média anual mensal das estações de Odemira e Santiago do Cacém (1941-1970) e Precipitação da série 1959/60 – 1990/91 com base em Nicolau (2002), admitindo valor de capacidade de campo, de 75, adotando o valor mínimo correspondente ao solo arenoso (Silveira e Stone, 1994; D'angiolla et al 1999 ; Lòrdello Neto 1998). Assim sendo gerados 6 balanços hídricos sequenciais mensais, um para cada estação supracitada, ou seja, dois para a área total do aquífero e respetivamente dois para cada um dos sectores estudados.

Sendo assim, apresenta-se de seguida os balanços para a estação de Odemira em relação a área total do aquífero (Tabela 8):

Tabela 8- Balanço Hídrico Sequencial Mensal (Dados de EVP. Mensal da estação de Odemira, série (1941-1970) e Precipitação da série de 1959/60 – 1990/91)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
P (mm)	90,8	89,1	64,8	57,0	35,3	13,8	2,1	2,5	21,0	81,0	97,8	93,2	648,3
EVP (mm)	29,2	30,6	46,3	55,4	80,3	96,4	105,3	101,5	89,0	66,7	41,2	28,4	770,3
P-EVP (mm)	61,6	58,5	18,5	1,6	-45,0	-82,6	-103,2	-99,0	-68,0	14,3	56,6	64,8	-122,0
L (mm)					-45,0	-127,5	-230,8	-329,7	-397,8				-1130,8
S_{so} (mm)	75,0	75,0	75,0	75,0	41,2	13,7	3,5	0,9	0,4	14,6	75,0	75,0	524,3
ΔS_{so} (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	-33,8	-27,5	-10,2	-2,5	-0,6	14,3	60,4	0,0	0,0
EVR (mm)	29,2	30,6	46,3	55,4	69,2	41,3	12,3	5,0	21,5	66,7	41,2	28,4	447,1
DH (mm)					11,1	55,1	93,0	96,5	67,5				323,2
SH (mm)	61,6	58,5	18,5	1,6						0,0	-3,8	64,8	201,2

P= Precipitação
 EVP = Evapotranspiração Potencial
 L = Perda potencial da água total
 S_{s0} = Água armazenada na zona variavelmente saturada do solo
 ΔS_{s0} = Água no solo num intervalo menos água no solo no intervalo anterior
 EVR = Evapotranspiração Real
 SH – Superavit hídrico
 DH – Déficit Hídrico
 ACS – Água cedida pelo solo
 ARS – Água restituída ao solo

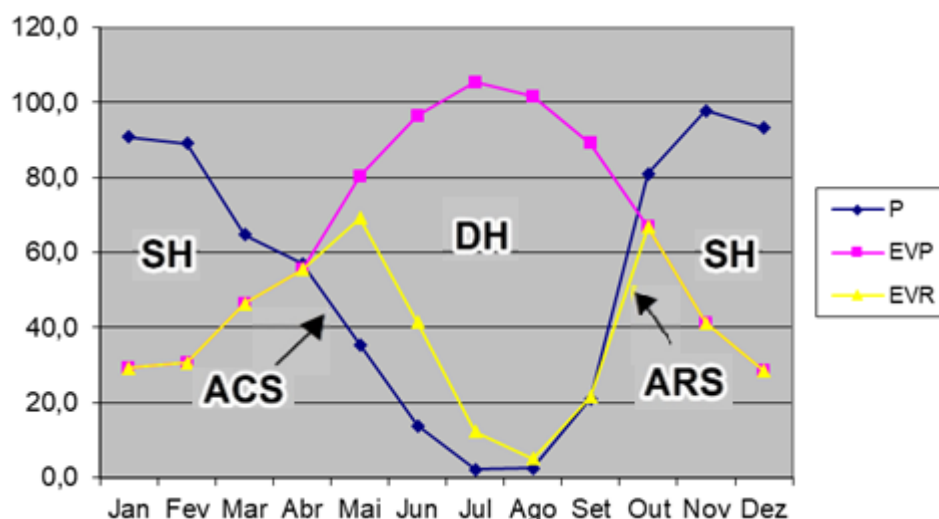


Figura 35-Balanço Hídrico Sequencial do Aquífero das areias, arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo/ Estação Odemira

A análise ao Balanço hídrico para toda a região estudada, em relação a estação de Odemira, indica que o período húmido na região se concentrou nos meses de outubro a março, com o máximo de precipitação registado em novembro, com valores próximos aos 98 mm. No que respeito aos períodos de déficit hídrico ($P - ETP < 0$), ocorreram durante os meses de maio a setembro, com um máximo de déficit 96,5 mm a ocorrer no mês de agosto. O déficit hídrico integral para estes 5 meses é de 323,2 mm. Por outro lado, o excesso hídrico ($P - ETP > 0$) ocorre nos cinco meses entre novembro a março, com um máximo observado em Dezembro, com um valor de 64,8 mm e um valor integral anual de 201,2 mm. Repete-se o processo para estação de Santiago do Cacém, Figura 36, com os dados de EVP (1941-1970) e Precipitação da série 1959/60 – 1990/91 com base em Nicolau (2002), Tabela 9 :

Tabela 9- Balanço Hídrico Sequencial Mensal (Dados de EVP. Mensal da estação de Santiago do Cacém, série (1941-1970) e Precipitação da série de 1959/60 – 1990/91) –

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
P (mm)	90,8	89,1	64,8	57,0	35,3	13,8	2,1	2,5	21,0	81,0	97,8	93,2	648,3
EVP (mm)	25,3	27,9	42,9	56,7	77,8	100,7	115,3	110,9	92,8	69,5	40,0	26,9	786,7
P-EVP (mm)	65,5	61,2	21,9	0,3	-42,5	-86,9	-113,2	-108,4	-71,8	11,5	57,8	66,3	-138,4
L (mm)					-42,5	-129,3	-242,6	-350,9	-422,8				-1188,1
S_{so} (mm)	75,0	75,0	75,0	75,0	42,6	13,4	3,0	0,7	0,3	11,7	75,0	75,0	521,6
ΔS_{so} (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	-32,4	-29,2	-10,4	-2,3	-0,4	11,5	63,3	0,0	0,0
EVR (mm)	25,3	27,9	42,9	56,7	67,8	43,0	12,5	4,8	21,4	69,5	40,0	26,9	438,6
DH (mm)					10,0	57,7	102,8	106,1	71,4				348,1
SH (mm)	65,5	61,2	21,9	0,3						0,0	-5,5	66,3	209,7

P= Precipitação

EVP = Evapotranspiração Potencial

L = Perda potencial da água total

S_{so}= Água armazenada na zona variavelmente saturada do solo

ΔS_{so}= Água no solo num intervalo menos água no solo no intervalo anterior

EVR = Evapotranspiração Real

SH – Superavit hídrico

DH – Défice Hídrico

ACS – Água cedida pelo solo

ARS – Água restituída ao solo

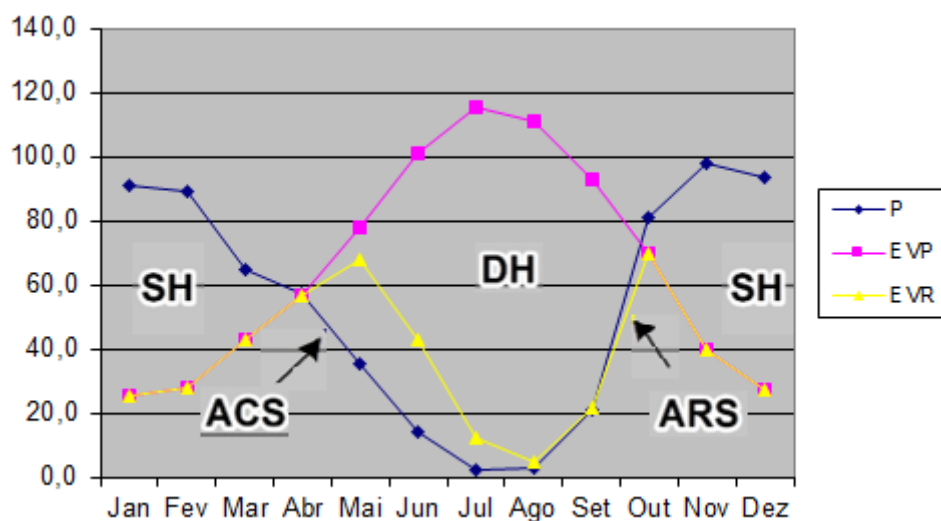


Figura 36-Balanço Hídrico Sequencial do Aquífero das areias, arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo/ Estação Santiago do Cacém –

O Balanço hídrico para toda a região estudada, desta vez em relação a estação de Santiago do Cacém, mostrou que os períodos de déficit hídrico ($P - ETP < 0$), ocorreram durante os meses de maio a setembro, com um máximo de déficit 106,1 mm a ocorrer no mês de agosto. O déficit hídrico integral para estes 5 meses é de 348,1 mm. Por outro lado, o excesso hídrico ($P - ETP > 0$) ocorre nos cinco meses entre novembro e março, com um máximo observado em Dezembro, com um valor de 66,3 mm e um valor integral anual de 209,7 mm.

Seguindo-se o padrão do estudo apresentado, a análise do balanço hídrico foi dividida em sector sul e sector norte com respetivos valores de precipitação, onde também foram adotados como referência para execução do balanço hídrico os valores médios mensais de precipitação de Nicolau (2002), para cada sector, e os valores de evapotranspiração potencial, para cada estação, respetivamente a de Santiago do Cacém, e a de Odemira. Apresenta-se de seguida (Tabela 10, Figura 37), os valores de balanço hídrico sequencial para o sector Sul em relação a Odemira:

Tabela 10 -Balanço Hídrico Sequencial Mensal (Dados de EVP. Mensal da estação de Odemira, série (1941-1970) e Precipitação da série do sector Sul 1959/60 – 1990/91) –

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
P (mm)	84,4	82,3	61,3	54,6	34,3	12,9	1,8	2,5	20,2	79,4	92,6	87,3	613,6
EVP (mm)	29,2	30,6	46,3	55,4	80,3	96,4	105,3	101,5	89,0	66,7	41,2	28,4	770,3
P-EVP (mm)	55,2	51,7	15,0	-0,8	-46,0	-83,5	-103,5	-99,0	-68,8	12,7	51,4	58,9	-156,7
L (mm)					-46,0	-129,6	-233,0	-332,0	-400,8				-1141,4
S_{S0} (mm)	75,0	75,0	75,0	75,0	40,6	13,3	3,4	0,9	0,4	13,0	75,0	75,0	521,6
ΔS_{S0} (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	-34,4	-27,3	-10,0	-2,5	-0,5	12,7	62,0	0,0	0,0
EVR (mm)	29,2	30,6	46,3	55,4	68,7	40,1	11,8	5,0	20,8	66,7	41,2	28,4	444,2
DH (mm)					11,6	56,3	93,5	96,5	68,2				326,1
SH (mm)	55,2	51,7	15,0	-0,8						0,0	-10,5	58,9	169,5

P= Precipitação

EVP = Evapotranspiração Potencial

L = Perda potencial da água total

S_{S0}= Água armazenada na zona variavelmente saturada do solo

ΔS_{S0} = Água no solo num intervalo menos água no solo no intervalo anterior

EVR = Evapotranspiração Real

SH – Superavit hídrico

DH – Défice Hídrico

ACS – Água cedida pelo solo

ARS – Água restituída ao solo

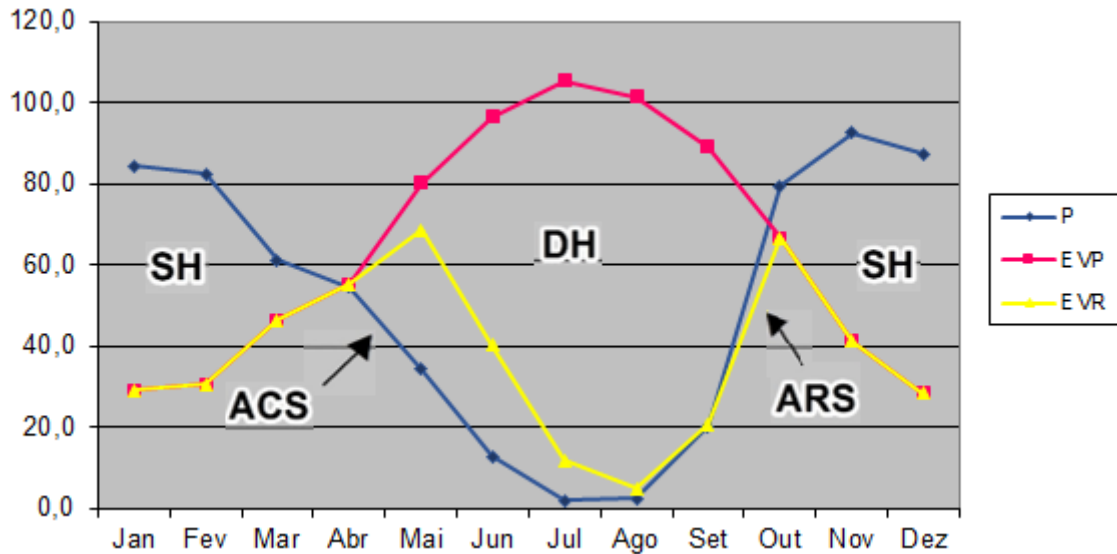


Figura 37-Balanço Hídrico Sequencial do Aquífero das areias, arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo/Estação Odemira (Sector Sul)

Para o sector Sul, em relação a estação de Odemira, o resultado variou pouco se comparado com a área total. O período húmido na região concentrou-se nos meses de outubro a março, à semelhança do que ocorreu na análise apresentada para todo o sistema, com valor máximo registado em novembro, e com valores próximos aos 93 mm. Os períodos de déficit hídrico, ocorreram durante os meses de maio a setembro, possuindo um máximo de déficit de 96,5 mm no mês de agosto com um valor anual de 326 mm. O período de excesso hídrico ocorre entre os meses de novembro a março, com um máximo de 59 mm observado em Dezembro e um valor anual de 169,5 mm. Para Santiago do Cacém o sector Sul comportou-se da seguinte forma: (Tabela 11, Figura 38)

Tabela 11 -Balanço Hídrico Sequencial Mensal (Dados de EVP. Mensal da estação de Santiago do Cacém, série (1941-1970) e Precipitação da série do sector Sul 1959/60 – 1990/91)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
P (mm)	84,3	82,3	61,3	54,5	34,2	12,8	1,8	2,5	20,2	79,3	92,6	87,2	613,6
EVP (mm)	25,3	27,9	42,9	56,7	77,8	100,7	115,3	110,9	92,8	69,5	40,0	26,9	786,7
P-EVP (mm)	59,1	54,4	18,4	-2,1	-43,5	-87,8	-113,5	-108,4	-72,6	9,9	52,6	60,4	-173,1
L (mm)					-43,5	-131,4	-244,8	-353,2	-425,8				-1198,7
S_{so} (mm)	75,0	75,0	75,0	75,0	42,0	13,0	2,9	0,7	0,3	10,1	75,0	75,0	518,9
ΔS_{so} (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	-33,0	-29,0	-10,1	-2,2	-0,4	9,9	64,9	0,0	0,0
EVR (mm)	25,3	27,9	42,9	56,7	67,3	41,8	12,0	4,7	20,7	69,5	40,0	26,9	435,7
DH (mm)					10,5	58,9	103,3	106,2	72,1				351,0
SH (mm)	59,1	54,4	18,4	-2,1						0,0	-12,2	60,4	177,9

P= Precipitação
 EVP = Evapotranspiração Potencial
 L = Perda potencial da água total
 S_{S0} = Água armazenada na zona variavelmente saturada do solo
 ΔS_{S0} = Água no solo num intervalo menos água no solo no intervalo anterior
 EVR = Evapotranspiração Real
 SH – Superavit hídrico
 DH – Déficit Hídrico
 ACS – Água cedida pelo solo
 ARS – Água restituída ao solo

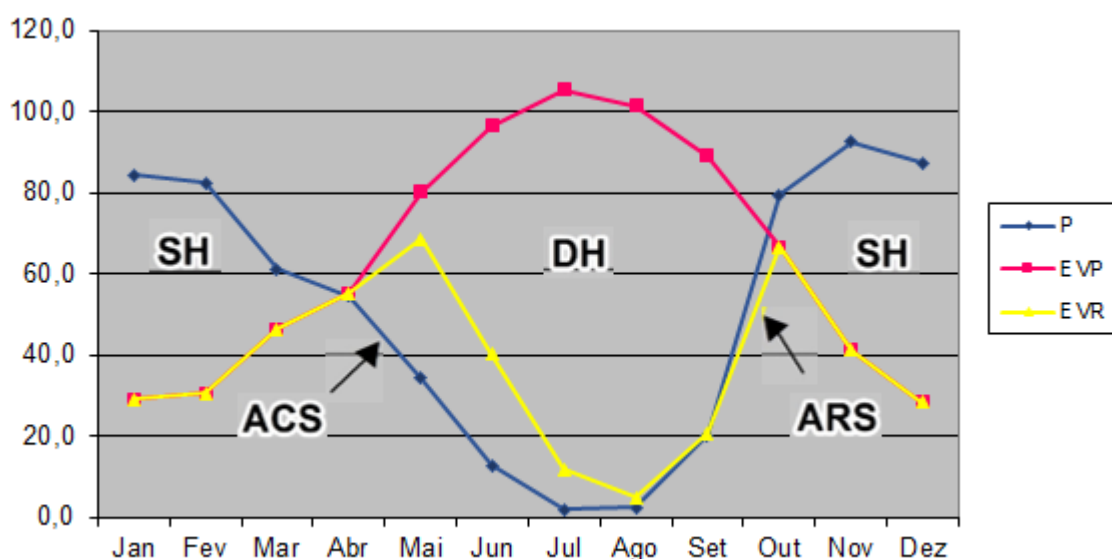


Figura 38--Balanço Hídrico Sequencial do Aquífero das areias, arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo/Estação Santiago do Cacém (Sector Sul)

Os períodos de déficit hídrico para o sector sul, com base nos dados da estação de Santiago do Cacém, ocorreram durante os meses de maio a setembro, possuindo um máximo de déficit de 106,2 mm no mês de agosto com um valor anual de 351,0 mm. O excesso hídrico ocorre entre os meses de novembro a março, com um máximo de 60,4 mm observado em Dezembro e um valor anual de 177,9 mm.

No que respeita ao sector Norte, mesmo apresentado um valor mensal superior de precipitação, não se verificam diferenças significativas em relação aos dados obtidos após a análise do balanço sequencial ao caso de estudo total e ao sector sul, verificando a existência de um padrão comportamental no aquífero. Para Santiago do Cacém o sector Norte comportou-se da seguinte forma: (Tabela 12, Figura 39)

Tabela 12- Balanço Hídrico Sequencial Mensal (Dados de EVP. Mensal da estação de Santiago do Cacém, série (1941-1970) e Precipitação da série do sector Norte 1959/60 – 1990/91)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
P (mm)	97,4	95,9	68,3	59,5	36,4	14,8	2,3	2,5	21,7	82,5	103,1	99,2	683,6
EVP (mm)	25,3	27,9	42,9	56,7	77,8	100,7	115,3	110,9	92,8	69,5	40,0	26,9	786,7
P-EVP (mm)	72,1	68,0	25,4	2,8	-41,4	-85,9	-113,0	-108,4	-71,1	13,0	63,1	72,3	-103,1
L (mm)					-41,4	-127,3	-240,3	-348,7	-419,8				-1177,5
S_{S0} (mm)	75,0	75,0	75,0	75,0	43,2	13,7	3,0	0,7	0,3	13,3	75,0	75,0	524,3
ΔS_{S0} (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	-31,8	-29,4	-10,7	-2,3	-0,4	13,0	61,7	0,0	0,0
EVR (mm)	25,3	27,9	42,9	56,7	68,2	44,3	13,0	4,8	22,1	69,5	40,0	26,9	441,6
DH (mm)					9,6	56,4	102,3	106,1	70,7				345,1
SH (mm)	72,1	68,0	25,4	2,8						0,0	1,4	72,3	242,0

P= Precipitação

EVP = Evapotranspiração Potencial

L = Perda potencial da água total

S_{S0}= Água armazenada na zona variavelmente saturada do solo

ΔS_{S0} = Água no solo num intervalo menos água no solo no intervalo anterior

EVR = Evapotranspiração Real

SH – Superavit hídrico

DH – Défice Hídrico

ACS – Água cedida pelo solo

ARS – Água restituída ao solo

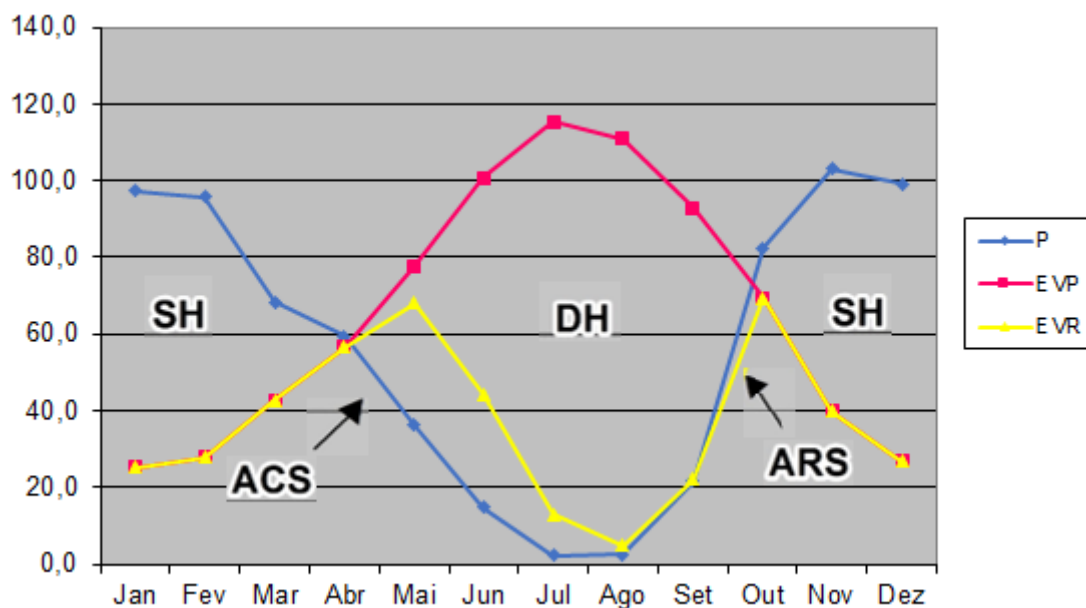


Figura 39- Balanço Hídrico Sequencial do Aquífero das areias, arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo / Estação Santiago do Cacém (Sector Norte)

Como já mencionando anteriormente, o resultado variou pouco se comparado com o sector Sul ou com o caso de estudo no total. Os valores de precipitação, indicam que o período húmido na região se concentrou nos meses de outubro a março, com o máximo de precipitação registado em novembro, com valores de 103 mm. Quanto aos períodos de déficit hídrico, ocorrem novamente entre os meses maio a setembro, possuindo um máximo de déficit de 106 mm no mês de agosto com um total anual de 345 mm. O excesso hídrico ocorre nos meses de novembro a março, com um máximo de 72,3 mm em Dezembro e um total anual de 242 mm.

A análise do balanço hídrico sequencial para o sector Norte, com base nos dados da estação de Odemira apresenta -se na tabela 13 e na figura 40.

Tabela 13- Balanço Hídrico Sequencial Mensal (Dados de EVP. Mensal da estação de Odemira, série (1941-1970) e Precipitação da série do sector Norte 1959/60 – 1990/91)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
P (mm)	97,4	95,9	68,3	59,5	36,4	14,8	2,3	2,5	21,7	82,5	103,1	99,2	683,6
EVP (mm)	29,2	30,6	46,3	55,4	80,3	96,4	105,3	101,5	89,0	66,7	41,2	28,4	770,3
P-EVP (mm)	68,2	65,3	22,0	4,1	-43,9	-81,6	-103,0	-99,0	-67,3	15,8	61,9	70,8	-86,7
L (mm)					-43,9	-125,5	-228,5	-327,5	-394,8				-1120,2
S_{S0} (mm)	75,0	75,0	75,0	75,0	41,7	14,1	3,6	1,0	0,4	16,2	75,0	75,0	526,9
ΔS_{S0} (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	-33,3	-27,7	-10,5	-2,6	-0,6	15,8	58,8	0,0	0,0
EVR (mm)	29,2	30,6	46,3	55,4	69,6	42,5	12,8	5,1	22,2	66,7	41,2	28,4	450,1
DH (mm)					10,7	53,9	92,5	96,4	66,8				320,2
SH (mm)	68,2	65,3	22,0	4,1						0,0	3,1	70,8	233,5

P= Precipitação

EVP = Evapotranspiração Potencial

L = Perda potencial da água total

S_{S0}= Água armazenada na zona variavelmente saturada do solo

ΔS_{S0} = Água no solo num intervalo menos água no solo no intervalo anterior

EVR = Evapotranspiração Real

SH – Superavit hídrico

DH – Défice Hídrico

ACS – Água cedida pelo solo

ARS – Água restituída ao solo

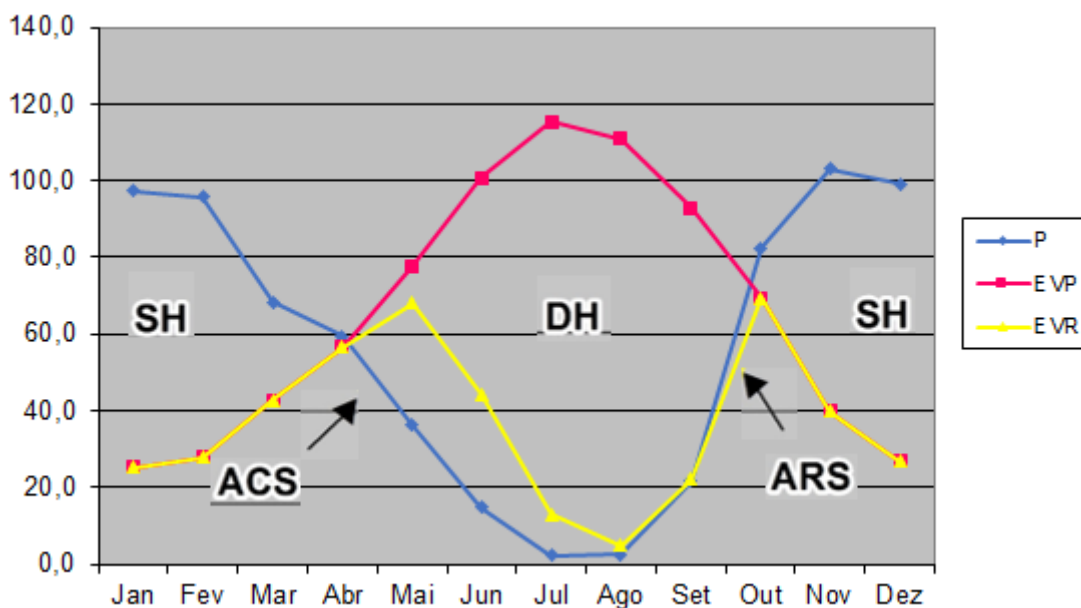


Figura 40- Balanço Hídrico Sequencial do Aquífero das areias, arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo / Estação Odemira (Sector Norte)

Os períodos de déficit hídricos, de maio a setembro, possuem um máximo de déficit de 96,4 mm no mês de agosto com um total anual de 320 mm. O excesso hídrico ocorre nos meses de novembro a março, com um máximo de 70,8 mm em Dezembro e um total anual de 233,5 mm.

3.3. Caracterização Piezométrica

A monitorização quantitativa e qualitativa tem um papel preponderante em sistemas aquíferos. Através da realização desta caracterização pretendeu-se obter informação acerca do comportamento deste sistema no que respeita à evolução temporal intra e inter anual dos níveis de água subterrânea, como definir as principais direcções de escoamento do sistema e à sua variação temporal. Desta forma foram analisados mapas e séries piezométricas de dados na área de estudo.

Para a elaboração dos mapas piezométricos recorreu-se à informação obtida de dados ao longo dos últimos 5 anos em atividades de investigação desenvolvidas no âmbito do projecto LIFE “Conservação de Charcos Temporários na Costa Sudoeste de Portugal”, LIFE12NAT/PT/997, financiado pela Comissão Europeia.

Os mapas piezométricos apresentados são esboços pouco representativos do padrão regional de escoamento pois baseiam-se em dados recolhidos em áreas restritas com o fim de caracterizar as interações entre charcos temporários mediterrânicos e as águas subterrâneas nas formações detríticas em estudo, sendo assim, espacialmente pouco distribuído.

Estes dados permitem, no entanto, identificar à escala local, as principais direções de escoamento do sistema. Abaixo na Figura 41 e na Figura 42, é possível visualizar onde estão distribuídos geograficamente os pontos de coletas piezométricas de cada sector.

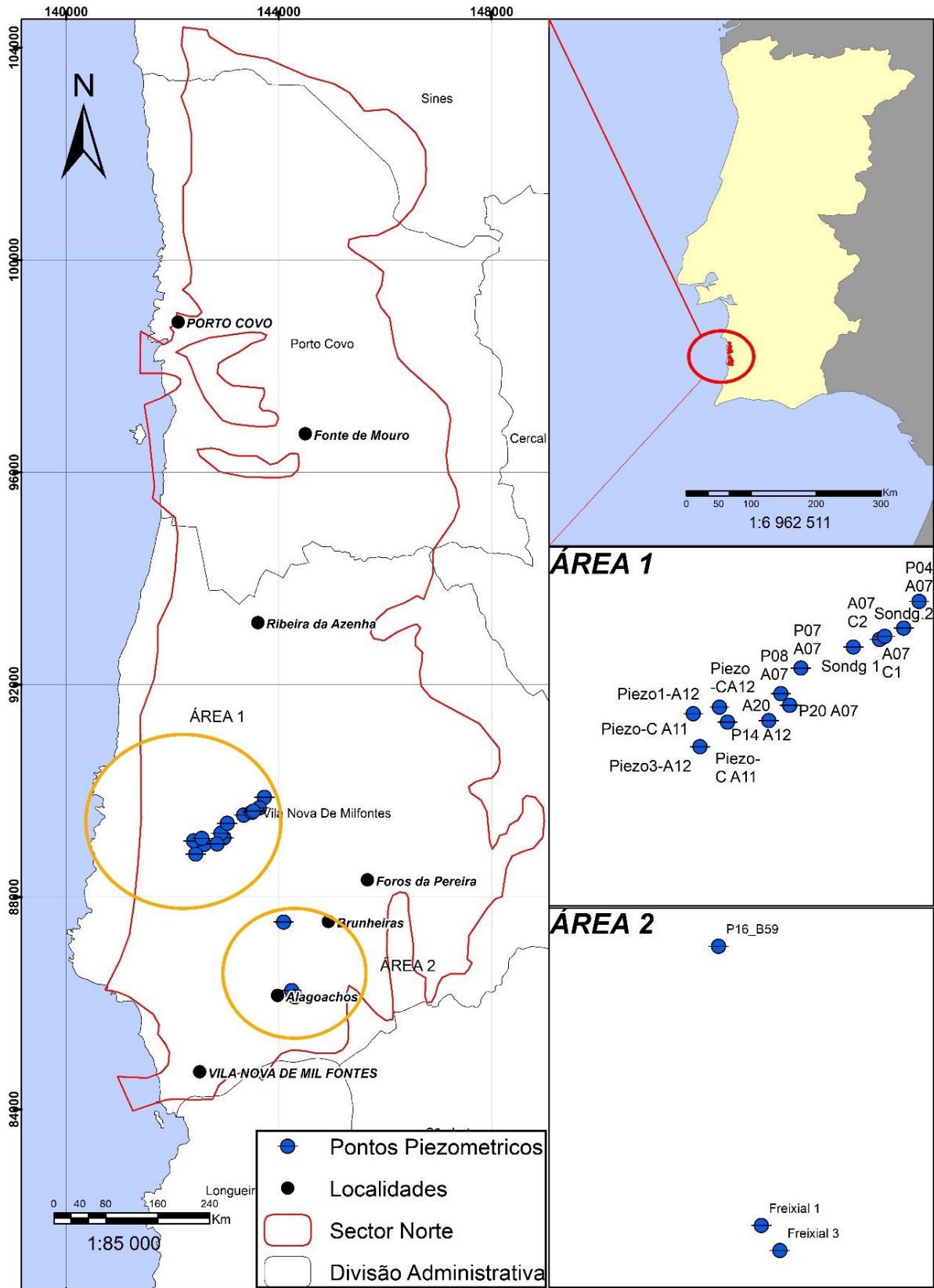


Figura 41-Localização dos Pontos de coletas Piezométricas Sector Norte

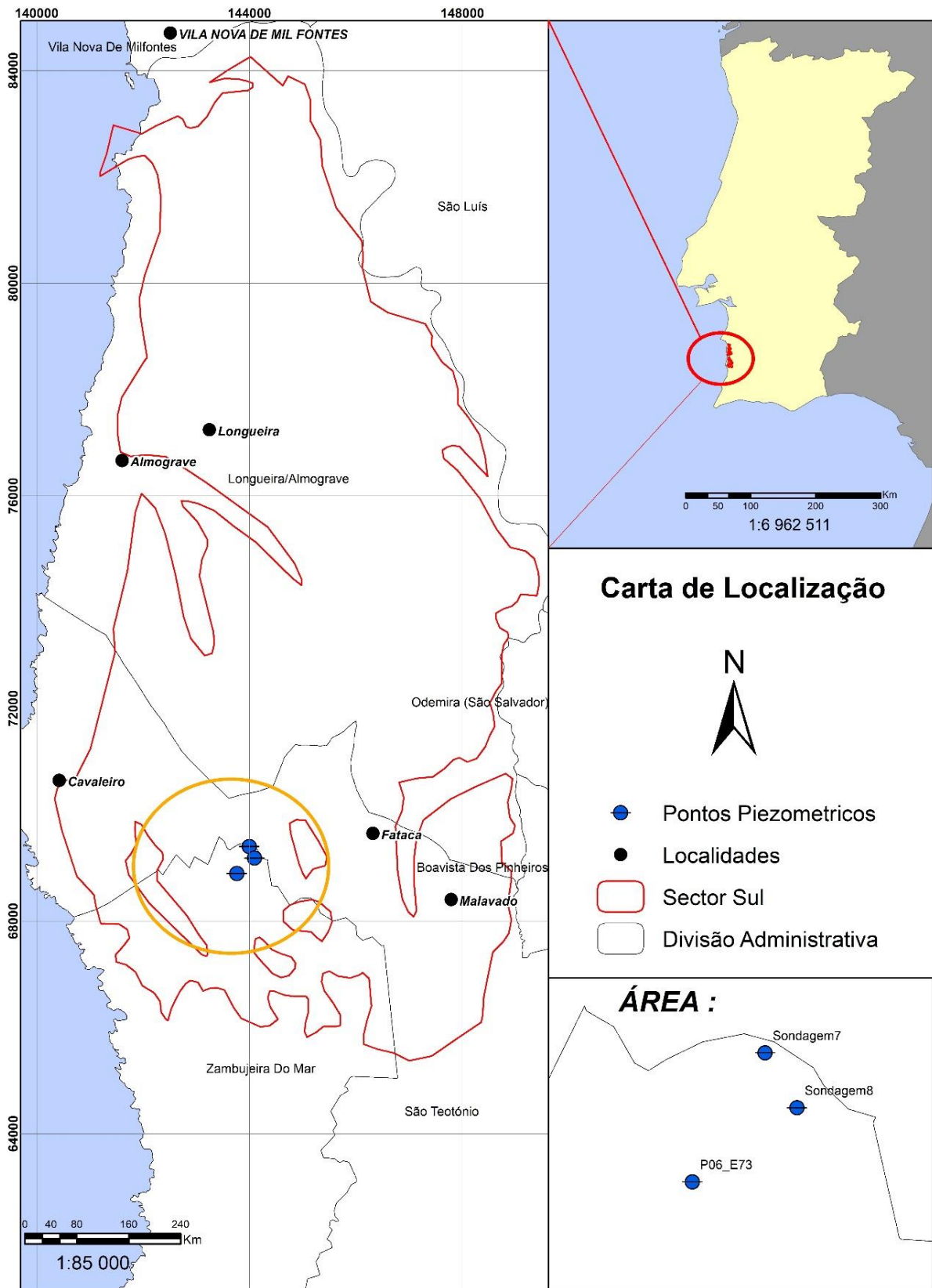


Figura 42-Localização dos Pontos de coletas Piezométricas Sector Sul

Para a elaboração do mapa e das séries piezométricas do aquífero foram considerados 19 pontos de observação de nível piezométrico, identificados na tabela 14, cuja localização se pode ver nas figuras 35 e 36.

Tabela 14-Dados Piezométricos

Número	Nome	Piezometria (Mediana)	CoordenadaX	CoordenadaY	Sector
1	P04_A07	73,89	-56159,0337	-210295,0587	Norte
2	P06_E73	70,87	-56124,0807	-231276,4336	Sul
3	P09_A07	71,35	-56922,6208	-211058,0374	Norte
4	P08_A07	70,18	-56974,2686	-210970,5794	Norte
5	P14_A12	60,91	-57287,9369	-211179,2565	Norte
6	P16_B59	63,64	-55793,6922	-212643,8316	Norte
7	Sondagem1	74,89	-56546,2281	-210629,2677	Norte
8	Sondagem2	75,72	-56251,0851	-210491,8276	Norte
9	A07 P1	75,47	-56392,1987	-210574,6222	Norte
10	A07C1	75,70	-56362,3684	-210551,7504	Norte
11	Sondagem7	73,54	-55891,6006	-230767,2023	Sul
12	Sondagem8	72,94	-55792,6843	-230985,5701	Sul
13	Freixial 1	52,42	-55645,4934	-213934,5559	Norte
14	Freixial 3	51,01	-55578,3550	-214050,6799	Norte
15	Povo A20/30	0,00	-57045,5675	-211170,5233	Norte
16	Piezo3 - A12	56,35	-57451,1723	-211360,9337	Norte
17	Piezo2 - A12	56,07	-57488,5117	-211116,1118	Norte
18	Piezo - C A12	60,49	-57334,2882	-211069,1211	Norte
19	P07_A07	73,20	-56854,6426	-210783,1625	Norte

Na figura 43 apresenta-se a distribuição dos dados piezométricos para cada ponto de observação em gráficos no formato Boxplot, de forma a entender o comportamento e nível do aquífero em estudo. Os pontos de observação foram agrupados de acordo com a sua área (Figura 41 e Figura 42) e organizados de acordo com a sua orientação longitudinal, do ponto mais a Oeste à esquerda, para o ponto mais a Este à direita do eixo X.

É possível notar que na área 1 do sector Norte (Figura 43), ocorre uma diminuição da piezometria de Este para Oeste, o que indica que o fluxo ocorre predominantemente de Este para Oeste, o que seria de esperar tendo em consideração que a principal zona de descarga do aquífero é são as nascentes nas falésias junto ao mar (direção oeste). Verifica-se um comportamento normal em que os níveis são menores junto a costa e vão em regra geral aumentando em direção a montante.

Já a área 2 do sector Norte (Figura 43) possui 3 piezómetros apenas (P16_B59, Freixal 1, Freixal 3), porém não seguem a tendência normal de comportamento dos piezómetros anteriores mesmo fazendo parte do mesmo sector (Norte). Apresentam-se com níveis de valores inferiores do que seria esperado. No entanto isto provavelmente deve-se ao facto de estarem geograficamente localizados junto a uma zona adicional de descarga do aquífero, nomeadamente, as margens do Rio Mira, o que justifica os valores abaixo da tendência normal do sector Norte. No entanto, o reduzido número de pontos de observação nesta área não permite tecer conclusões assertivas acerca do seu comportamento piezométrico.

O sector Sul possui apenas 3 piezómetros, cujos dados indicam um aumento da piezometria de oeste-leste, ou seja, da zona de descarga no mar para o interior. É possível perceber um comportamento da variação piezométrica semelhante a área 1 do sector Norte, com comportamento normal em que os níveis são menores junto a costa e segue uma tendência de aumento em direção a leste.

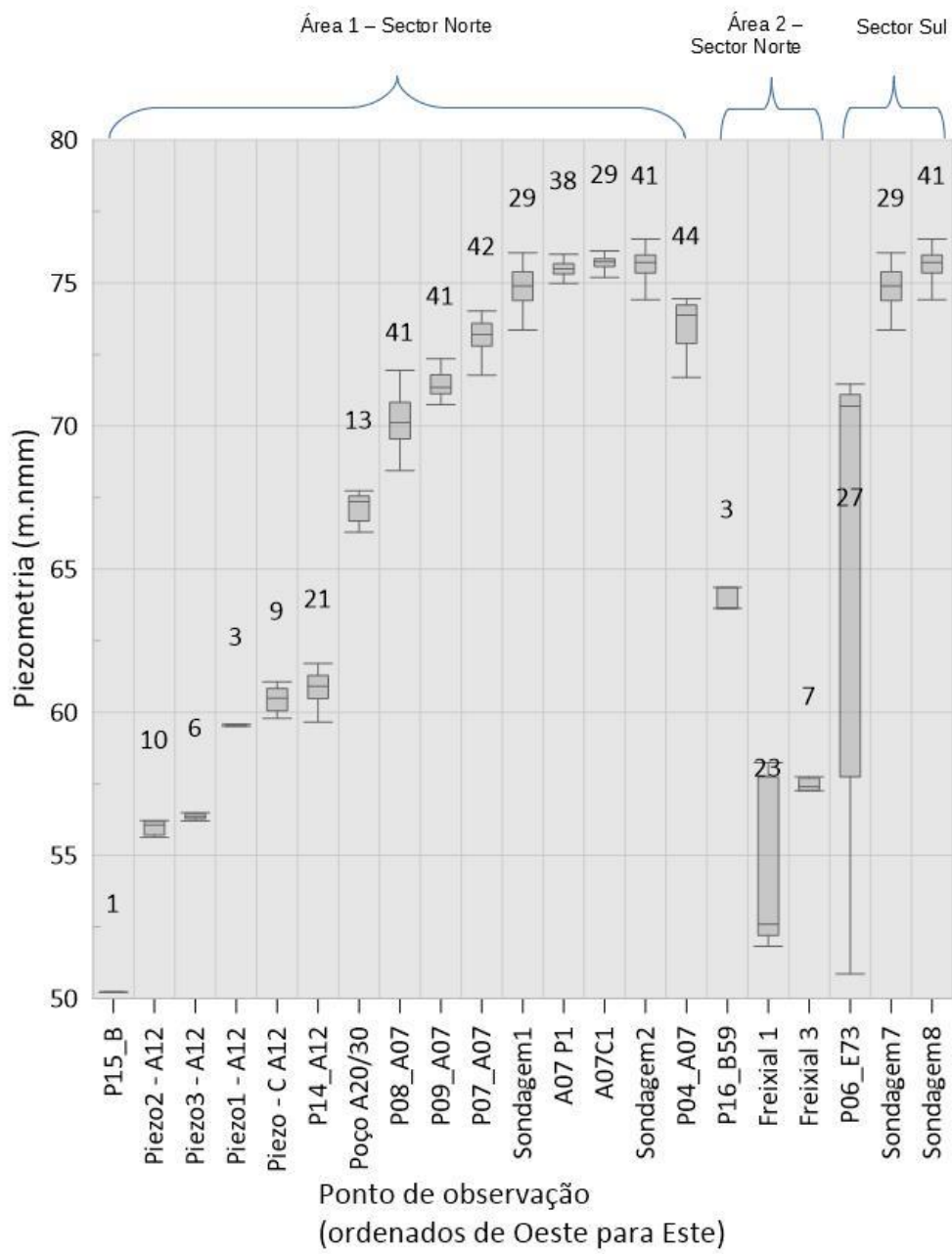


Figura 43- Boxplot- Variação e Sentido Piezométrico

A seguir na Figura 44 está representado o modelo de fluxo com os sentidos de escoamento do aquífero das areias, arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo obtido por Monteiro et al. (2019) de acordo com os valores medianos obtidos pela monitorização piezométrica realizada pelos investigadores da Universidade do Algarve entre os anos hidrológicos de 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e, 2016/2017 e 2017/18. As isolinhas representam as cotas dos níveis piezométricos (metros) em relação ao nível médio do mar.

Verificou-se a existência de níveis piezométricos superiores a norte e níveis mais baixos a sul, tendo sua descarga no Oceano Atlântico. Subentende-se que as presenças de maiores cargas hidráulicas a norte possam ser potenciadas pela maior infiltração ocorrida nas camadas detríticas, face aos maiores índices de precipitação. É igualmente notório o contraste da densidade de drenagem dos cursos de água nas formações em estudo, muito inferior, ao que se verifica na área vizinha onde as rochas paleozoicas afloram, facto que ilustra o contraste dos valores de condutividade hidráulica, porosidade, e consequentemente de infiltração nestes diferentes tipos litológicos. (Monteiro et al 2019).

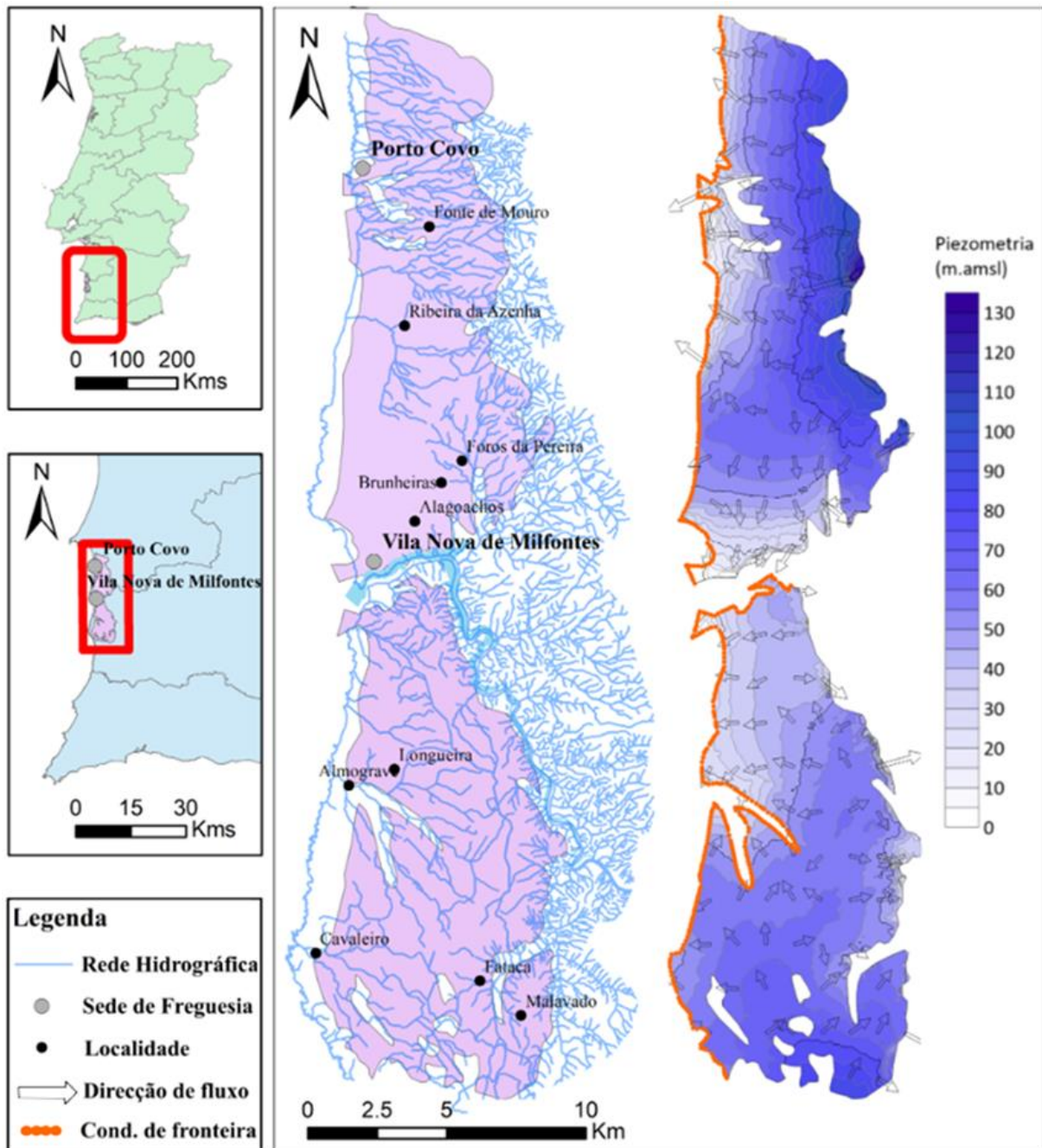


Figura 44— Sentidos de Escoamento- Fonte: Monteiro et al. (2019)

A organização do escoamento e descarga das formações em estudo descritas, sobretudo na direção Este para Oeste, representam-se esquematicamente de forma simplificada no modelo conceptual apresentado na figura 45:

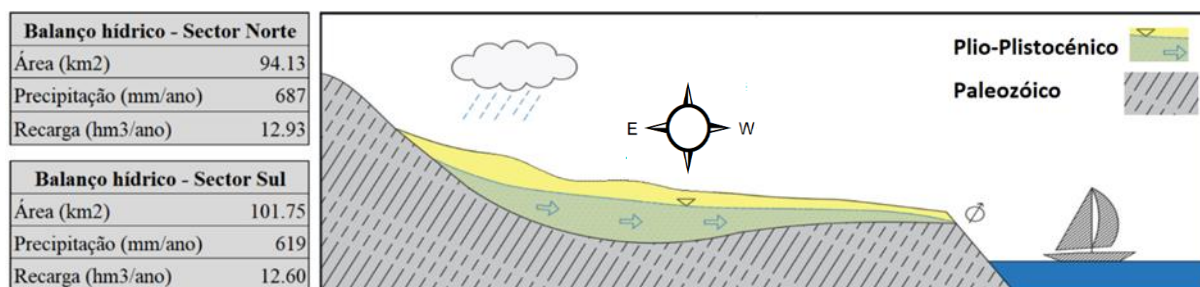


Figura 45-Modelo Conceptual- Fonte: Monteiro et al. (2019)

O modelo conceptual e valores apresentados de balanço apresentados não tomam em consideração a ocorrência de recarga das formações paleozoicas a partir de drenagem da água infiltrada nas formações plio-quaternárias. (Monteiro et al 2019)

3.4. Série Piezométrica

Neste subcapítulo estão representadas as séries piezométricas obtidas no aquífero pelo levantamento piezométrico realizado, entre os anos hidrológicos 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e, 2016/2017 e 2017/18.

A análise da leitura das séries piezométricas do aquífero permitiu constatar que os níveis piezómetros apresentaram comportamentos diferenciados entre si. No entanto, verificaram-se oscilações da piezometria, que deverão estar associados à sazonalidade da precipitação (Figura 46, Figura 47, Figura 48)

Os níveis tenderam a apresentar valores máximos nos meses húmidos e mínimos nos meses mais secos. Ou seja, conclui-se que o comportamento deste aquífero é influenciado fundamentalmente por fatores naturais externos, especificamente os índices de precipitação e provavelmente de evapotranspiração.

Para avaliação desse variação piezométrica foram analisados dados de vinte e dois piezômetros instalados na área do posteriormente foram divididos em dois sectores Norte e Sul. O padrão de oscilação do nível freático é relativamente uniforme em toda a área e independente de sectores. Em alguns pontos restritos os contrastes entre os níveis máximos e mínimos são maiores, o que pode vir a está condicionado pela estruturação geológica, pelo tipo do solo, ou possíveis captações.

No período de baixa precipitação os níveis freáticos na área em estudo podem variar entre 1 m e 20 m. Durante a época chuvosa os níveis ascendem oscilando entre 1 m e 14 m. Para a área analisada, o período de elevadas precipitações inicia-se em novembro, no entanto apenas em meados de dezembro, se verificou o início da recuperação dos níveis freáticos. Em alguns pontos esse efeito pode acontecer com algum desfasamento, com retardo de até 2 meses.

A área em estudo parece responder de maneira eficaz aos eventos de precipitação, onde se verifica pouco retardo de recuperação do nível freático de 1 a 2 meses após o início do período chuvoso, tempo decorrido para saturação dos solos e elevação dos níveis freáticos. Um fator característico desse ambiente é a rápida ascensão das superfícies piezométricas no período de máximo superavit hídrico (segunda quinzena de Dezembro ao início de Janeiro).

As chuvas cessam em abril, a partir de então os níveis tendem a rebaixar, no entanto a maioria atinge profundidades pouco discrepantes ao nível no período húmido, evidenciando pouca perda hídrica e comportamento regular ao longo do ano. As figuras a seguir apresentam o padrão das variações dos níveis no aquífero, e em seus respectivos sectores Norte e Sul. O sector Norte em especial, apresenta um leve declínio nos níveis, durante o período de 2017, porém com uma rápida recuperação em 2018, tal processo dar-se pelo facto de no ano hidrológico de 2017, haver uma menor precipitação acumulada, quando comparado aos demais, havendo uma recuperação de nível em 2018, que já possui valores de precipitação acumuladas maiores. A grande similaridade entre os vários pontos de observação reflete as características de comportamento similar evidenciando que são de facto uma mesma massa de água.

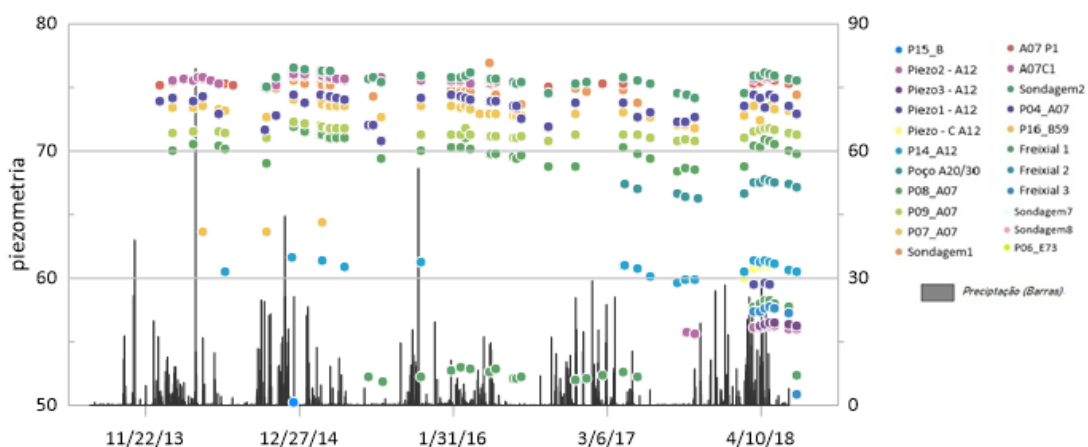


Figura 46- Variação Piezométrica (dados obtidos no projecto LIFE Charcos) e da Precipitação (Estação Meteorológica Automática de Odemira)

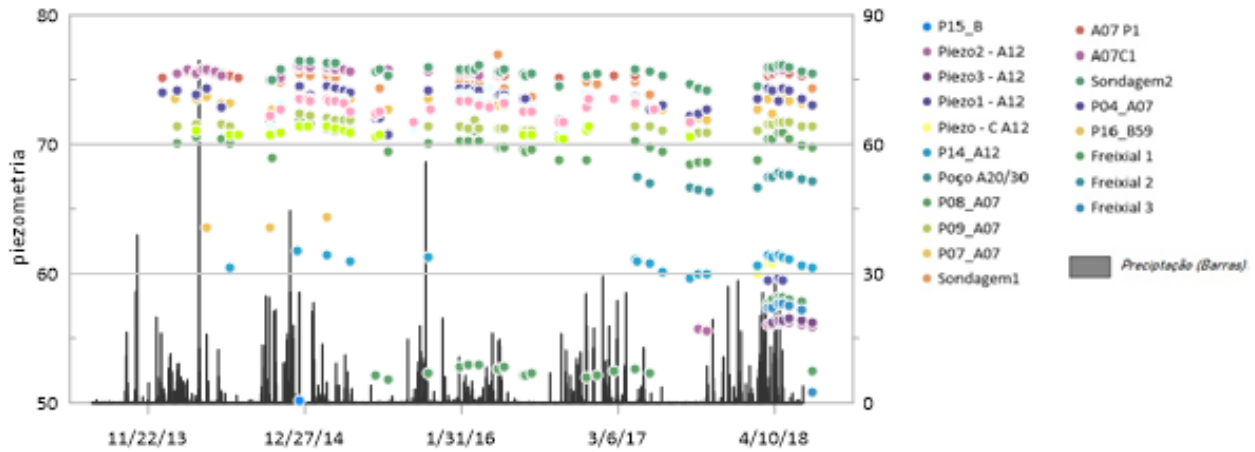


Figura 47- Variação Piezométrica Sector Norte (dados obtidos no projecto LIFE Charcos) e da Precipitação (Estação Meteorológica Automática de Odemira)

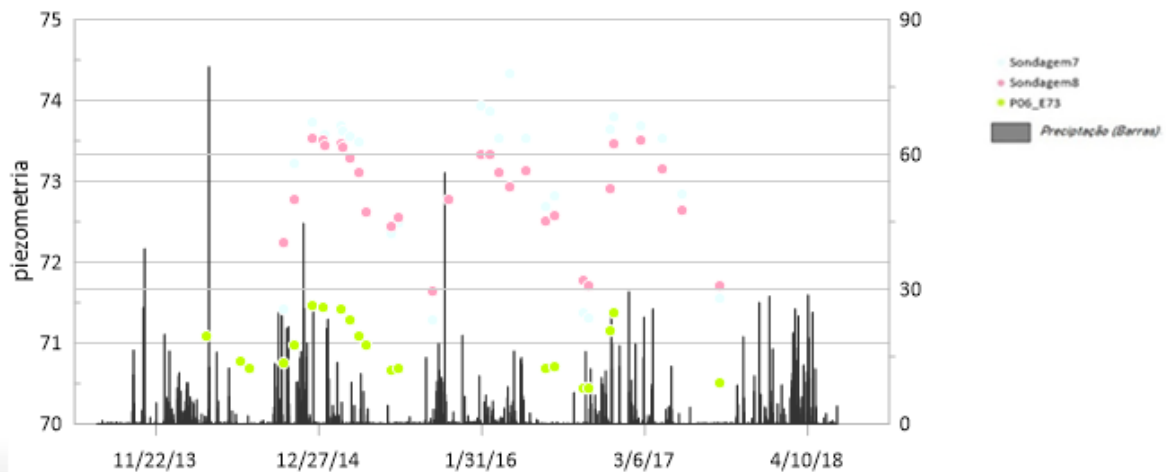


Figura 48 - Variação Piezométrica Sector Sul (dados obtidos no projecto LIFE Charcos) e da Precipitação (Estação Meteorológica Automática de Odemira)

4. Estimativa de Rega por meio de detecção remota

No presente capítulo descrevem-se os materiais e métodos utilizados na tarefa de determinação do volume de água usado na rega das áreas agrícolas da região do aquífero das areias, arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo. Para tal, assume-se que no sector Norte deste sistema, a rega de áreas agrícolas é abastecida com água subterrânea proveniente do aquífero em estudo, enquanto que no sector Sul deste sistema a rega agrícola é de origem superficial, uma vez que este sector é abrangido pelo perímetro de rega do Rio Mira.

A quantificação do volume de água das áreas de regas possibilita avaliar a eficiência do seu uso e constitui um elemento imprescindível à gestão sustentável dos recursos hídricos. A utilização de técnicas de detecção remota é uma opção de baixo custo para determinação do volume de água utilizado em culturas e com grande cobertura que tem sido usada na obtenção da evapotranspiração real (ET_r) das culturas (Kustas e Norman, 1996; Bastiaanssen et al., 1998; Sobrino et al., 2005). Portanto, no presente trabalho recorre-se a técnicas de detecção remota para o cálculo do volume de água mensal utilizado na rega agrícola para o ano de 2018 e, adicionalmente, para dois períodos por ano da série temporal de 2000 a 2018, uma referente ao período seco e uma referente ao período húmido, a partir da utilização de imagens dos satélites Landsat 5, Landsat 8 e MODIS. Em particular, este cálculo foi feito a partir da determinação dos valores de evapotranspiração, adquiridos através das imagens de satélite com a aplicação do algoritmo “surface energy balance algorithm for land” (SEBAL) (Bastiaanssen et al., 1998), Precipitação, e coeficiente de eficiência de rega.

O volume de água aplicado na rega pode ser obtido através da conjugação do volume de água resultante da evapotranspiração das culturas com a precipitação e com o adicional da água perdida pelos sistemas de irrigação utilizados. O algoritmo SEBAL, que será aplicado, tem-se apresentado bastante preciso nas suas estimativas de evapotranspiração (Bastiaanssen et al., 1998; Folhes et al., 2009; Santos et al., 2010). Partindo desta concepção o processo foi dividido em 7 Etapas:

- A- Separação das Parcelas Agrícolas e Não Agrícolas, através de uma análise multiespectral simples e visual, com uma sobreposição de camadas, entre as Imagens de satélite Landsat 5 e Landsat 8, e a camada vetorial de uso e ocupação do solo do Corine landcover.
- B- Aplicação da metodologia para obtenção das estimativas de evapotranspiração nas parcelas agrícolas identificadas em A, obtida através do algoritmo "surface energy balance algorithm for land" (Sebal), com imagens de satélite do Landsat 5 e Landsat 8.
- C- Aplicação e interpretação do parâmetro Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) às áreas agrícolas identificadas em B, indicando assim as áreas agrícolas regadas e não regadas.
- D- Processamento das imagens MODIS, para obtenção dos valores de precipitação diária correspondente à data da imagem de satélite, para o período condizente com a análise.
- E- Estabelecimento do coeficiente relativo à eficiência da rega, que consiste num parâmetro utilizado para a determinação das necessidades hídricas de uma área agrícola. No presente trabalho estabeleceu-se o valor para a zona de estudo tendo como base bibliográfica o MECAR- Methodology to Estimate the Irrigation Water Consumption in Portugal. (Leão e Morais 2011)
- F- Determinação do volume de água usado na rega, que se baseia nos dados de precipitação efetiva, (D), evapotranspiração (B), área do cultivo (C) e coeficiente relativo à eficiência da irrigação (E).

4.1. Separação das Parcelas Agrícolas e Não Agrícolas.

Para início da determinação das parcelas consideradas Agrícolas e Não Agrícolas, foi usado um Sistema de Informação Geográfica (SIG), no qual utilizaram-se imagens Landsat 5 e Landsat 8, e da camada vetorial de uso e ocupação do solo, do Corine landcover, como referência, para confirmação das áreas agrícolas, numa análise de sobreposição de camadas (*overlay*).

Esta metodologia é aplicada na seleção ideal de locais pré-determinados, neste caso as áreas agrícolas, sendo uma técnica para aplicar uma escala comum de valores a entradas diversas e diferentes para criar uma análise integrada. Os modelos de adequação identificam os locais preferenciais para um fenómeno específico, neste caso para analisar o padrão visual existente nas áreas indicadas como agrícolas, e não agrícolas, e permitir a sua separação.

Para realizar as análises propostas com as imagens de satélites, foi escolhida a composição colorida RGB (Red, Green, Blue). Nesta composição, a vegetação, que tem alta refletividade na faixa espectral do infravermelho próximo (banda 4 do Landsat 5 e banda 5 Landsat 8), assume tonalidades de cor magenta, o que possibilita uma maior diferenciação do alvo de interesse, pelo olho humano, para uma análise do padrão espectro-visual de culturas da área de estudo, de 2000 a 2018.

Ao observar o *overlay* das imagens de satélite, juntamente com composição falsa cor RGB (Bandas 5,4, e 3 para o Landsat 5 e Bandas 6,5 e 4 para o Landsat8), é possível estabelecer um padrão espectro-visual. (Figura 49)

As tonalidades de magenta que se sobressaem (vermelho, laranja, castanho), correspondem a agricultura, além do verde, que é o padrão normal para culturas desenvolvidas. O vermelho pode representar os solos expostos por estarem preparados para o plantio; o laranja e o castanho podem representar os restos de culturas colhidas, e deixadas à superfície do solo e as culturas recém-plantadas.

Em contrapartida a vegetação comum, sempre responde com várias tonalidades de verde, sem ou com poucos intervalos com as cores magentas.

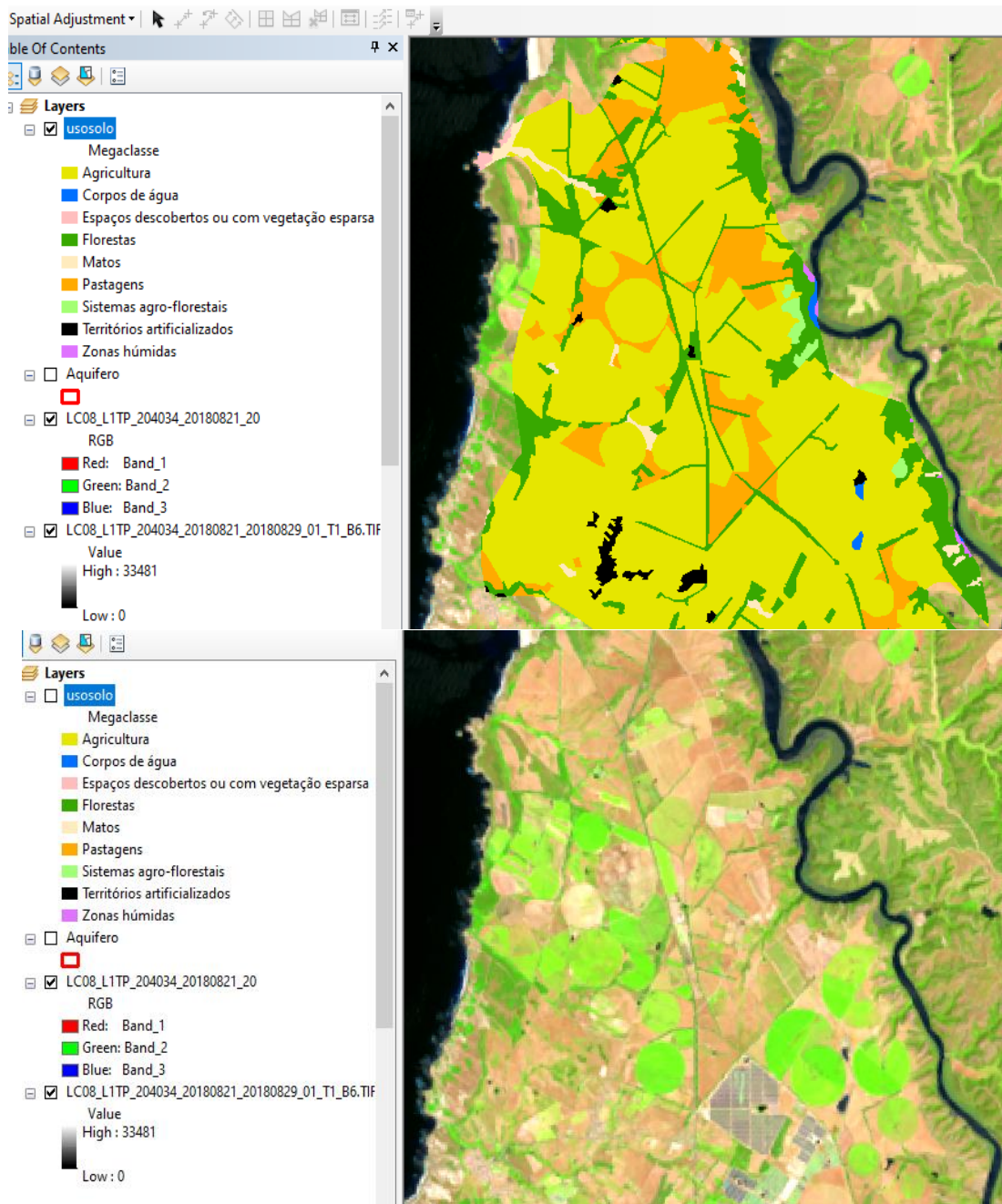


Figura 49- Sobreposição do Padrão espectro-visual / Uso do Solo

Além das cores, a agricultura é apresentada em recortes de talhões, com polígonos quase perfeitos, uniformizados, seguindo um padrão de forma, diferentemente da vegetação comum.

A técnica da sobreposição de camadas, entre as imagens Landsat 5 e Landsat 8, e a camada vetorial de uso e ocupação do solo, permitiu validar a precisão do arquivo Shapefile pertencente à carta de ocupação do solo do Corine Landcover, uma vez que, analisando as características descritas anteriormente, de maneira visual e espectral, confirmou-se que as áreas indicadas geograficamente como agricultura, pelo arquivo do Corine Landcover, apresentavam padrões de características compatíveis com áreas agrícolas.

Posteriormente à identificação das áreas agrícolas, foi aplicada a técnica SIG de clip para extrair as feições que se sobrepõem entre a camada vetorial de uso e ocupação do solo com as áreas regadas identificadas através das imagens de satélite, com uma seleção por atributos, que correspondam exatamente apenas às áreas diagnosticadas como áreas agrícolas, para que as imagens restringissem apenas as áreas agrícolas. O resultado desta aplicação consiste num polígono que preserva os atributos do layer de entrada, como é possível visualizar na figura 50.

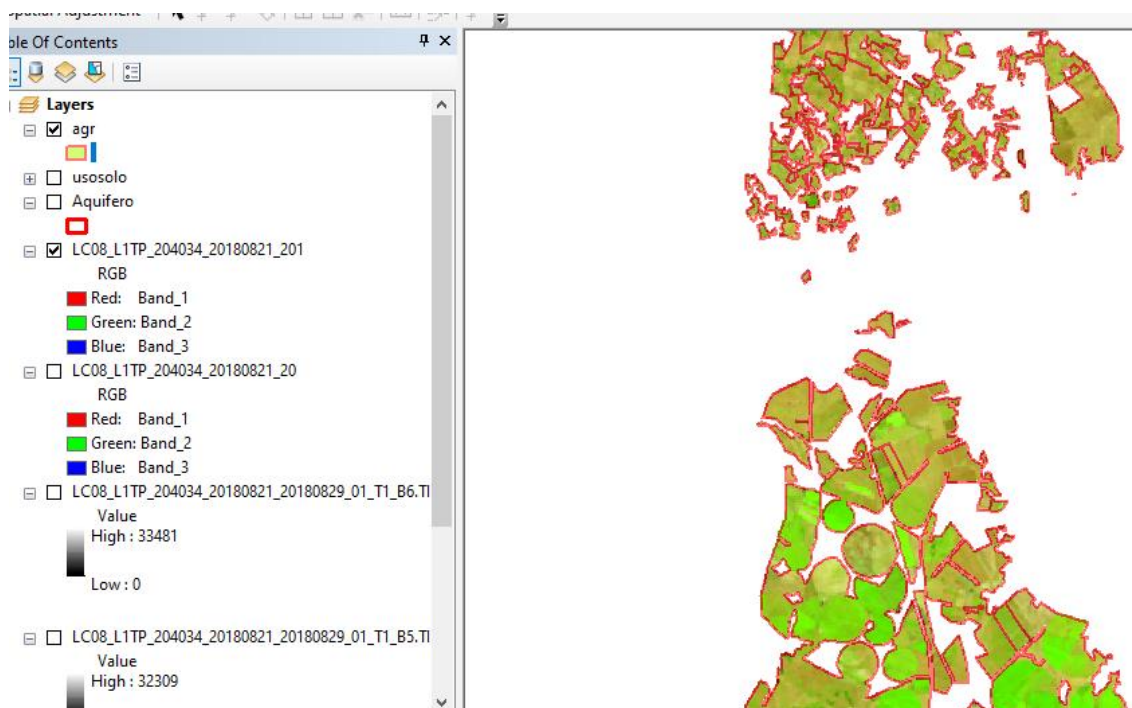


Figura 50 – Clip Agricultura/ Imagem Landsat8

4.2. Estimativa de Evapotranspiração

A estimativa da Evapotranspiração por detecção remota é uma alternativa de baixo custo, para determinação tanto da evapotranspiração quanto do volume de água empregue numa cultura. Estes métodos têm sido usados frequentemente na obtenção de dados de evapotranspiração real (ET_r) das culturas (Kustas e Norman, 1996; Bastiaanssen et al., 1998; Sobrino et al., 2005), uma vez que permite cobrir extensas áreas, podendo ser obtido a ET_r em uma variedade de escalas espaciais e temporais.

É possível a obtenção de parâmetros (albedo de superfície, Índices de vegetação, temperatura da superfície terrestre, entre outros) derivados de faixas espectrais de vários sistemas de satélites para estimar a ET_r.

O algoritmo Surface Energy Balance Algorithm for Land – SEBAL, utiliza dados obtidos por meio de imagens do dossel das plantas para estimar a evapotranspiração real de uma área e possui algumas vantagens sobre outros métodos, como a pouca utilização de dados terrestres e a possibilidade de geração de informações para cada pixel da imagem (Bastiaansen, 2010).

O SEBAL foi projetado para simular fluxos de superfície, incorporando variáveis derivadas de detecção remota e um mínimo de dados de campo. O SEBAL obtém a ET_r através de uma série de cálculos que geram: saldo de radiação (R_n), fluxo de calor no solo (G) e fluxo de calor sensível (H). O fluxo de calor latente (LE), que é a energia utilizada para converter a água líquida em vapor (evapotranspiração) é obtida como residual da equação do balanço de energia. Geralmente essa estimativa se baseia na teoria do balanço de energia, onde a ET_r é obtida como resíduo da Equação:

$$LE = R_n - G - H$$

(Eq.3)

O procedimento passa pelo cálculo do fluxo de calor latente (LE) que é obtido como produto da subtração entre o saldo de radiação (R_n), fluxo de calor no solo (G) e o fluxo de calor sensível (H).

O algoritmo SEBAL é constituído, quase que totalmente, por parametrizações físicas bem estabelecidas e pouco complexas. Algumas etapas de processamento envolvem equações empíricas - albedo da superfície, fluxo de calor no solo,

emissividade etc. Essas parametrizações foram estabelecidas a partir de dados para diferentes partes do mundo (BASTIAANSSEN et al., 1998a; BASTIAANSSEN, 2000).

Bastiaanssen et al. (1998b) apresentam as primeiras validações do SEBAL e mostram uma precisão de 85% na estimativa da ETr diária. Em Bastiaanssen et al. (2005) a precisão da estimativa da ETr por SEBAL foi de 67%-95% para ETr instantâneo e de 70%-98% para ETr diária. A precisão aumentou para 95% na estimativa da ETr integrada sazonal ou anual (Bastiaanssen et al., 2010).

Para estes resultados é preciso seguir determinados passos:

- Calibração Radiométrica
- Reflectância Monocromática
- Coeficiente de reflexão
- Índice de Vegetações
- Emissividade da Superfície
- Temperatura da Superfície
- Fluxo de Calor
- Saldo da Radiação
- Fluxo de Calor Sensível
- Evapotranspiração

A partir destes obtém-se o saldo da radiação, que irá permitir calcular a evapotranspiração real diária, sendo possível assim estimar a evapotranspiração real sazonal, que consiste numa variável importante para a estimativa do volume de água empregado na rega (Scherer-Warren 2013; Warren et al 2013).

O primeiro passo para estimar a ETr consiste na obtenção do fluxo de calor latente (LE). Para isso, é necessário primeiramente ter as estimativas do saldo da radiação, o fluxo de calor no solo, o fluxo de calor sensível dos sensores Landsat 5 (TM), Landsat 8 (OLI/TIRS). (Figura 51)

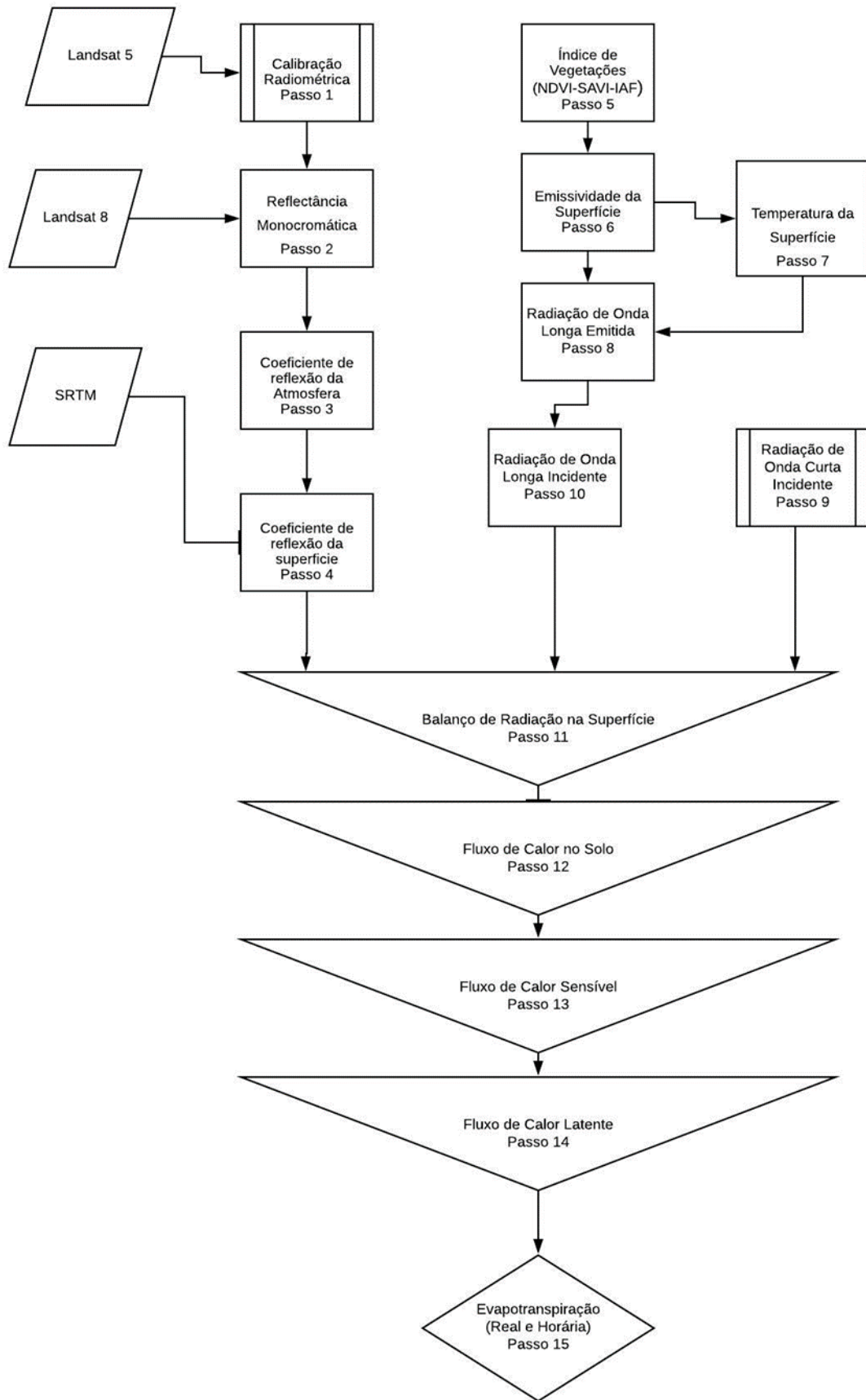


Figura 51- Fluxograma SEBAL

Uma das dificuldades atribuída ao algoritmo SEBAL é quanto à determinação de valores de fluxo de calor sensível, (Passo 13) que necessita da escolha de pixels “frios” e “quentes”. A escolha dos pixels âncoras para determinar a variação de temperatura (dT) em todos os pixels da área de estudo é o que pode apresentar maiores incertezas. Devido a essa escolha ser feita de forma manual, é uma etapa que necessita da sensibilidade do usuário, sendo determinante no resultado do fluxo de calor sensível e conseqüentemente no cômputo da evapotranspiração.

Esses pixels âncora ilustram as condições extremas de temperatura e umidade da área estudada e são chamados de pixel frio e quente. De acordo com Bastiaanssen (1998), o pixel quente deve ser escolhido numa região desprovida de cobertura vegetal e com elevada temperatura de superfície, onde se admite a situação extrema da totalidade do saldo de radiação estar sendo dedicada ao aquecimento da superfície e do ar. Quanto à escolha do pixel frio, há duas propostas disponíveis: Bastiaanssen (1998) recomenda a seleção de um corpo d’água e Allen et al. (2002) sugere a adoção de uma região sobre uma parcela agrícola irrigada e bem desenvolvida.

Na prática, usando a seleção manual, é difícil identificar estes pixels. É necessária uma supervisão humana e pode exigir um tempo considerável, principalmente, se for um usuário inexperiente.

A interpretação visual da imagem por diferentes analistas de imagens pode variar substancialmente e a falta de conhecimento local geralmente leva a resultados insatisfatórios do modelo, por isso aqui adotou-se o desenvolvimento de métodos que identificam de maneira semi-automática por característica padrão do pixels âncora (pixel frio e quente), surgindo como oportunidade de tornar o algoritmo mais operacional, afim de minimizar a subjetividade na escolha manual do pixel, estendendo assim a aplicabilidade do modelo SEBAL em escala de campo para escalas regionais e até globais.

A automatização surge para que usuários menos experientes possam fazer uso da aplicação desses algoritmos, desde que seja um procedimento consistente, reproduzível e confiável.

Os autores desenvolveram uma metodologia para detectar pixels quentes e frios através da temperatura e proximidade, baseados em procedimentos estatísticos, onde são selecionados subgrupos de pixels em uma imagem (áreas de interesse), para assim identificar os pixels finais de calibração.

Todo o processo descrito anteriormente no Fluxograma da figura 51, e dos Pixéis “frios e quentes”, foi construído em três scripts e rotinas e processado em linguagem Python, para os dois satélites Landsat 5, Landsat 8, com base em vários algoritmos disponíveis para a previsão de evapotranspiração como Wolff, 2016, Cavalcante et al., 2016, Hessels et al., 2017. Porém, o objetivo foi implementar o modelo SEBAL para imagens Landsat 5 e 8, com determinação de temperatura de pixel, semiautomática, uma vez que os anteriores só replicam para o Landsat8, e com escolha manual. Então usando a linguagem Python na versão 3 (Rossum, 1995) e GRASS versão 7.4 (Neteler et al., 2012), criou-se os scripts e rotinas para agilizar e facilitar o processamento dos dados e das imagens que tem seu início no Passo 3, do fluxograma anterior, uma vez que os dois primeiros passos são gerados de forma semi-automática no SIG.

O processamento de grande quantidade de dados de forma manual (um a um) é oneroso e demorado, entretanto, diversos softwares de SIG permitem a criação de scripts para automatizar estes processos. A utilização de scripts em linguagem Python. É o caso do GRASS, que é uma extensão do QGIS, no qual foram processados os scripts. A utilização de scripts em Python, em conjunto com SIG, auxiliou na ergonomia dos processos, otimizando o tempo de análise, conseqüentemente, favorecendo a uma maior acurácia no processo. Os Scripts estão disponíveis nos Anexos 3 e 4.

Verificou-se que as alterações realizadas no algoritmo SEBAL facilitaram a aplicação deste modelo. Os valores de evapotranspiração calculados para o período húmido são os mais elevados, como se esperava, já que com uma maior disponibilidade de água se supõe que haja um maior volume disponível de água para evapotranspiração. Os resultados encontrados são valores aproximados aos dados mensais registados nas estações meteorológicas de Odemira e Santiago do Cacém, que apresentaram média geral de 64 mm e 65 mm respetivamente, enquanto o SEBAL apresentou valores aproximados de 63 mm. Os valores de evapotranspiração estimados a partir do método SEBAL, exemplo na figura 52, para os meses de julho e agosto, os meses mais secos, foram de 4 mm e 3 mm, respetivamente, para áreas secas de “pixéis quentes” e valores entre 24 e 23 mm para áreas húmidas “pixéis frio”, nos mesmos meses que representam provavelmente culturas irrigadas da região, em vista do fato que durante a seca, os pontos que atingem a maior evapotranspiração são aqueles que recebem algum estímulo hídrico, neste caso a rega.

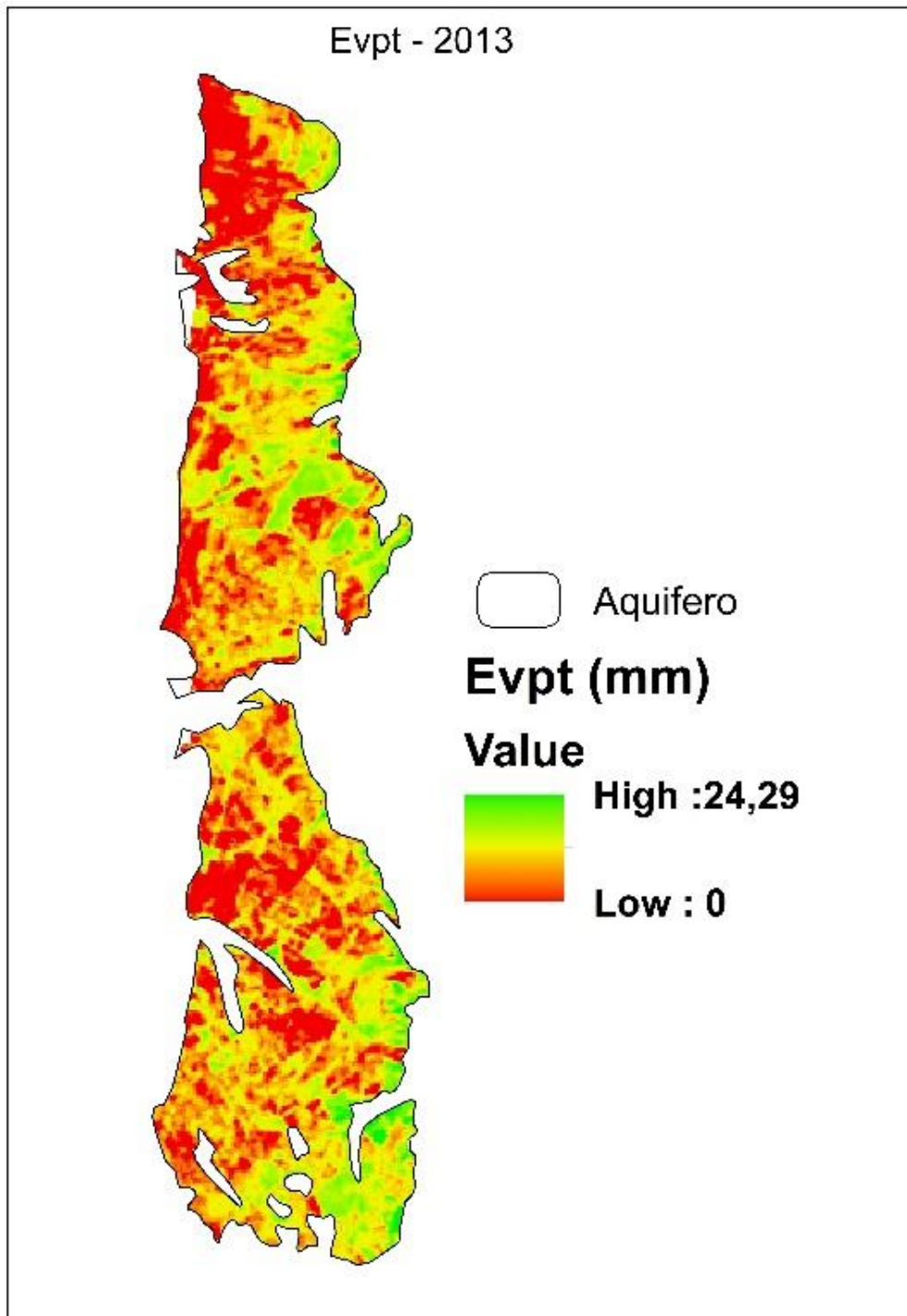


Figura 52- Evapotranspiração Julho 2013(SEBAL)

Analisando os resultados, que estão apresentados de forma completa no Anexo 2, o algoritmo SEBAL simplifica a aplicação do modelo para estimar a evapotranspiração e os resultados obtidos indicam que não houve alteração significativa nos valores estimados na área em estudo quando comparado com os valores das estações. As demais imagens de evapotranspiração encontram-se nos anexos 6, 7 e 8.

4.3. Identificação das áreas agrícolas regadas e não regadas

A identificação de parcelas agrícolas regadas e não regadas, é obtida através de diferentes combinações de bandas, onde é possível detectar diferenças nas características do solo e da vegetação.

Sabe-se que os pixels de uma imagem que contêm vegetação densa, tendem a refletir mais energia na faixa espectral do verde e do infravermelho próximo, enquanto absorvem no vermelho, azul e infravermelho médio. Segundo Leslie et al. (2017) altos níveis de clorofila na vegetação tendem a refletir ainda mais no intervalo do infravermelho próximo, ao passo que declínios subtis nessa reflectância podem ajudar a detectar o stress da planta, mesmo se o verde visível da folha parecer inalterado.

De forma a individualizar as parcelas regadas da imagem de satélite, esta pesquisa propõe, usar as áreas já delimitadas e classificadas nos itens 5.1 e 5.2 , um método para a realização da classificação da imagem, o qual é baseado na diferença entre a Reflectância do infravermelho próximo, RIVP (banda 4 do Landsat 5 -TM e 5 do Landsat 8- OLI) e do infravermelho médio, RIVM (banda 5 do TM e 6 do OLI), onde o resultado obtido é submetido a uma divisão entre o resultado da soma entre as mesmas bandas, tal processo é conhecido como normalized difference vegetation index (NDVI), que é uma medida do estado da saúde das plantas com base em como a planta reflete a luz em determinadas frequências (algumas ondas são absorvidas e outras são refletidas).

A clorofila (um indicador de saúde da planta) absorve fortemente a luz visível, e a estrutura celular das folhas reflete fortemente a luz infravermelha. Quando a planta fica desidratada, doente, afetada por doenças, etc., a camada esponjosa se deteriora e a planta absorve mais luz infravermelha próxima, em vez de refleti-la. Assim, observar como o Infravermelho Próximo muda em comparação com a luz vermelha fornece uma

indicação precisa da presença de clorofila, que se correlaciona com a saúde das plantas.

Como supracitado, o NDVI é a razão entre as diferenças de refletividade e a faixa do infravermelho próximo (ρ_4) e a faixa vermelha (ρ_3) em relação à sua soma:

$$\text{NDVI} = (\rho_4 - \rho_3) / (\rho_4 + \rho_3)$$

(Eq.4)

Onde; ρ_4 e ρ_3 são refletividades para as bandas 4 e 3 para o Landsat 5, e 5 e 4 para o Landsat 8. O NDVI é um indicador sensível da quantidade e condição da vegetação verde. Os valores para NDVI variam entre -1 e +1. As superfícies verdes têm um NDVI entre 0 e 1 e a água e as nuvens são geralmente menores que zero. (Figura 53)

Devido a essa assinatura espectral da vegetação, a combinação RGB das respectivas bandas 4, 5 e 1 do TM e 5, 6 e 2 do OLI é comumente usada para a visualização das parcelas irrigadas em verde incandescente (Leslie et al., 2017).

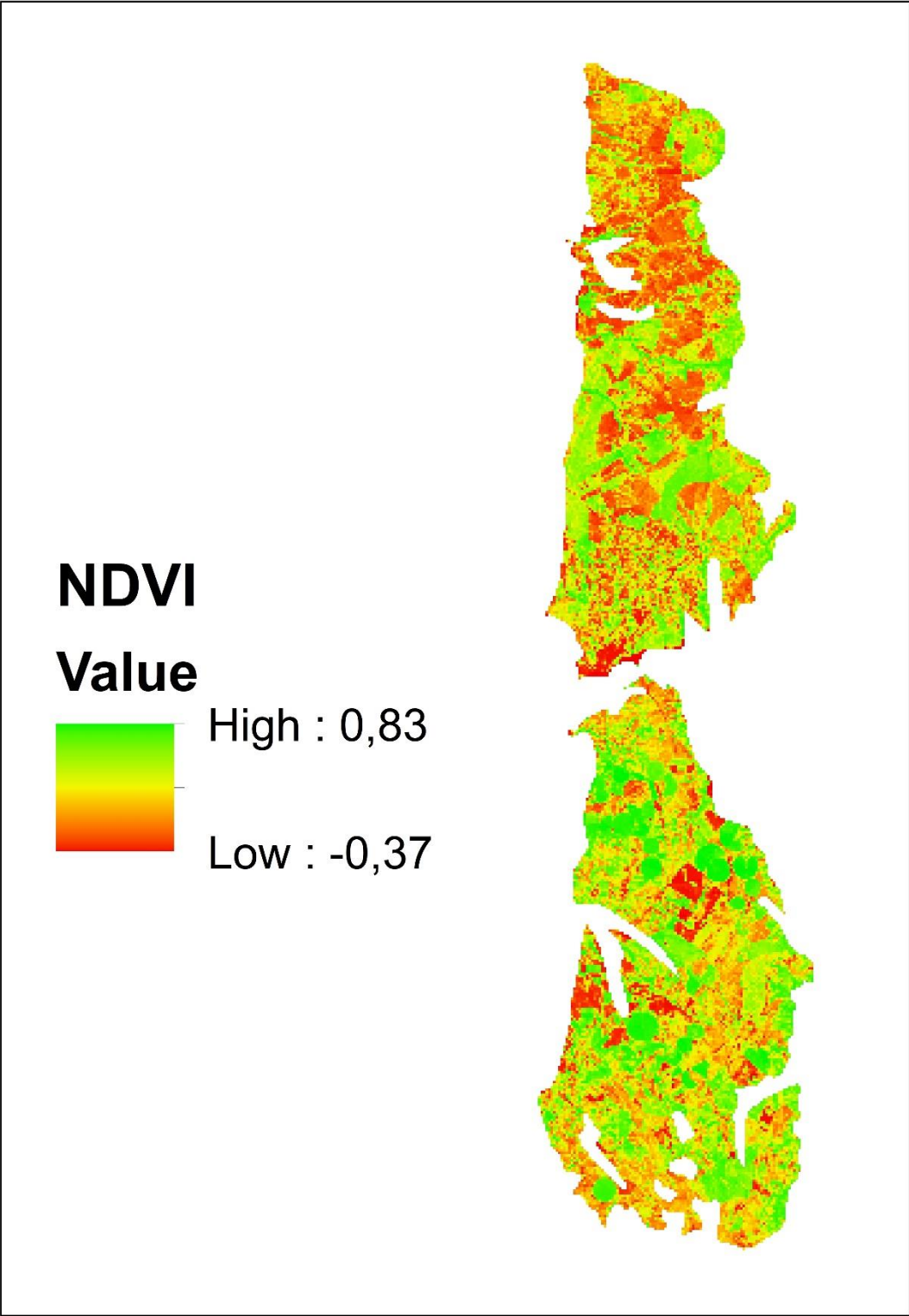


Figura 53 - NDVI- agosto 2018.

Admitindo que se o NDVI, for igual ou superior a 0,4, então trata-se de uma parcela regada (Allen et al. 2002). Dessa forma, criando um modelo de reclassificação da imagem, a seguinte condição foi utilizada na calculadora raster:

Se $NDVI \geq 0,4$, seja 1

Se $NDVI < 0,4$, seja 2

Se $NDVI < 0$ seja -1

Ao final da reclassificação, os pixels que contém o valor -1 são corpos d'água, como ilustra o NDVI com base na assinatura espectral dos mesmos, os pixels quem contém o valor 1 são as áreas regadas e os demais tipos de cobertura do solo expressam agora o valor 2.

Após a classificação da imagem, foi criado um arquivo em formato vetorial (shapefile), a partir do qual foi possível realizar recortes das áreas irrigadas das imagens de satélite.

A Figura 54 mostra como o método de individualização das parcelas irrigadas proposto, comportou-se de forma satisfatória neste processo de distinção. Silva et al. (2012) propuseram uma técnica para distinção das áreas irrigadas, com base nos pixels que apresentassem NDVI superior a 0,4. Ilustrando-se que esse pressuposto é satisfatório para o exemplo em questão, apresentado, na Figura 54

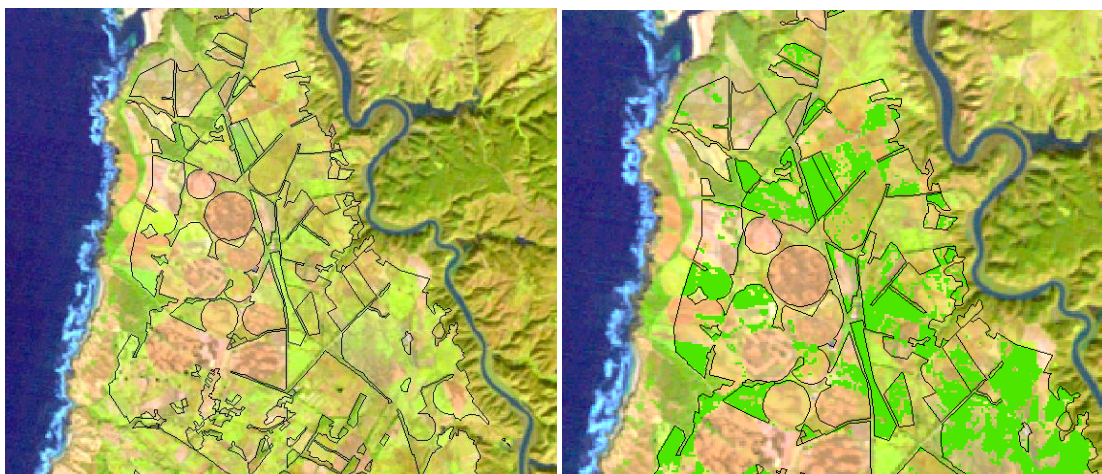


Figura 54 - Distinção das parcelas irrigadas.

Logo, é possível notar a capacidade de diferenciação notável que a técnica apresenta. Neste recorte da superfície, as parcelas irrigadas foram diferenciadas das áreas com solo exposto com exatidão, estando o método praticamente restrito à resolução do sensor. A técnica que toma por base o $NDVI > 0,4$ é válida apenas para um recorte que compreenda perímetros agrícolas e áreas circunvizinhas a talhões e/ou pivôs agrícola, pois uma vegetação de qualquer natureza que se encontre no período de maturação e saudável, pode apresentar $NDVI > 0,4$, por isso tornou-se necessário o overlay com a camada de uso do solo, agricultura.

4.4. Estimativa da Precipitação

Obtiveram-se dados de precipitação pluvial por meio do satélite Aqua/MODIS, que foram agrupados e analisados na data e ano correspondente às imagens Landsat, visando verificar a exatidão e a precisão dessas estimativas. Este passo só foi realizado devido à impossibilidade de obtenção de dados diários completos de precipitação a partir de estações meteorológicas na área e nos anos utilizados no estudo.

O sensor MODIS fornece imagens com resolução espacial de 250, 500 e 1000 m e possui 36 bandas espectrais. As bandas 1-7 são direcionadas para as aplicações terrestres e para estudos com nuvens; as bandas 8-16 para as observações oceânicas; e as bandas 17-19 para as medições atmosféricas. As bandas 20-36, com exceção da banda 26 (1360-1390 nm) que tem aplicações em estudos sobre nuvens cirrus especificamente, cobrem a porção termal do espectro (3660 nm a 14385 nm), no qual visa estudos acerca de temperaturas do topo da nuvem, camada de ozônio, vapor d'água atmosférico, dentre outros.

Nesta pesquisa foi feito uso de dois produtos do sensor MODIS incorporado no satélite Terra/Aqua, do MOD 07 e do MOD 05 (MYD05GQ, o MYD07GA e o MYD05A1). Os produtos foram utilizados para as estimativas da precipitação diária, na região das areias, arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo para o período de anos entre 2000 e 2018, e para os meses do ano de 2018.

As medições MODIS apresentam as radiações em 6 frequências polarizadas (6,9, 10,6, 18,7, 23,8, 36,5 e 89 GHz). A resolução espacial na superfície varia de aproximadamente 5 km a 89 GHz a 60 km a 6,9 GHz (Njoku et al. 2003). A AMSR-E fornece cobertura global da taxa de precipitação, água da nuvem, vapor de água, ventos

da superfície do mar, temperatura da superfície do mar, gelo, chuva, neve e umidade do solo (Njoku et al. 2003).

O MYD07GA apresenta informações da reflectância em base diária similar ao MYD07GQ.

Já o MYD05A1 possui temperatura da superfície em base diária, uma vez que trabalha com o algoritmo “generalized split-window algorithm under clear-sky conditions”, responsável pelo mapeamento de todos os valores de temperatura de superfície a céu claro, e uma média desses valores e com outro algoritmo “dual spectral rain algorithm”, responsável pelos valores de precipitação.

Os arquivos contidos no produto MYD05A1 são: Precipitação diária, garantia de qualidade na hora local e emissividade das bandas 31 e 32, ângulo de visão zenital, hora local de passagem, cobertura a céu claro atributos locais e globais (metadados da imagem).

O produto Água Precipitável MODIS consiste em quantidades de vapor de água na coluna. Durante o dia, um algoritmo de infravermelho próximo é aplicado sobre áreas de terra clara do globo e acima das nuvens sobre a terra e o oceano. Sobre áreas claras do oceano, estimativas de vapor de água são fornecidas sobre a área estendida do brilho. Um algoritmo de infravermelho para derivação de perfis atmosféricos também é aplicado dia e noite para o Nível 2. Existem dois arquivos de produtos de dados MODIS Water Vapor: MOD05_L2, contendo dados coletados da plataforma Terra; e MYD05_L2, contendo dados coletados da plataforma Aqua.

Os dados de nível 2 são gerados na resolução espacial de 1 km do instrumento MODIS, usando o algoritmo de infravermelho próximo durante o dia, e na resolução de 5 x 5 pixels de 1 km, dia e noite, usando o algoritmo de infravermelho quando pelo menos nove FOVs são livres de nuvens. O vapor de água precipitável derivado de infravermelho é gerado como um componente do produto MOD07 e simplesmente adicionado ao produto MOD05 por conveniência. O algoritmo de recuperação solar baseia-se em observações da atenuação de vapor de água da radiação solar refletida nos canais MODIS de infravermelho próximo, de modo que o produto seja produzido apenas em áreas onde exista uma superfície refletora no IR próximo, que utiliza estimativas de precipitação por micro-ondas, corrigidas por informações da estrutura vertical das nuvens obtidas do radar de precipitação. Os dados foram fornecidos em mm h⁻¹ em arquivos raster com extensão hdf (hierarchical data format) e resolução espacial de 5 km.

Para as imagens obtidas por meio do sensor MODIS foi utilizado o programa de geoprocessamento IDRISI para conversão dos valores digitais da imagem.

Para o cálculo das médias anuais dos anos entre 2000 e 2018, foram selecionados os dados do ano respectivo e calculada a média de cada píxel da precipitação local, em mm.

Para definir o intervalo dessa escala, foram analisados os valores mínimos e máximos de cada ano, os mínimos e máximos das imagens de precipitação média entre 2000 e 2018. (Figura 55)

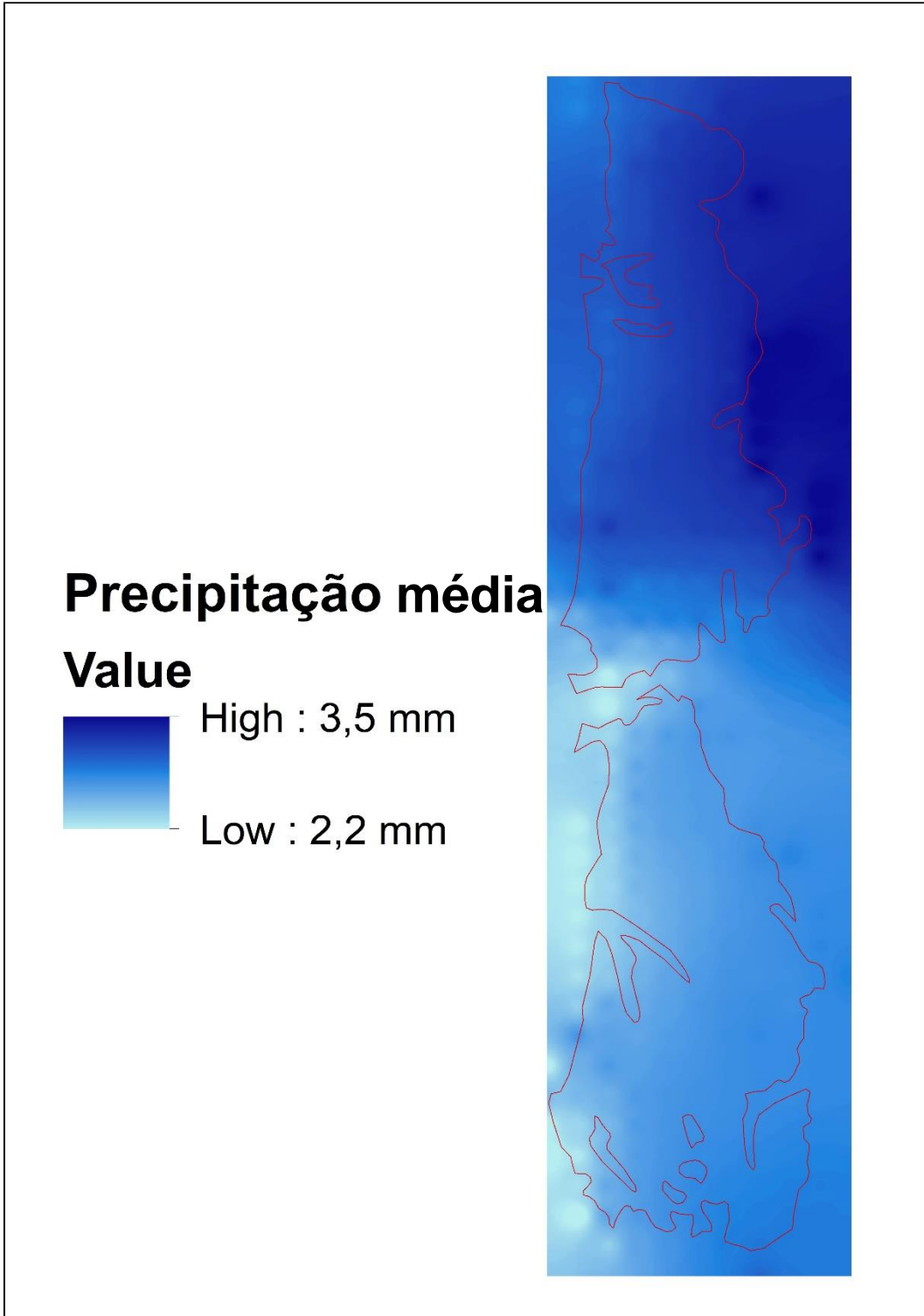


Figura 55 - Precipitação 26 de Janeiro 2018

Os resultados, mostram como a área apresentou uma precipitação em geral baixa, com os anos de 2005 e 2015 com os extremos de precipitação mínima no período estudado. Os anos de 2000, 2010 e 2013 foram os casos cuja média anual apresentou melhores resultados.

Os valores de precipitação advindo do satélite Modis, só foram usados pois não haviam dados de precipitação para o período de 2000 a 2018, nas estações, o que daria uma maior precisão aos dados, bem como aos resultados obtidos, uma vez que de um modo geral por possuir uma faixa de pixel muito grande as imagens MODIS, não apresentaram uma heterogeneidade entre os pixels, o que reduz a precisão do resultado.

4.5. Coeficiente relativo à eficiência da rega

O coeficiente relativo a eficiência de rega é a proporção da quantidade de água consumida pela agricultura quando regada, ou seja, é à quantidade de água fornecida através da irrigação que é absorvida pela cultura.

A eficiência de rega, segundo JENSEN (2007), é a razão do volume de água de irrigação utilizada pela planta na transpiração, evaporação da superfície do solo, e da planta, mais a quantidade necessária para regular a quantidade de sais no solo e a água para a estrutura da planta, para o total de volume de água derivada, estocada, ou armazenada para a irrigação, ou seja, é a percentagem de água de rega consumida por uma cultura regada.

Há muitas formas de medir a eficiência, algumas das quais são convencionais, outras que são novas e tentam a captura de eficiência para todo o sistema e os elementos temporais de eficácia. A eficiência é expressa em %, sendo uma medida de uso líquido / bruto da água.

Tendo em vista que perdas no transporte e aplicação da água são frequentes em empreendimentos agrícolas, cabe inferir uma eficiência de irrigação para uma cultura ou área (JENSEN, 2007).

Objetivando estimar o volume de água empregado nas regas, estabelecido na estimativa da evapotranspiração real, assume-se neste trabalho uma a eficiência no uso da água para rega é em média 80%, valor este baseado no MECAR (Método de estimativa de Rega para Portugal), o qual afirma que em média, os sistemas de rega em Portugal deram origem a cerca de 20% de perdas estimadas de água de rega. (Leão et al. 2011).

4.6. Estimativa do volume de água usado na rega

Para a determinação do volume de água usado na rega recorreu-se ao método de estimativa de uso de água na rega em escala local, a partir de dados de detecção remota.

Essa metodologia já foi aplicada no Sistema Hidrogeológico Oriental Mancha (Espanha, 7.260 km²), onde as abstrações para a agricultura compreendem mais de 90% dos recursos hidrológicos consumidos. Nesse contexto, precisão foi acima de 95% obtida com um custo sessenta vezes menor que o dos métodos tradicionais. (Castaño, Sanz e Gómez-Alday, 2010), e na Bacia hidrográfica do Rio São Marcos, no Brasil, com precisão de 92%. (Sado et al,2017). Outros estudos foram no Brasil e em Espanha, fizeram uso da mesma metodologia para a estimar o volume de água usado na rega, como levantamentos técnicos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Agência Nacional das Águas do Brasil (ANA), e Instituto Técnico Agronómico provincial de Albacete (ITAP).

A determinação do volume de água utilizado para rega, dar-se pela seguinte equação:

$$V = (\Sigma P - \Sigma ET_{real}) \times A / E_r$$

(Eq.5)

Sendo V o volume de água usado para rega ; ET_{real} a evapotranspiração real, obtida através do SEBAL; P a precipitação diária, estimada pelas imagens MODIS. A área regada que foi determinada através dos padrões estabelecidos anteriormente e E_r a eficiência da rega.

A estimativa de irrigação baseia-se nos dados de precipitação efetiva, evapotranspiração, área do cultivo e coeficiente relativo à eficiência da irrigação (Castaño, Sanz e Gómez-Alday, 2010).

A análise estimou o volume de água utilizado para rega em toda a área do estudo, e subdividido em seus respectivos sectores, Norte e Sul, com o objectivo de caracterizar a sua evolução inter-anual, período seco e húmido, entre 2000 e 2018 e intra-anual, a utilização mensal, para o ano de 2018.

O Valor de volume obtido através das imagens de satélites (Landsat 5, Landsat 8 e MODIS), corresponde a um valor de volume do dia da imagem, por tanto diário. Como os satélites Landsat retornam ao mesmo ponto geográfico apenas uma ou duas

vezes ao mês, este valor diário foi por tanto adotado como um valor padrão e assumido que tal valor de rega se repita os 30 dias do mês, sendo sua soma o volume final usado para rega no caso intra-anual, referente ao ano de 2018.

Já para os casos inter-anuais, entre 2000 e 2018, assumiu-se dois valores de volumes de rega diários, como valores padrões, um valor único para todos os meses que compõe período seco e um valor único para todos os meses que compõe o período húmido, sendo a soma o volume final usado para rega neste caso.

Assim sendo, a equação foi processada no ambiente SIG, em uma calculadora raster, seguindo a lógica da álgebra de mapas, tendo como resultado uma imagem com valores de correspondente ao volume de rega em mm, que foram convertidos em m³, após serem calculados também os valores em m² das áreas regadas. (Figura 56).

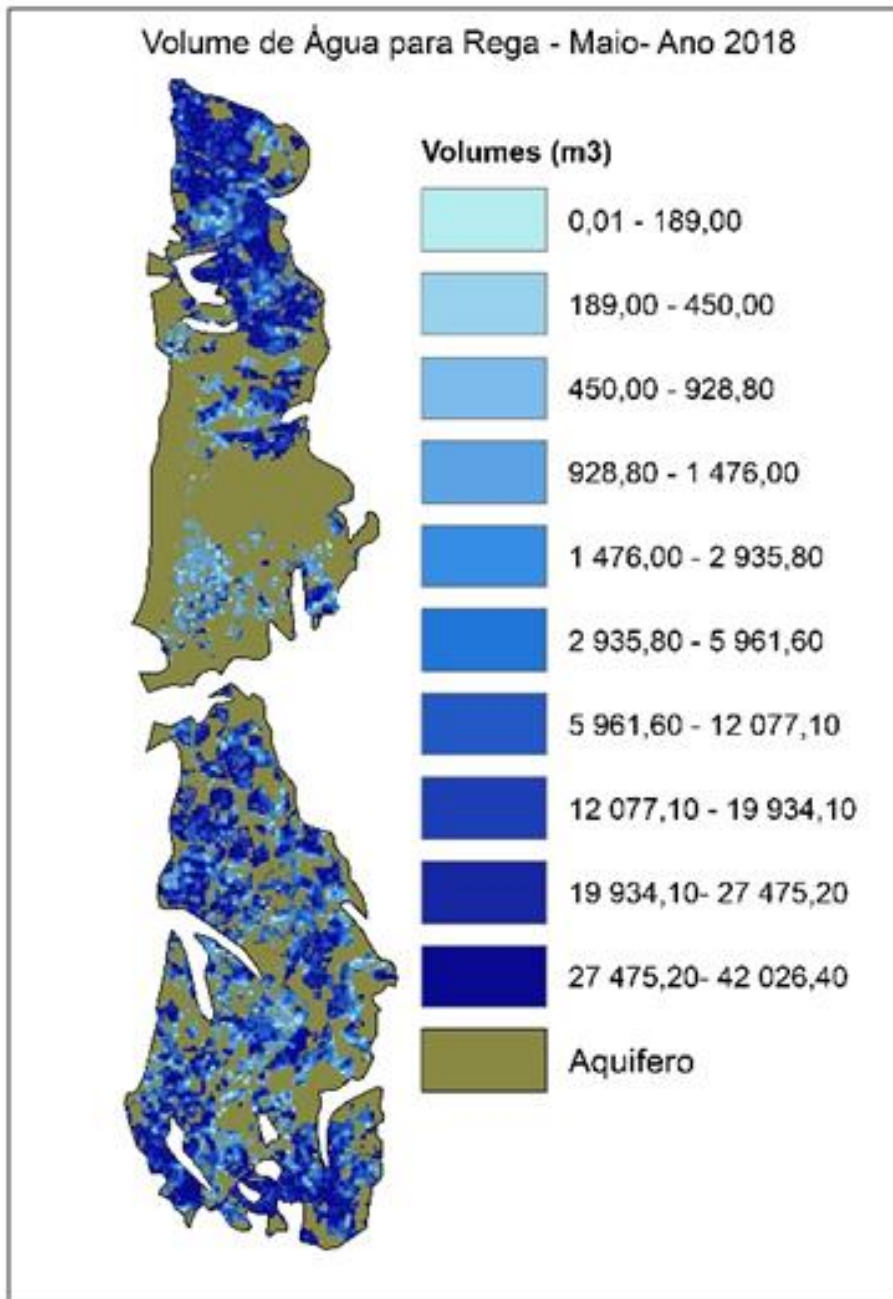


Figura 56 – Volume de Água para rega- Maio- 2018

As áreas agrícolas presentes na região em estudo somam 111,63 km², das quais cerca de 92% desta área são de culturas temporárias, que faz com que as fracções de ocupação do solo destas culturas variem bastante ao longo do ano.

Para o período Seco, as áreas agrícolas regadas para toda a área de estudo, oscilaram bastante com valores médios de 3918600 m², de ocupação agrícola, com valor mínimo de 2327400 m², que correspondeu ao ano de 2001, e com valor máximo de 7634700 m², no ano de 2016.

Quanto aos volumes de água usados na rega, os dados apresentaram um comportamento diretamente proporcional de maneira moderada, ou seja, quando há um aumento na área agrícola regada, ocorre um crescimento no volume de água utilizado, apresentando um índice de correlação de Pearson de 0,6, o que valida a tese de que há uma correlação moderada, neste caso, de área regada e volume.(Figura 57)

Neste caso, os volumes para o período seco, apresentaram valores médios de 10.658.466 m³, e valor mínimo de 2429973 m³, que é correspondente ao ano de 2002. E com valor máximo de 24238494 m³ que corresponde ao ano com maior área agrícola (2016), evidenciando que há uma certa regra comportamental.

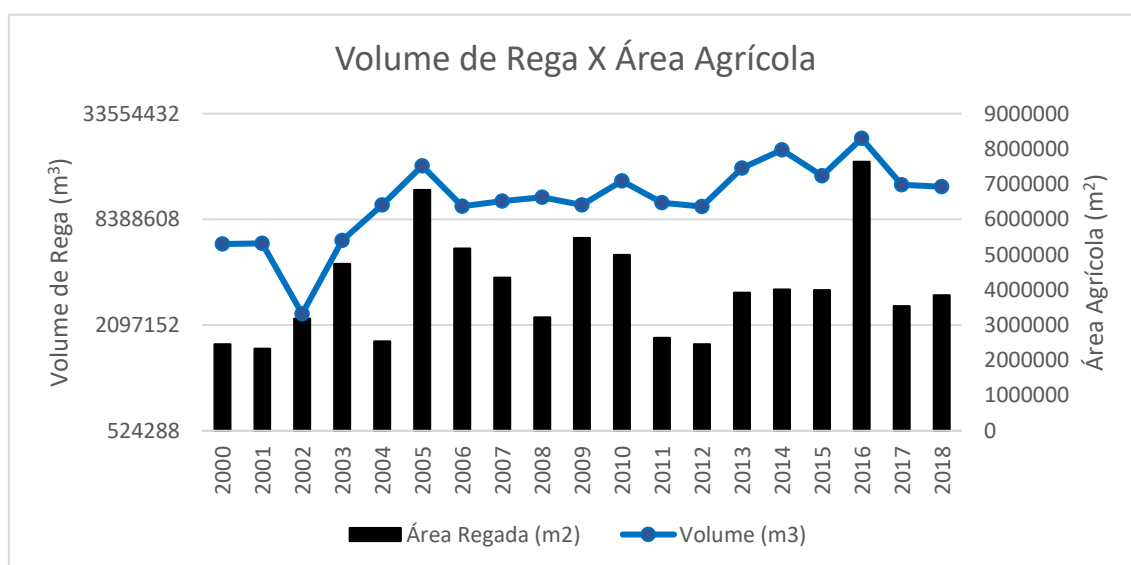


Figura 57-Relação Volume de Rega X Área Agrícola para o período seco

O sector sul, é a área onde há uma maior concentração de área agrícola, uma vez que está inserida na delimitação do perímetro irrigado do rio mira, logo parte-se do pressuposto que o volume de água usado neste sector seja maior parte proveniente do perímetro irrigado.

Apesar destas águas, não serem oriundas do aquífero que norteia este estudo, e sim do perímetro de rega do Mira, o processo de rega acaba por impactar este sector do aquífero, uma vez que acaba por contribuir para uma recarga acidental, que é uma consequência de determinadas actividades humanas que não se destinam à recarga artificial de aquíferos, como é o caso. Podendo assim vi a aumentar o volume de água que se infiltra no aquífero, uma vez que o volume de água usado na rega, parte acaba por ser absorvido pelas plantas, outra parte evapora-se, parte acaba por escoar e infiltrar-se. Portanto torna-se importante mensurar o volume de rega, neste sector.

As áreas agrícolas regadas para o período seco no sector sul, apresentaram valores médios de 3120300 m², de ocupação agrícola regada, com valor mínimo de 1504800 m² registado em 2001 (à semelhança do que ocorre para toda a área de estudo), e com valor máximo de 6160500 m² para o ano de 2016.

Em relação aos volumes de rega estimados, os dados apresentaram um índice de correlação de Pearson de 0,75 com a área agrícola regada, o que corresponde a uma correlação forte, entre área regada e volume, sendo diretamente proporcionais. (Figura 58)

Para este sector, o volume estimado apresenta valores médios de 10093356 m³, valor mínimo de 2373084m³, registado no ano de 2002 e valor máximo de 20873349 m³ para o ano de 2016, tal como sucede para a área regada.

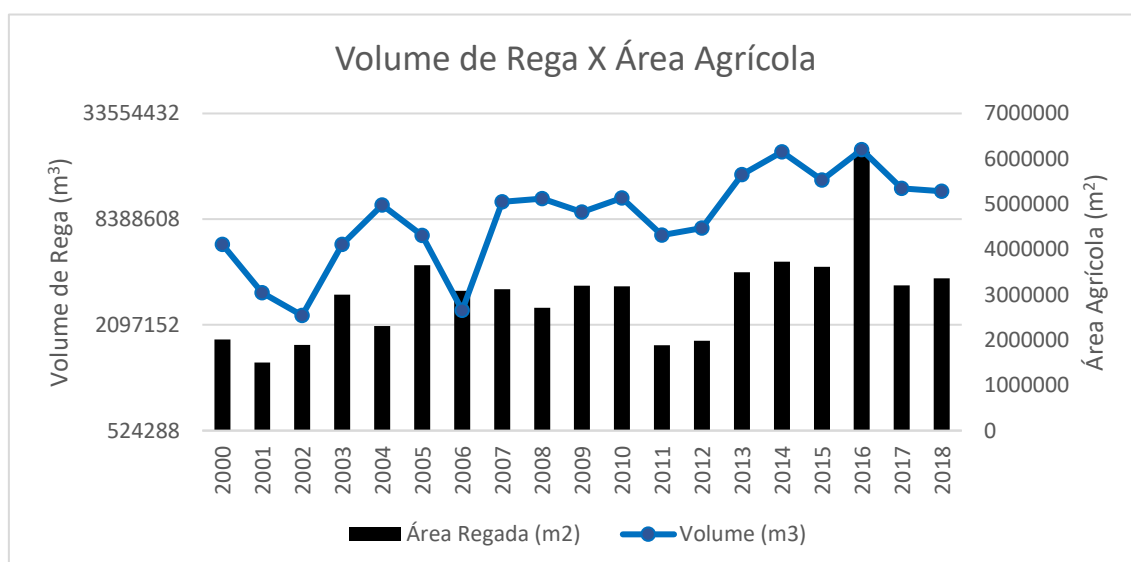


Figura 58- Relação Volume de Rega X Área Agrícola para o período seco no Sector Sul

O sector Norte, em seu período seco, demonstrou em comparação ao sector Sul uma característica mais variável, com uma maior oscilação nos tamanhos de áreas agrícolas, e bem como consequentemente uma maior variabilidade de volume de água usada na rega, não sendo constante.

Este sector apresenta áreas agrícolas que são regadas com uso da água proveniente dos aquíferos em estudo. O uso desta água acaba por afetar diretamente o volume de água presente no aquífero, contribuindo para a diminuição do volume existente.

O sector norte apresentou valores médios de 754200 m², de ocupação agrícola regada, com valor mínimo de 224100m², que corresponde ao ano de 2004, e com valor máximo de 3186900 m², no ano de 2005.

Quanto aos volumes usados para rega, os dados apresentaram um índice de correlação de Pearson de 0,7, uma correlação forte, entre área regada e volume, sendo diretamente proporcionais, apresentando valores médios de 826119m³, e valor mínimo de 52542 m³, que assim como o valor de área, é correspondente ao ano de 2004. O valor máximo foi de 10110555m³, no ano de 2005, mantendo-se a regra da relação proporcional área agrícola x volume de rega, figura 59, uma vez que o ano em que se registou o maior volume de rega correspondeu ao ano em que se verificou a maior área agrícola (2005).

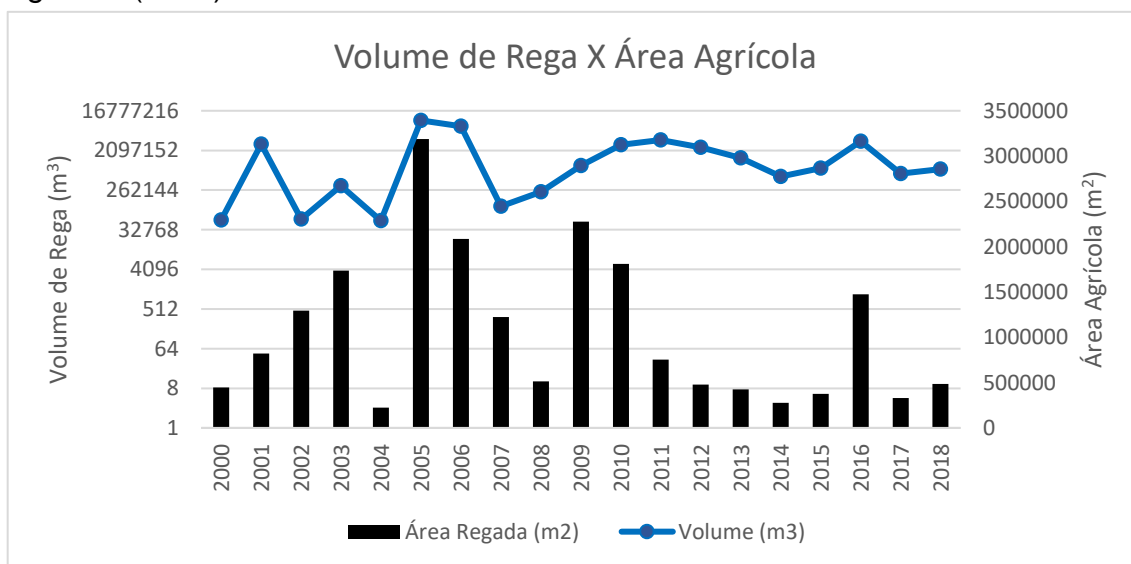


Figura 59- Relação Volume de Rega X Área Agrícola para o período seco no Sector Norte

Para o período húmido, as áreas agrícolas apresentaram valores médios de 4222800m², de ocupação agrícola, com valor mínimo de 1001700m², que correspondeu ao ano de 2012, e com valor máximo de 13203900m², no ano de 2016.

A evolução do volume utilizado para rega apresentou um índice de correlação de Pearson de 0,82 com a evolução da área agrícola regada, o que valida a tese de que há uma correlação muito forte entre estas variáveis. Tais volumes para o período húmido, apresentaram valores médios de 845910m³, e valor mínimo de 154170m³, que é correspondente ao ano de 2001. O valor máximo estimado foi de 3061260m³ que corresponde ao ano de 2013. (Figura 60)

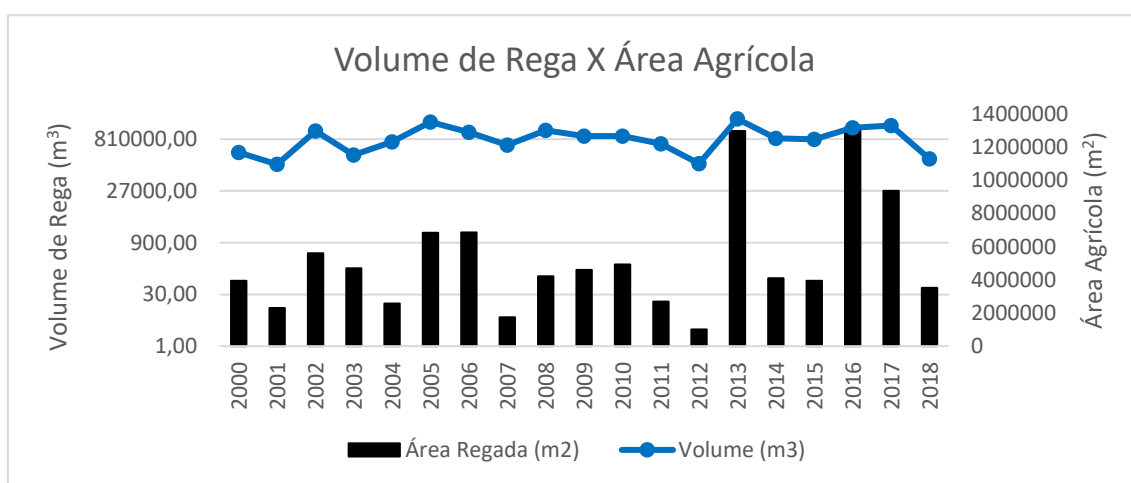


Figura 60- Relação Volume de Rega X Área Agrícola para o período húmido

O sector Sul, em seu período húmido apresentou valores um pouco mais baixos até 2012, e um pouco mais altos de 2013 em diante, em comparativo a análise feita para toda a área.

Calculados os valores de área de ocupação agrícola, obteve-se o valor médio de 3081600 m², o valor mínimo de 608400 m², que é correspondente ao ano de 2005, e com valor máximo de 8767800m², no ano de 2016.

Em relação aos volumes usados para a rega, os dados apresentaram um índice de correlação de Pearson de 0,75, uma correlação forte, entre área regada e volume, sendo diretamente proporcionais, neste caso, apresentaram valores médios de 682155m³, e valor mínimo de 36720m³, que é correspondente ao ano de 2001. E com valor máximo de 1712475m³ que é o valor foi correspondente ao ano de 2013. (Figura 61)

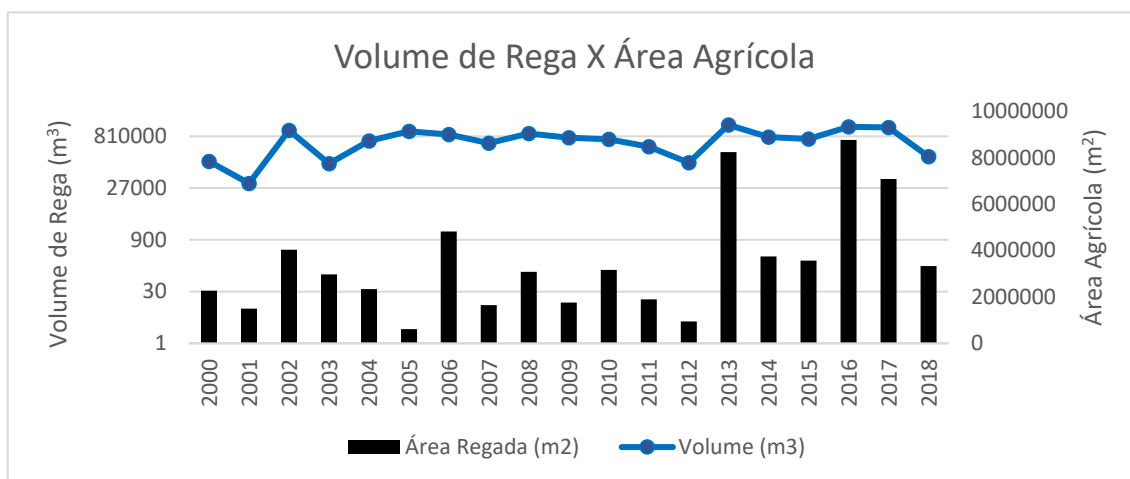


Figura 61- Relação Volume de Rega X Área Agrícola para o período húmido no sector Sul

O sector Norte, para o período húmido, também manteve a tendência comportamental de ser diretamente proporcional, apresentando uma correlação estatística de Pearson no valor de 0,82, validando tal correlação.

Apresentando valores médios de 1569600 m², de ocupação agrícola regada, com valor mínimo de 62100m², que corresponde ao ano de 2012, e com valor máximo de 6226200m², no ano de 2005. Quanto aos volumes usados para a rega, os dados apresentaram valores médios de 185895m³, e valor mínimo de 6480m³, que é correspondente ao ano de 2018. E com valor máximo de 1358370 m³, no ano de 2005. (Figura 62)

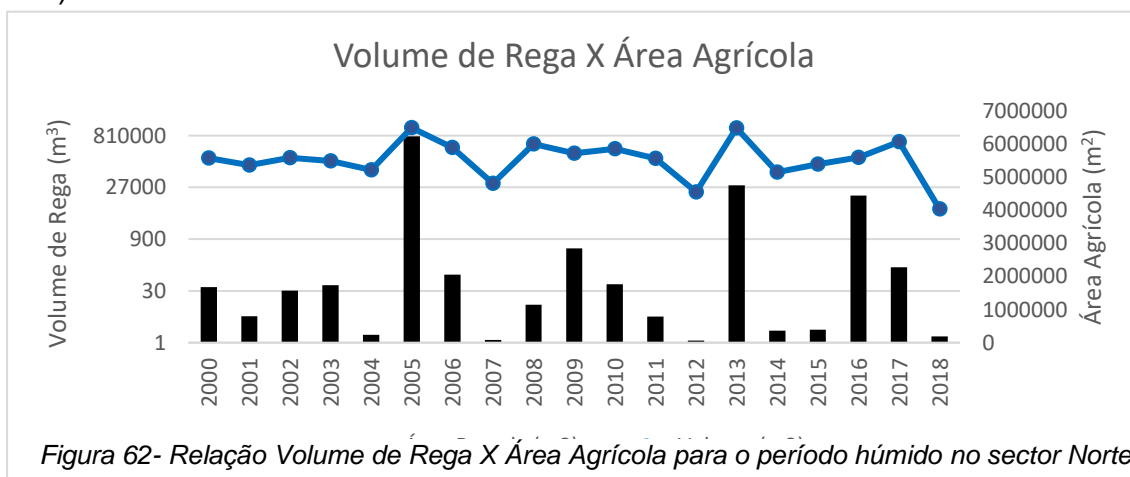


Figura 62- Relação Volume de Rega X Área Agrícola para o período húmido no sector Norte

Adicionalmente, no presente trabalho também se realizou o processamento de dados de área agrícola e volume de rega, para todos os meses do ano de 2018, o qual apresentou valores de áreas agrícolas regadas maiores entre os meses de Novembro a Maio, e menores no período de Junho a Outubro. Porém, no que respeita ao volume de água usado para rega, os valores no período de Junho a Outubro são proporcionalmente próximos aos do período entre Novembro e Maio, mesmo possuindo menor área agrícola. Este facto evidencia a existência de um maior uso proporcional da água em relação a área regada nestes meses.

Assim a área apresentou-se com valores médios para áreas agrícolas de 9381150 m², e para volume de rega de 1358734 m³, valores mínimos de 3330000 m², para área agrícola, e volume mínimo de 236006 m³, o primeiro referente ao mês de Outubro, e o segundo referente ao mês de Dezembro, já os valores máximos de área agrícola de 14862600 m², para o mês de março, já o volume máximo de 7462161m³, para o mês de Maio.(Figura 63)

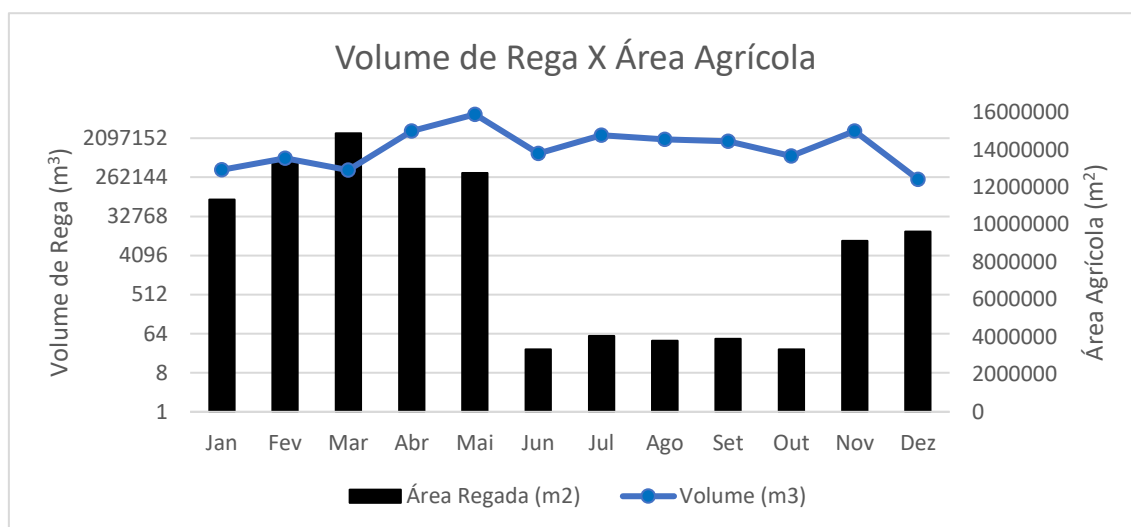


Figura 63- Relação Volume de Rega X Área Agrícola para o Ano de 2018

Os dados referentes ao sector sul apresentaram uma tendência semelhante a análise feita para toda a área, com valores de áreas agrícolas regadas superiores entre os meses de Novembro a Maio, e inferiores no período de Junho a Outubro, e com volume de rega pouco variável, independente da extensão da área agrícola.

O referido sector, apresentou valores médios para áreas agrícolas de 7139700m², e para volume de rega de 1243255 m³, valores mínimos de 2777400m²,

para área agrícola, que é condizente ao mês de Junho, e volume mínimo de 209584m³, referente ao mês de Dezembro, valores máximos de área agrícola de 9140400m², para o mês de Março, já o volume máximo de 4636087m³, também para o mês de Maio. (Figura 64)

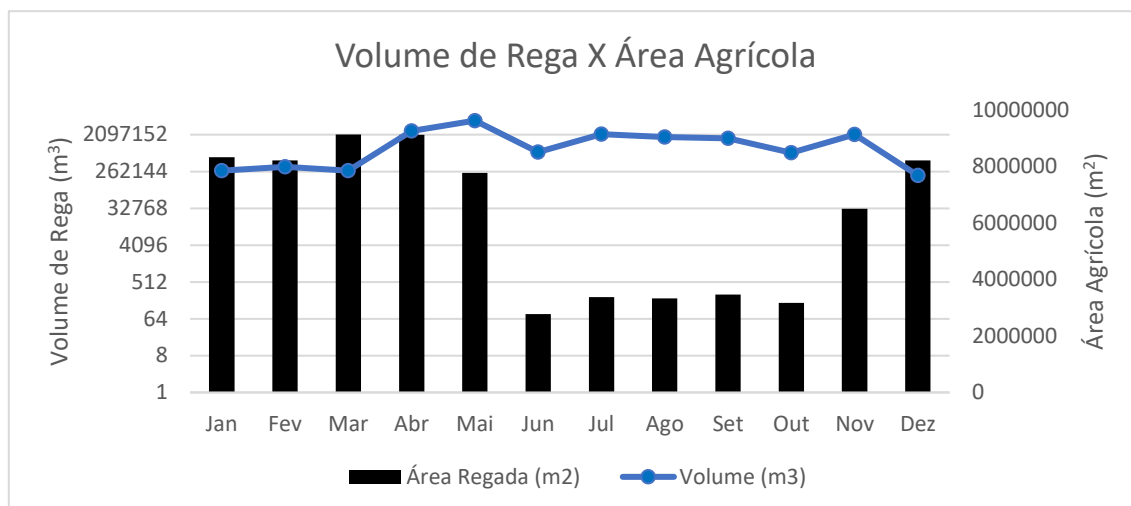


Figura 64- Relação Volume de Rega X Área Agrícola para o Ano de 2018 no Sector Sul

Diferentemente dos resultados obtidos através das análises feitas anteriormente, para toda a área e para o sector Sul, os resultados apresentados para o sector Norte, possui valores bastante heterogenios, com uma maior variação nos volumes agrícolas de rega, principalmente nos meses de Novembro a Maio. Porém, nos meses de Junho a Outubro, os valores tornan-se homogenios com valores bastante padronizados.

O sector Norte, apresentou valores médios para áreas agrícolas de 2018250 m², e para volume de rega de 149920 m³, valores mínimos de 161100m², para área agrícola referente ao mês de Outubro, e volume mínimo de 26421m³, referente ao mês de Dezembro, valores máximos de área agrícola de 5722200 m², para o mês de março, já o volume máximo de 2826074 m³, referente ao mês de Maio.

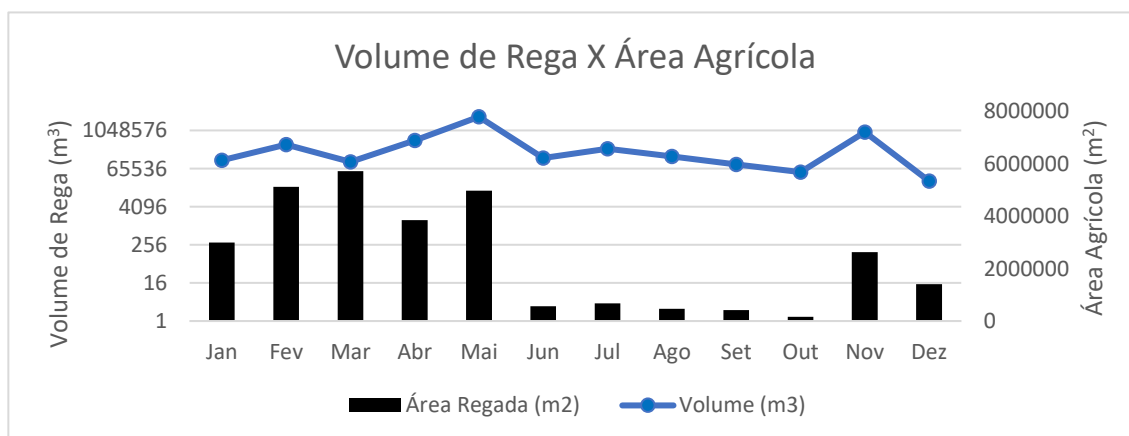


Figura 65 - Relação Volume de Rega X Área Agrícola para o Ano de 2018 no Sector Norte

5. Validação dos Resultados

Neste Capítulo executa-se a validação do volume de água de rega estimado via deteção remota, e a calibração do modelo do balanço hídrico sequencial mensal ao nível do solo, afim de verificar a precisão dos métodos aplicados.

5.1. Validação do Volume De Rega Estimado Via Deteção Remota

De forma a validar os valores estimados quanto ao volume utilizado na rega, foi feita uma análise comparativa do que foi obtido no sector sul, com os valores dos volumes fornecidos para rega existentes no perímetro Irrigado do Rio Mira, uma vez que o sector sul compõe uma parte do perímetro de rega.

De acordo com dados da Associação dos Beneficiários do Mira (2018), o perímetro de rega do Rio Mira possui 136,523 km², com um volume de Rega no ano de 2018, no valor médio de 36383259 m³. Tendo em consideração apenas a área agrícola do sector sul da área de estudo, esta possui aproximadamente 72,81 km², e corresponde a 53 % do perímetro de rega do Rio Mira. Assumindo que o volume total de rega no perímetro de Rega do Rio Mira segue uma distribuição espacial uniforme, pode-se considerar que a área correspondente ao sector sul do caso de estudo consome um valor equivalente a 53% do volume total de rega utilizado no perímetro de rega do Rio Mira. (Figura 66)

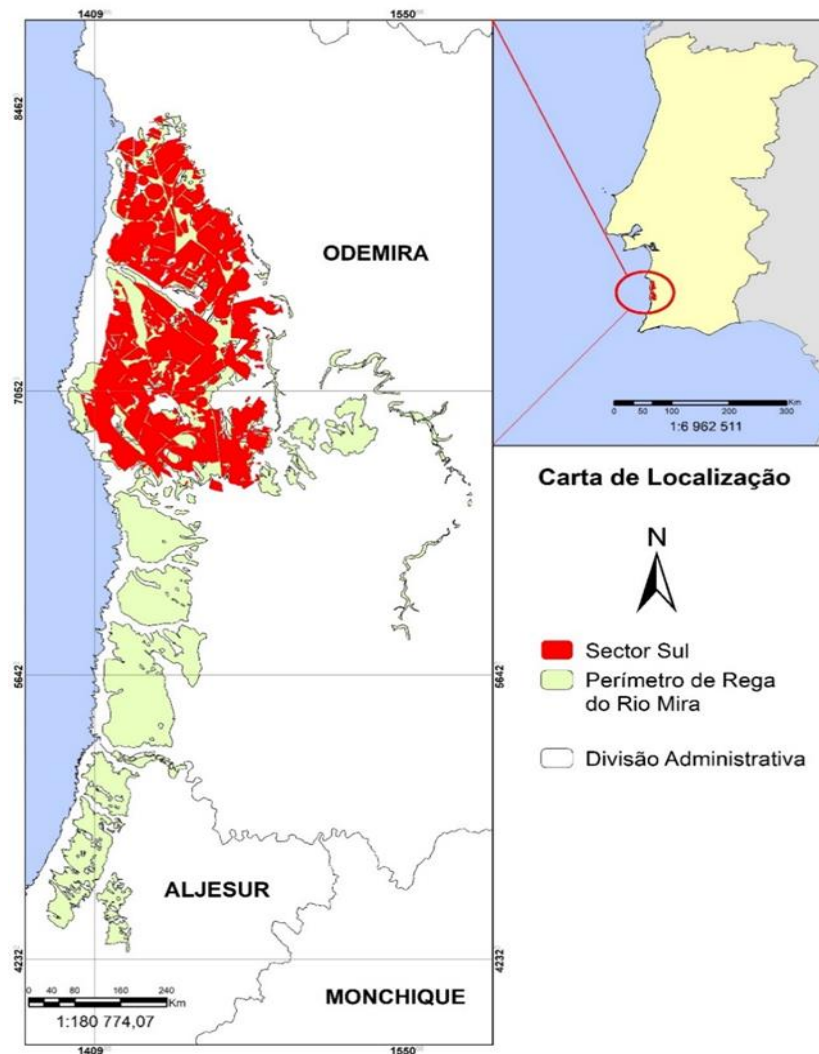


Figura 66 -Área de Ocupação agrícola do Sector Sul em relação ao perímetro de rega do Rio Mira

Sendo assim, feito uma relação entre a área ocupada e o volume usado na rega, assumindo que existe uma correlação estatística forte, entre área e volume, em teoria o sector sul teria valores proporcionais a área agrícola na ordem de aproximadamente 19283127m^3 para 2018.

Por outro lado, o volume de rega estimado por via de detecção remota para este sector para o mesmo ano corresponde a 17666879 m^3 .

Ao comparar o volume de rega no sector sul da área de estudo obtido através do perímetro de rega com o valor obtido via detecção remota, a margem de erro corresponde aproximadamente a 8%, e um índice de probabilidade de acerto de 92% indicando assim a acurácia do método.

Acrescenta-se que o volume estimado por detecção remota, neste caso, não contabilizou os volumes de rega utilizados em estufas, por serem cobertas por um material acrílico ou plástico cujo a reflexão assemelha-se as áreas antropizadas, como telhados, casas e etc. Tornando-se impossível identificar a vegetação presente e consequentemente estimar o volume de água usado naquela cultura. A identificação e contabilização dessas áreas, se possível fosse, poderia vir a elevar o índice de confiabilidade do método empregado, por tanto o valor de 8% de erro, poderiam vir a ser ainda menores caso se contabilizasse esse volume.

Estes são indicadores bastante animadores no que respeita à validade do método utilizado para estimativa do volume utilizado.

De facto, este método já vem sendo utilizado, na Espanha e Brasil, como supracitado (Sub-capítulo 5.6.) e permite estimar o uso de água, superficial e subterrânea para regas agrícolas, tendo sido verificada alta correlação entre os volumes de água estimados por detecção remota e os volumes medidos por hidrômetros, com cerca de 92% a 95 % de confiabilidade. (Sado et al,2017; (Castaño, Sanz e Gómez-Alday, 2010).

5.1.1 Verificação da precisão e coerência das Estimativas inter-anual e intra-anual.

Com o objetivo de verificar a precisão e coerência da extrapolação dos dados diários de volumes do ano de 2018, no sentido comparativo entre os valores de volumes de rega finais obtidos, para as análises inter-anual e intra-anual.

Os volumes de rega totais calculados para o ano de 2018, apresentaram bastante semelhanças , com poucas variações (Tabela 15), estando com uma similaridade de 90%, evidenciando que há pouca divergência entre os métodos, o que atesta a precisão e coerência dos dados.

Tabela 15- Volumes de rega totais calculados para o ano de 2018

Análise	Volume de Total de Rega (m³)
Inter-Anual	25794720
Intra-Anual	23284477

Ainda para efeito de validação da metodologia adotada, comparou-se a soma dos valores de volumes de rega obtidos no cálculo intra-anual dos meses correspondentes aos períodos secos e húmidos, com os valores de rega dos mesmos períodos, obtidos através do cálculo inter-anual. Onde obteve-se uma similaridade entre os dados de 88% , ratificando a coerência e similaridade do método adotado para estimar o volume de rega na área em estudo. (Tabela 16).

Tabela 16 - Volumes de rega total para o Período seco e Período Húmido calculados para o ano de 2018

Análise	P. Seco	P.Húmido
Inter-Anual	12897360	222345
Intra-Anual	14606049	216960

5.2. Calibração e validação do modelo do balanço hídrico sequencial mensal ao nível do solo

Com base nos volumes de rega obtidos nos parágrafos anteriores, procede-se à calibração do parâmetro Capacidade de Campo do modelo do Balanço Hídrico Sequencial Mensal ao Nível do Solo. Uma vez que é uma metodologia muito utilizada para se avaliar o armazenamento de água no solo e quantificar déficits e excessos hídricos, neste caso, das areias, arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo reproduzindo os processos essenciais de transporte de água entre as diferentes componentes do ciclo hidrológico.

Para a calibração do modelo foi utilizado o resultado da medição de volume de água no perímetro de rega do Mira, ajustado para o sector sul, como referência de valor a ser aproximado, pois é um valor obtido com base em dados de medidos. O parâmetro da Capacidade de Campo adoptado irá influenciar o valor de Déficit Hídrico estimado através do Balanço hídrico Sequencial. Por sua vez, o Déficit Hídrico é associado ao volume de rega que é utilizado. Assim, com base nos valores de rega obtidos a partir do perímetro de rega do Mira, é possível calibrar a Capacidade de Campo do modelo, de forma a fazer corresponder o Déficit Hídrico ao volume de rega utilizado.

Antes da calibração, com a capacidade de campo adotada inicialmente (75), os déficits hídricos, convertidos em volumes de rega, para as estações de Odemira e Santiago do Cacém (Tabela 17) , apresentaram-se um pouco distante do valor medido para o perímetro irrigado do Mira, para o sector sul. Por isso, a a calibração torna-se essencial, para a melhor adequação da metodologia.

Tabela 17- Comparativo de Valores de Volumes do Déficit Hídrico do Balanço Sequencial Hídrico, e de dados medidos de volume de rega proveniente do perímetro irrigado do Mira.

Estação	Volume (m³)	Volume (hm³)	Volume (mm)
Santiago do Cacém	25558172	25,55	351,02
Odemira	23745319	23,74	326,12
Perímetro Irrigado do Mira	19283127	19,28	264,84

Se analisada a precisão da metodologia sem calibração, há uma diferença entre o Déficit Hídrico e o Volume De Rega de 25% para estação de Santiago do Cacém, e de 19 % para a estação de Odemira, entre o volume obtido através do perímetro de rega do Mira e os volumes obtidos através dos déficits hídricos das respetivas estações.

A alteração dos valores de capacidade de campo do valor previamente adotado (75), para o valor de (150), revelou uma boa aproximação entre os valores medidos para o perímetro irrigado do Mira, o sector sul, com os valores obtidos pelo Modelo. Sendo assim, o valor do Deficit hídrico apresentou uma maior semelhança com o valor real de volume de água usado na rega, uma vez que o déficit hídrico é normalmente usado como base para determinação da coluna de água, usada para o volume de água a ser regado, em uma determinada área.

Sendo assim, apresentam-se de seguida os balanços para as estações de Odemira (Tabela 18) e Santiago do Cacém (Tabela 19), já assumindo o valor calibrado de capacidade de campo como 150 (Figura 67) :

Tabela 18- Balanço Hídrico Sequencial Mensal (Dados de EVP. Mensal da estação de Odemira, série (1941-1970) e Precipitação da série de 1959/60 – 1990/91), Sector Sul, com capacidade de campo ajustada

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
P	84,4	82,3	61,3	54,6	34,3	12,9	1,8	2,5	20,2	79,4	92,6	87,3	613,6
EVP	29,2	30,6	46,3	55,4	80,3	96,4	105,3	101,5	89,0	66,7	41,2	28,4	770,3
P-EVP	55,2	51,7	15,0	-0,8	-46,0	-83,5	-103,5	-99,0	-68,8	12,7	51,4	58,9	-156,7
L					-46,0	-129,6	-233,0	-332,0	-400,8				-1141,4
S₅₀	150,0	150,0	150,0	150,0	110,4	63,2	31,7	16,4	10,4	23,0	150,0	150,0	1155,1
ΔS₅₀	0,0	0,0	0,0	0,0	-39,6	-47,1	-31,5	-15,3	-6,0	12,7	127,0	0,0	0,0
EVR	29,2	30,6	46,3	55,4	73,9	60,0	33,3	17,9	26,3	66,7	41,2	28,4	509,2
DH					6,4	36,4	72,0	83,6	62,7				261,1
SH	55,2	51,7	15,0	-0,8						0,0	-75,5	58,9	104,5

P= Precipitação
 EVP = Evaporação
 L = Perda potencial da água
 S_{s0} = Água armazenada na zona variavelmente saturada do solo
 ΔS_{s0} = Água no solo num intervalo menos água no solo no intervalo anterior
 EVR = Evaporação Real
 SH – Superavit hídrico
 DH – Défice Hídrico
 ACS – Água cedida pelo solo
 ARS – Água restituída ao solo

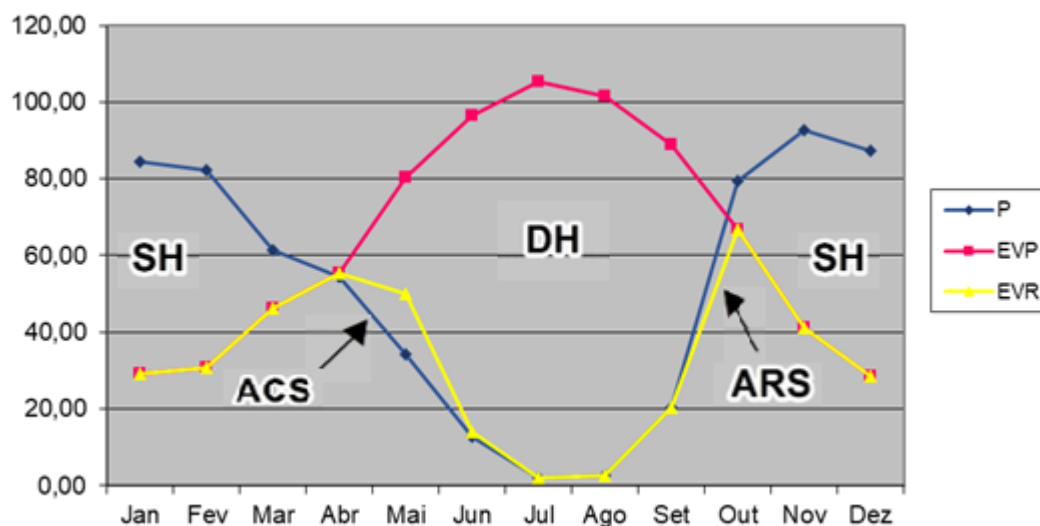


Figura 67 -Balanço Hídrico Sequencial do Aquífero das areias, arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo/ Estação Odemira– Sector Sul / com capacidade de campo ajustada

A análise ao Balanço hídrico calibrado, para a área agrícola, em relação a estação de Odemira, a fim de validar a metodologia adotada, indica que o período húmido na região se concentrou nos meses de outubro a março, com o máximo de precipitação registado em novembro, com valores próximos aos 93 mm. No que respeito aos períodos de défice hídrico, ocorreram durante os meses de maio a setembro, com um máximo de défice -83,6 mm a ocorrer no mês de agosto. O défice hídrico integral para estes 5 meses é de 261,1 mm. Por outro lado, o excesso hídrico ocorre nos cinco meses entre novembro à março, com um máximo observado em Dezembro, com um valor de 58,9 mm e um valor integral anual de 104,5mm.

Ao realizar a calibração da Capacidade de Campo através dos défice hídrico e dos volumes de rega obtidos, obteve-se o valor de 19.013.458 m³, se comparado com o volume obtido através do perímetro de rega do Mira 19.283.127 m³, obtém-se uma diferença de apenas 1,5%.

Repete-se o processo para estação de Santiago do Cacém, Figura 68, com os dados de EVP (1941-1970) e Precipitação da série 1959/60 – 1990/91 com base em Nicolau (2002), Tabela 19 :

Tabela 19- Balanço Hídrico Sequencial Mensal (Dados de EVP. Mensal da estação de Santiago do Cacém, série (1941-1970) e Precipitação da série de 1959/60 – 1990/91), Sector Sul, com capacidade de campo ajustada

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
P	84,3	82,3	61,3	54,5	34,2	12,8	1,8	2,5	20,2	79,3	92,6	87,2	613,6
EVP	25,3	27,9	42,9	56,7	77,8	100,7	115,3	110,9	92,8	69,5	40,0	26,9	786,7
P-EVP	59,1	54,4	18,4	-2,1	-43,5	-87,8	-113,5	-108,4	-72,6	9,9	52,6	60,4	-173,1
L					-43,5	-131,4	-244,8	-353,2	-425,8				-1198,7
S_{so}	150,0	150,0	150,0	150,0	112,2	62,5	29,3	14,2	8,8	18,6	150,0	150,0	1145,7
ΔS_{so}	0,0	0,0	0,0	0,0	-37,8	-49,7	-33,2	-15,1	-5,5	9,9	131,4	0,0	0,0
EVR	25,3	27,9	42,9	56,7	72,1	62,6	35,0	17,6	25,7	69,5	40,0	26,9	502,2
DH					5,7	38,1	80,3	93,3	67,1				284,5
SH	59,1	54,4	18,4	-2,1						0,0	-78,7	60,4	111,5

P= Precipitação

EVP = Evaporação

L = Perda potencial da água

S_{so}= Água armazenada na zona variavelmente saturada do solo

ΔS_{so} = Água no solo num intervalo menos água no solo no intervalo anterior

EVR = Evaporação Real

SH – Superavit hídrico

DH – Défice Hídrico

ACS – Água cedida pelo solo

ARS – Água restituída ao solo

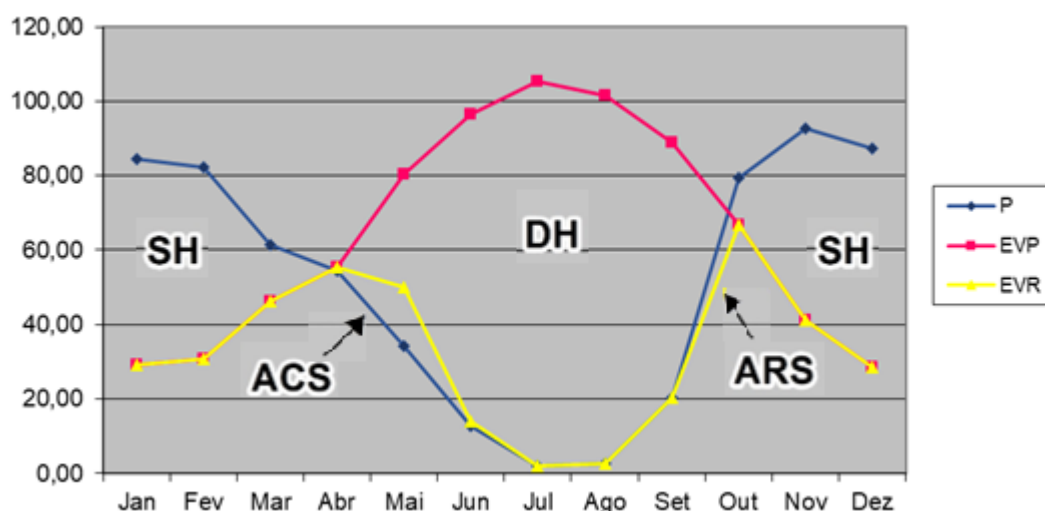


Figura 68 -Balanço Hídrico Sequencial do Aquífero das areias, arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo/ Estação Santiago do Cacém – Sector Sul / com capacidade de campo ajustada

A análise para a estação de Santiago do Cacém, indica que o período húmido na região se concentrou nos meses de outubro a março, com o máximo de precipitação registado em novembro, com valores próximos aos 93 mm. No que respeito aos períodos de déficit hídrico, ocorreram durante os meses de maio a setembro, com um máximo de déficit 93,3 mm a ocorrer no mês de Agosto. O déficit hídrico integral para estes 5 meses é de 284,5 mm. Por outro lado, o excesso hídrico ocorre nos cinco meses entre novembro à março, com um máximo observado em Dezembro, com um valor de 60,4 mm e um valor integral anual de 111,5mm.

Ao realizar a calibração da Capacidade de Campo através dos déficits hídricos e dos volumes de rega obtidos, obteve-se o valor de 20.717.804 m³, se comparado com o volume obtido através do perímetro de rega do Mira 19.283.127 m³, obtém-se uma diferença de apenas 7%.

É possível verificar que há uma boa aproximação entre os valores medidos de volumes de água de rega do perímetro do Mira com os valores obtidos pelo modelo calibrado, variando a precisão de acordo com a estação meteorológica, tal variação pode dar-se pela posição geográfica em que se encontram as estações.

Assim expõe-se a efeito comparativo os valores obtidos pelas três fontes de dados que foram exploradas para a validação das metodologias adotadas na pesquisa, Déficit Hídrico do Balanço Sequencial Hídrico, Volume de rega através de deteção remota e dados medidos de volume de rega proveniente do perímetro irrigado do Mira (Tabela 20) :

Tabela 20- Comparativo de Valores de Volumes estimados pelas 3 metodologias Aplicadas: Déficit Hídrico do Balanço Sequencial Hídrico, Volume de rega através de deteção remota e dados medidos de volume de rega proveniente do perímetro irrigado do Mira.

Metodologia	Volume (m ³)	Volume (hm ³)	Volume (mm)
Balanço Hídrico Calibrado (Santiago do Cacém)	20712804	20,71	284,48
Balanço Hídrico Calibrado (Odemira)	19013458	19,01	261,14
Deteção Remota	17666879	17,67	242,64
Perímetro Irrigado do Mira	19283127	19,28	264,84

Verifica-se que os métodos aplicados possuem valores aproximados um dos outros, o que evidencia a precisão das metodologias praticadas em toda a análise.

6- Conclusão

O trabalho permitiu o avanço do conhecimento acerca da caracterização hidrogeológica das areias, arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo. Embora os conhecimentos adquiridos não desvendam todas as características do sistema em análise, poderão se constituir em uma base sólida para futuros trabalhos de investigação mais específica e pormenorizada.

A avaliação do sistema estudado é uma tarefa complexa, contudo considera-se que os resultados obtidos foram positivos, tendo a pesquisa incidido sobre linhas de investigação distintas, nomeadamente: hidrogeologia, descrição do tratamento de dados de satélite para uma estimativa do volume usado na área de rega presente na área de estudo.

A área estudada compreende terrenos de natureza bastante diversa, constituídos por rochas pertencentes ao quaternário, incluindo areias, arenitos e cascalheiras, que constituem o suporte base do aquífero que se pretende estudar no presente trabalho. A área em estudo ficou determinada em 195,8 Km². A precipitação anual média na área do aquífero é de 686,59 mm/ano, distribuídas de maneira não uniforme de norte a sul, com maiores valores no sector norte, uma vez que a chuva apresentou comportamento tendencioso a uma diminuição da precipitação de norte para sul, em conformidade com o decréscimo da orografia (elevação do terreno), na direção norte-sul e Este-oeste.

No presente trabalho assumiu-se uma taxa de recarga de 20% do valor da precipitação para toda a extensão do aquífero, o que corresponde a um valor de recarga média que totaliza 25,45 hm³/ano para toda a área em estudo, sendo 12,93 hm³/ano para sector norte ligeiramente maior que o sul, que apresentou 12,48 hm³/ano. Fazendo a separação entre ano seco e húmido, obteve-se para o ano seco o valor anual medio de 8,88 hm³/ano para o sector norte, e 8,26 hm³/ano para o sector sul. Para o ano húmido os valores de recargas anuais apresentaram o seguinte comportamento 17,30hm³/ano, para o sector norte, 17,15 hm³/ano para sector sul, e 34,51 hm³/ano para o todo o sistema.

O sector Norte, notadamente possui valores superiores quando comparado ao sector Sul, uma vez que o volume de precipitação no sector Norte é maior, consequentemente há uma maior recarga neste sector

Quanto a disponibilidade hídrica do aquífero dos arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo, obteve-se para o período seco um valor médio de 240,08 m³/Km² ao dia, referindo-se a toda a área de estudo. O sector mais a norte apresentou 258,58 m³/Km² ao dia, e o sector sul, apresentou um valor de 222,27 m³/Km². O período Anual-Normal apresentou para o Norte o valor de 376,24 m³/Km² dia, para o Sul 336,06 m³/Km² dia, e para toda a área 355,94 m³/Km² ao dia.

Ao analisar o Balanço Hídrico Sequencial Mensal ao Nível do Solo, verificou-se que os valores de Superavit Hídrico, que ocorre entre os meses de Novembro a Março, para toda a área de estudo, eram de 258,8 mm, caso se considerassem os dados provenientes da estação meteorológica de Odemira, e 267,4 mm caso se considerassem os dados da estação meteorológica de Santiago do Cacém. Respetivamente ao deficit hídrico calculados, que ocorre entre os meses de Abril e Outubro, os valores variam entre 380,8 mm (estação de Odemira) e 405,8 mm (estação de Santiago do Cacém).

O Balanço Hídrico Sequencial Mensal ao Nível do Solo, para o sector Sul, expressam valores de superavit hídrico, que ocorre entre os meses de Novembro a Março, de 227,1 mm, para a estação Odemira, e de 253,87mm, para a estação de Santiago do Cacém. Já para o deficit, que ocorre entre os meses de Abril e Outubro, os valores obtidos foram de 383,8 mm (Odemira), e 408,8 mm (Santiago do Cacém).

Em relação ao sector Norte, o Balanço Hídrico Sequencial Mensal ao Nível do Solo, explicita valores de superavit (Novembro a Março), de 299,7 mm para a estação de Odemira, e 291,1 mm para a estação de Santiago do Cacém. Quando se trata do deficit (Abril a Outubro), estes valores são de 402,8 mm para a estação de Odemira, e de 377,8 mm para a estação de Santiago do Cacém.

Através da análise de dados piezométricos foi possível caracterizar o modelo conceptual do sistema, com incidência para os principais mecanismos de recarga e identificação dos padrões de fluxo no aquífero. As zonas de recarga deste aquífero correspondem a altos topográficos com baixa declividade e solos com maior espessura, que se caracterizam por áreas onde haverá uma maior tendência a infiltração da água.

As condições de fronteira correspondem a potenciais impostos ao longo da falésia no contacto entre as areias, arenitos e cascalheiras do Plio-Plistocénico e ao longo das secções finais dos cursos de água junto à linha de costa, sendo notório o

contraste da densidade de drenagem dos cursos de água nas formações em estudo, muito inferior, ao que se verifica na área vizinha onde as rochas paleozóicas afloram, facto que ilustra o contraste dos valores de condutividade hidráulica, porosidade, e consequentemente de infiltração nestes diferentes tipos litológicos.

O fluxo subterrâneo ocorre predominantemente em direcção a Oeste, onde ocorre a sua principal zona de descarga, nas falésias situadas junto ao litoral. A análise à piezometria permitiu identificar que o fluxo subterrâneo ocorre predominantemente em direcção a Oeste, onde ocorre a sua principal zona de descarga, nas falésias situadas junto ao litoral.

Considera-se que o padrão de escoamento apresenta um comportamento normal em que os níveis são menores junto a costa e vão em regra geral aumentando em direcção a montante. Adicionalmente, os dados de piezometria sugerem que possa haver uma contribuição significativa para o Rio Mira, facto evidenciado pela diminuição dos níveis piezométricos mais próximos do Rio.

Como era de se esperar os níveis apresentaram valores máximos nos meses húmidos e mínimos nos meses mais secos. Ou seja, conclui-se que o comportamento deste aquífero é influenciado fundamentalmente por fatores naturais externos, especificamente os índices de precipitação.

Os dados hidrogeológicos existentes permitem descrever de maneira satisfatória seu comportamento. Evidenciando que por consequência, tais características existentes devem ser tidas em conta para vir a classificar, catalogar e planificar a área em estudo “Massas de Água Subterrâneas”, uma vez que na conjuntura actual a mesma está formalizada como área vinculada “massas de água subterrânea indiferenciadas” (denominadas Zona Sul Portuguesa da Bacia do Sado e Zona Sul Portuguesa da Bacia do Mira), o que não condiz com suas características próprias.

Soma-se o facto desta área possuir um elevado número de charcos temporários mediterrânicos (habitat prioritário 3170 no Anexo I da “Directiva Comunitária dos Habitats” - Council Directive 92/43/CEE), que são ecossistemas dependentes de água subterrânea e que possuem balanços hídricos dependentes dessas águas, tal informação vem dos dados do estudo LIFE-Charcos , que esteve à disposição para a realização dos trabalhos de campo e laboratórios referidos no presente estudo, tendo os trabalhos realizados permitido constatar que a importância dos recursos hídricos

subterrâneos associados às formações em estudo apresentam uma importância regional muito maior da que até hoje lhes foi atribuída na hidrogeologia de Portugal.

Em relação ao uso de deteção remota, para determinação do volume de rega na área em estudo, foi possível estimar as componentes do balanço de energia e a evapotranspiração real diária e sazonal por meio de deteção remota. Essa estimativa mostrou-se estar coerente, podendo vir a ser uma alternativa de obtenção de novas informações para estudos científicos futuros. A utilização do Algoritmo SEBAL permitiu mapear a ETr e identificar padrões que diferenciam áreas irrigadas das não irrigadas.

A identificação e separação das áreas agrícolas através do espectro de cor e da separação por forma mostrou-se eficaz, quando confrontado com a base cartográfica do Corine Land cover. Esta técnica associada a aplicação do NDVI, permitiu a identificação das áreas agrícolas com maior índice de clorofila (>0.4), que foram classificadas e contabilizadas como áreas agrícolas regadas, vindo a obter uma resposta positiva quanto a confiabilidade na identificações e quantificações destas áreas.

Os valores obtidos de áreas agrícolas regadas foram extremamente heterogêneos e variáveis no espaço de tempo de 18 anos, não obedecendo um padrão de crescimento ou decréscimo, talvez isto possa vir a ser explicado pelo tipo de agricultura que é sazonal ou este comportamento pode está ligado ao processo económico, uma vez que as áreas agrícolas aparentemente diminuíram no período pré-crise económica portuguesa entre os anos de 2010 a 2014, voltando a crescer por volta de 2015 e 2016, porém neste estudo não se pode afirmar isto com exatidão uma vez que seria necessário uma análise mais profunda e de outra natureza. Além disso é possível perceber que no ano de 2006 para a análise inter-anual 2000 a 2018, no sector Sul no período seco, apresenta valores de volume de rega menor que os valores de área agrícola, este padrão de comportamento acaba por se repetir no mês de março, em toda as análise intra-anual 2018, podendo está ligado a alguma produção agrícola específica que acaba por ocupar menores áreas e consumir um maior volume de água para rega, em um determinado período do ano, uma vez que a área possui agriculturas sazonais.

As estimativas dos volumes de regas, através da extrapolação estatística para as análises inter-anual e intra-anual, apresentaram resultados satisfatórios e tal como se

verificou para as áreas agrícolas regadas, o volume de água usado na rega estimado foi variável ao longo dos anos. No entanto, verificou-se uma maior proporção de volume utilizado por área durante o período seco, e nos meses mais quentes. Fortalecendo a ideia comum de que proporcionalmente usa-se mais água para a rega nos períodos secos do que nos húmidos, uma vez que nos períodos húmidos, aproveita-se a abundância de precipitação. A metodologia proposta permitiu estimar o volume do uso de água para rega, com uma alta precisão, com erro apenas de 8%, cujo número poderia vir a ser inferior se o modelo estimasse o volume de água usado na rega dentro das estufas.

O modelo do Balanço Hídrico Sequencial ao Nível do Solo foi calibrado com base na comparação da variável Déficit Hídrico do modelo e do volume de rega obtido a partir do perímetro irrigado do rio Mira. Para tal, faz-se variar o parâmetro de capacidade de campo de forma a que o Déficit Hídrico correspondesse a um valor aproximado do volume de rega. Assim, adoptou-se o valor de 150 (em vez dos inicialmente propostos 75) como capacidade de campo. Os resultados indicaram consistência entre o modelo e as observações consideradas provenientes do perímetro de rega do Mira. O Volume de rega calculado pelo modelo subestimou as observações em 7% para Santiago do Cacém e superestimou apenas 1,5% para Odemira.

Efetuada-se um processo de comparação, entre as metodologias aplicadas na referente pesquisa para determinação do volume de rega, a clássica através do Balanço Hídrico Sequencial, e a via detecção remota, é possível perceber que ambas possuem uma excelente eficácia, permitem estimar o uso de água para irrigação por empreendimentos agrícolas, com eficácia em ambos os casos superiores de 92% de confiabilidade. Adicionalmente, constata-se o facto que após a calibração do parâmetro Capacidade de Campo permitiu que as 3 fontes de dados analisadas, Déficit Hídrico do Balanço Sequencial, Volume de rega através de detecção remota e dados medidos de volume de rega utilizado no perímetro de rega do Mira, apresentam valores bastante próximos entre si, o que valoriza bastante a precisão das metodologias aplicadas

As metodologias aplicadas demonstram serem alternativas de mensuração remota, e estimação que podem tornarem-se viáveis em momentos que não hajam dados ideais e necessários para uma análise do tipo. Estas, portanto, tornam-se uma alternativa sem a necessidade de trabalhos de campo que requerem uma logística de altos custos.

Revisão Bibliográfica

Allen, R. G., Pereira, L., Raes, D., and Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. ISBN 92-5-104219-5. 290 p.

Allen, R., Tasumi, M. and Trezza, R. (2002) SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land)-Advanced Training and User's Manual-Idaho Implementation, Version 1.0.

Allen R. G.; Tasumi, M.; Morse, A; Trezza. R; Wright, J.L; Bastiaanssen, W.; Kramber, W.; Lorite, I.; Robison, C. W. (2007) Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – applications. Journal of Irrigation and Drainage Engineering-Asce, v.133, p.395–406, 2007.

Almeida, C.; Mendonça, J.L.; Jesus, M.R.; Gomes, A.J. (2000) Sistemas Aquíferos de Portugal Continental, Relatório. INAG, Instituto da Água. Lisboa.

ANA –Agência Nacional de Águas (Brasil)- (2013) Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos da Agência Nacional de Águas. Brasília: 2013, 249 p

APA - Agência Portuguesa do Ambiente. (2016). Plano de Gestão de Região Hidrográfica. Parte 2 – Caracterização e Diagnóstico. Região Hidrográfica do Sado e Mira (RH6). 195 pp.

Associação dos Beneficiários do Mira (2019), Aproveitamento Hidroagrícola do Mira, Passado, Presente e Futuro. Desenvolvimento Rural e Planeamento do Território, 6 e 7 de Novembro, Odemira, Portugal.

Bastiaanssen, W.G.M. (2000) SEBAL – based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. Journal of Hydrology, v.229, p.87-100, 2000.

Bastiaanssen, W.G.M.; Menenti, M.; Feddes, R.A.; Holslag, A.A.M.(1998) A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) – 1. Formulation. Journal of Hydrology, v.212, p.198-212, 1998.

Bastiaanssen, W.G.M., Ahmad, M.-u.-D., Chemin, Y (2002) Satellite surveillance of evaporative depletion across the Indus Basin. Water Resources Research 38, 9–1–9–9. <https://doi.org/10.1029/2001WR000386>, 2002

Bastiaanssen W. G. M.; Noordman E. J.M.; Pelgrum H.; Davids G.; Thoreson B. P.; Allen R. G. SEBAL (2005). Model with remotely sensed data to improve water-resources management under actual field conditions. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v. 131, p. 85–93. 2005.

Bernardo, S. Soares, A. A., Mantovani, E. C (2005). Manual de irrigação. 7 ed.Viçosa, MG: Ed. UFV, 611 p. 2005.

CALMIT – Center for Advanced Land Management Information Technologies, (2006), Land Surface Characteristics, University of Nebraska-Lincoln (URL:<http://www.calmit.unl.edu/>).

Castaño, S.; Sanz, D.; Gómez-alday, J. J. (2010). Methodology for quantifying groundwater abstractions for agriculture via remote sensing and GIS. Water Resources Management, v. 24. pp. 795-814.

Cavalcante, L.B., Inácio, A. da S., Barros, H.G., Jiménez, Nicácio, R.M., Coelho, S.M.S. da C., (2016). Cálculo do saldo de radiação pelo algoritmo sebal na porção do baixo-médio São Francisco, Brasil, utilizando um software de código livre. Revista Brasileira de Cartografia 1515–1529.

Chambel, A.; Monteiro, J.P.; Nunes, L.M.; Martins, R.; Duque, J.; Fialho, A. (2010). Hydrogeological study of contamination in the Aquifer System of Sines, South Portugal. XXXVIII IAH Congress “Groundwater quality sustainability”, Krakow, Poland, 12-17 September 2010. pp 2185-21911

Chambel, A. y Monteiro, J.P. (2016) Definição dos ecossistemas dependentes de águas subterrâneas nos planos de bacia do sul de Portugal. Las aguas subterráneas y la planificación hidrológica. Congreso hispano-luso. Comunicaciones libres. AIH-GE. Madrid, noviembre 2016. ISBN: 978-84-938046-5-7. pp213-2020

D'angiolella, G.L.B; Castro Neto M.T.; (1999) Coelho E.F. Balanço Hídrico em Solo de Tabuleiros Costeiros do Recôncavo Baiano; In Revista Bahia Agrícola V.3, N.3, SEAGRI, Set. 1999

Decreto-Lei n.º 152/2017 27, de 7 de dezembro. Diário da República n.º. 235/2017, Série I de 2017-12-07. Ministério do Ambiente, Lisboa. pp 6555 - 6576

Decreto-Lei n.º 236/98, de 7 de março. Diário da República n.º. 176/1998, Série I-A de 1998-08-01. Ministério do Ambiente, Lisboa. pp 3676 - 3722

Direção-geral do território (2019). Cartografia de Uso e Ocupação do Solo. Acedido em 10 de abril de 2019, em https://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/cartografia/cartografia_tematica/cartografia_de_uso_e_ocupacao_do_solo__cos_clc_e_copernicus/

Duarte, H. F.; Dias, N. L.; Maggiotto, S. R (2006). Assessing daytime downward longwave radiation estimates for clear and cloudy skies in Southern Brazil. Agricultural and Forest Meteorology, v. 139, p. 171–181, 2006.

Duffie, J.A. and W.A. Beckman. (1980). “Solar Engineering of Thermal Processes.” John Wiley and Sons, New York, p 1-109.

EEA - Data - Corine land cover (CLC2018) - versão 9/2018. dataservice.eea.europa.eu. Consultado em 7 de Dezembro de 2018

ERHSA – (1996/1999) – Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Alentejo. Projecto financiado pela Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Alentejo.

FAO – Food and Agriculture Organization (2010) - Estudio FAO riego y drenaje, Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Documento 56, ISSN 0254-5293

Farah H. O.; Bastiaanssen W. G. M. (2001). Impact of spatial variations of land surface parameters on regional evaporation: a case study with remote sensing data. *Hydrological Processes* 15: 1585–1607.

Folhes, M.T.; Rennó, C.D.; Soares, J.V. (2009) Remote sensing for irrigation water management in the semi-arid Northeast of Brazil. *Agricultural Water Management*, v.96, p.1398-1408.

Gong, P., PU, R., Biging G. S & Larrieu, M. R. (2003) Estimation of Forest Leaf Area Index Using Vegetation Indices Derived from Hyperion Hyperspectral Data, *IEEE Transactions on Geoscience And Remote Sensing*, 41, 6, June.

Hessels, T., Opstal, J. van, Trambauer, P., Bastiaanssen, W., Smiej, M.F., Mohamed, Y., Er-Raji, A., (2017). pySEBAL_3.3.8.

Huete, A.R., (1988) 'A soil-adjusted vegetation index (SAVI)' *Remote Sensing of Environment*, vol. 25, issue 3, pp. 259-309. DOI: 10.1016/0034-4257(88)90106X

Jensen, J. R. (2009) *Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. 2ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009, 604 p.

Jensen, M. E. (2007) Beyond irrigation efficiency. *Irrigation Science*, v. 25, pp. 233-245.

Kustas, W.P.; Norman, J.M. (1996) Use of remote sensing for evapotranspiration monitoring over land surfaces. *Hydrological Sciences Journal*, v.41, p.495-516, 1996.

Lordêllo Neto A. V. (1988) Evapotranspiração e coeficiente de cultivo (Kc) da cultura do fumo (*Nicotiana tabacum* L.) na região de Cruz das Almas-Bahia. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - Núcleo de Engenharia de Água e Solo.

LANDSAT. National Aeronautics and Space Administration. (2013). Disponível em: <<http://landsat.gsfc.nasa.gov/>>. Acesso em 10 de junho de 2018.

Leão, P. e Morais, A. (2011) MECAR – Methodology to Estimate the Irrigation Water Consumption in Portugal. In: O uso da água na agricultura – 2011 (Leão & Ribeiro, eds), INE, I.P., Lisbon, Portugal.

Leslie, C. R.; Serbina, L. O. e Miller, H. M. (2017) Landsat and Agriculture—Case Studies on the Uses and Benefits of Landsat Imagery in Agricultural Monitoring and Production: U.S. Geological Survey Open-File Report 2017–1108, p. 27. 2017. <https://doi.org/10.3133/ofr20171034>

LIFE Charcos (1997) Projeto LIFE+ "Conservação de Charcos Temporários na Costa Sudoeste de Portugal" (LIFE12NAT/PT/997)

Monteiro, J. P.; Chambel, A.; Martins, J. (2008) Conceptual and Numerical Flow Model of the Sines Aquifer System (Alentejo, South Portugal). International Groundwater Symposium. International Association of Hydraulic Engineering and Research (IAHR). Istanbul-Turkey. p.38 (abstract) and doc. elect. CD-Rom 9pp

Monteiro, J.P.; Costa, L.; Hugman, R.; (2019) Caracterização Geológica das Areias, Arenitos e Cascalheiras do Litoral Alentejano. 12º Seminário de Águas Subterrâneas, Coimbra 7 e 8 de março de 2019; Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos APRH. ISBN: 978-989-8509-22-2. pp 116-119 (versão impressa) e pp 124-127 (versão digital)

Monteiro, J.P.; Hugman, R.; Costa, L.; Salvador, N. (2017) Controlo Hidrogeológico de Charcos Temporários Mediterrânicos - Ecossistemas Dependentes De Águas Subterrâneas na Costa Vicentina. 11.º Seminário sobre Águas Subterrâneas. Porto, 2 e

3 de março de 2017. ISEP. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos APRH. pp 103-106

Moreira, R. C. (2000) Influência do posicionamento e da largura de bandas de sensores remotos e dos efeitos atmosféricos na determinação de índices de vegetação. São José dos Campos, SP: INPE, 2000. 181p. Dissertação (Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000.

Nicolau, M. R. C. (2002). Modelação e Mapeamento da Distribuição Espacial de Precipitação - Uma Aplicação a Portugal Continental. Tese de doutoramento, Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia.

Neteler, M., Bowman, M.H., Landa, M., Metz, M., (2012). GRASS GIS: a multi-purpose Open Source GIS. *Environmental Modelling & Software* 31, 124–130. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.11.014>

Oliveira, J.T., Pereira, E., Ramalho, M., Antunes, M.T. & Monteiro, J.H., Coords., (1992). Carta Geológica de Portugal, Escala 1: 500 000, 5.^a Ed., 2 Folhas. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa

Pereira, J.L.G. ; Batista , G.T. ; Roberts D. (1996). Reflectância de Coberturas Vegetais. In Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, Brasil, 14-19 abril 1996, INPE, p. 551-556.

Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E. (2010) Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação. São José dos Campos: Parêntese.

Rossum, G. van, (1995). Python tutorial (No. CS-R9526). Centrum voor Wiskunde en Informatica (CWI), Amsterdam.

Sado, R.R.; Warren , M.S. , Roig, H.L. (2017). Estimativa de irrigação por meio de sensoriamento remoto na bacia hidrográfica do Rio São Marcos. In *Revista Brasileira de Cartografia* vol. 70, n. 3, julho/setembro, 2018. pp. 787-802.

Salvador, N.; Monteiro, J.P.; Silva, M.M.; Carvalho, M.R. (2016) Hydrochemistry of Mediterranean Temporary Ponds and associated groundwater in SW Portugal. *Procedia Earth and Planetary Science*. Elsevier. 15th Water-Rock Interaction International Symposium, WRI-15. 4pp

Salvador, N. y Monteiro, J.P. (2016) Caracterização de charcos temporários mediterrânicos como ecossistemas dependentes de águas subterrâneas na costa oeste do Alentejo. *Las aguas subterráneas y la planificación hidrológica*. Congreso hispano-luso. Comunicaciones libres. AIH-GE. Madrid, noviembre 2016. ISBN: 978-84-938046-5-7. pp205-2011

Salvador, N.; Monteiro, J.P.; Nunes, L.M. (2015) Contexto Hidrológico/Hidrogeológico da ocorrência de Charcos Temporários Mediterrânicos na Costa Sudoeste de Portugal. 10.º Seminário de Águas Subterrâneas, Évora, pp 81-84.

Salvador, N.; Stigter, T; Monteiro, J.P.; Hugman; R.; Duarte, D. (2013). Quantificação e Modelação das Relações Rio-Aquífero no Sistema Aquífero de Sines. Uma Contribuição para a Avaliação do Estado da Lagoa de Santo André. Associação Portuguesa de recursos Hídricos (APRH). 9º Seminário sobre Águas Subterrâneas. Campus de Caparica, 7 e 8 de março de 2013, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Santos, T.V. dos; Fontana, D.C.; Alves, R.C.M (2010). Avaliação de fluxos de calor e evapotranspiração pelo modelo SEBAL com uso de dados do sensor ASTER. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.45, p.488-496, 2010.

Schowengerdt, R.A. (1997). *Remote Sensing, Second Edition: Models and Methods for Image Processing*. Academic Press; 2 edition (1997-06-30) (1656)

Scherer-Warren, M. (2013), Estimativa de Evapotranspiração Real por sensoriamento remoto : Procedimento e Aplicação em Pivô central – *Boletim de Pesquisa e*

Desenvolvimento – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Cerrado – Brasília – DF – Brasil.

Short, N. M. (2007), Remote Sensing Tutorial, Vegetation Applications: Agriculture, Forestry and Ecology, General Principles for Recognizing Vegetation, National Aeronautics and Space Administration – NASA

Sobrinho, J.A.; Gómez, M.; Jiménez-moñoz, J.C.; Oliso, A.; Chehbouni, G. A (2005). simple algorithm to estimate evapotranspiration from DAIS data: application to the DAISEX campaigns. Journal of Hydrology, v.315, p.117-125, 2005.

SILVA, B. B.; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C.; Oliveira, L. M. M.; GALVÍNCIO, J. D.; Montenegro, S. M. G. L. (2012). Evapotranspiração e estimativa da água consumida em perímetro irrigado do semiárido brasileiro por sensoriamento remoto. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, v. 47, p. 1218-1226.

Silva, B.B.; Silva, V.P.R.; Montenegro, S.M.G.L.; Rocha, H.R.; Oliveira, L.M.M. (2015). Determination of instantaneous and daily net radiation from TM - Landsat 5 data in a subtropical watershed. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. v. 135, p. 42-49, 2015

Silva, B. B.; Wilcox, B. P.; Silva, V. D. P. R.; Montenegro, S. M. G. L.; OLIVEIRA, L. M. M. (2014) Changes to the energy budget and evapotranspiration following conversion of tropical savannas to agricultural lands in São Paulo State, Brazil. Ecohydrology, v.8, n.7, p.1272–1283, 2014.

Silveira, P. M. da; Stone, L. F. (1994) Irrigação do feijoeiro por aspersão. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.17, n.178, p.28-34, 1994.

USGS- United States Geological Survey (2018), User Guide to collection MODIS, Vol.6, 2018. Disponível em:
lpdaac.usgs.gov/documents/101/MCD12_User_Guide_V6.pdf Acessado em 20 de Novembro de 2019

Warren, M.S., Rodrigues, L.N. (2013). Estimativa de Evapotranspiração Real por Sensoriamento Remoto: Procedimento e Aplicação em Pivô Central in Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 312, *EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA*, ISSN 1676-918X pp 34.

Wolff,W.(2016), wwolff7/SEBAL_GRASS.2016. Disponível em:
<https://doi.org/10.5281/zenodo.16730>, Acessado em 17 de Junho de 2019

ANEXOS:

ANEXO 1:

Imagens LANDSAT 5 E 8 - TM e OLI/TIRS

Satélite Landsat 5 com Sensor Thematic Mapper (TM), e imagens do satélite Landsat 8, sensores Operational Land Imager and Thermal Infrared Sensor - OLI/TIRS. Segue a descrição das bandas do Thematic Mapper (TM) do Landsat 5 e as informações inerentes às bandas dos sensores Operational Land Imager and Thermal Infrared Sensor (OLI /TIRS) nas Tabelas abaixo.

Descrição das bandas do TM do Landsat 5, com os correspondentes intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera ($K\lambda, b$)- Fonte LANDSAT

Sensor	Nº de bandas	Nomes de bandas	Comprimento de ondas (μm)	Resolução (m)	Irradiância espectral ($K\lambda, b$)	Aplicações de banda
TM	1	Azul visível	0,452 – 0,518	30	1983	Mapeamento batimétrico, distinguindo solo de vegetação e decídua de vegetação de coníferas
TM	2	Verde visível	0,528 – 0,609	30	1796	Enfatiza a vegetação de pico, que é útil para avaliar o vigor das plantas
TM	3	Vermelho visível	0,626 – 0,693	30	1536	Discrimina as encostas da vegetação
TM	4	Infra vermelho próximo	0,776 – 0,904	30	1031	Enfatiza o conteúdo de biomassa e linhas costeiras
TM	5	Infra vermelho médio	1,567 – 1,784	30	220,0	Discrimina o teor de umidade do solo e da vegetação; penetra nuvens finas
TM	6	Infra vermelho térmico	10,45 – 12,42	120	-	Mapeamento térmico e umidade estimada do solo
TM	7	Infra vermelho distante	2,097 – 2,349	30	83.44	Rochas hidrotermicamente alteradas associadas a depósitos minerais

Descrição das bandas do OLI e do TIRS do Landsat 8, com os correspondentes intervalos de comprimento de onda – Fonte: LANDSAT

Sensor	Nº de bandas	Nomes de bandas	Comprimento de ondas (µm)	Resolução (m)
OLI	1	Azul	0,43 – 0,45	30
OLI	2	Azul	0,45 – 0,51	30
OLI	3	Verde	0,53 – 0,59	30
OLI	4	Vermelho	0,64 – 0,67	30
OLI	5	Infra Vermelho Proximo	0,85 – 0,88	30
OLI	6	Infra Vermelho médio 1	1,57 – 1,65	30
OLI	7	Infra Vermelho médio 2	2,11 – 2,29	30
OLI	8	Pancromática	0,50 – 0,68	15
OLI	9	Cirrus	1,36 – 1,38	30
TIRS	10	Infra Vermelho Térmico 1	10,60 – 11,19	100
TIRS	11	Infra Vermelho Térmico 2	11,50 – 12,51	100

ANEXO 2:

Surface Energy Balance Algorithm for Land – SEBAL

O SEBAL gera o cálculo da evapotranspiração com base na obtenção do balanço de energia a partir da combinação de dados multiespectrais, provenientes de imagens de satélites, combinados com dados obtidos através de uma estação meteorológica, como temperatura do ar, pressão atmosférica, umidade relativa e velocidade do vento.

Neste trabalho foram utilizados dados das estações meteorológicas como dados auxiliares no algoritmo. Como já exposto anteriormente o procedimento passa pelo cálculo do fluxo de calor latente (LE) que é obtido como produto da subtração entre o saldo de radiação (Rn), fluxo de calor no solo (G) e o fluxo de calor sensível (H).

$$LE = Rn - G - H$$

A obtenção do fluxo de calor latente (LE), permite estimar da evapotranspiração real. Para isso, é necessário primeiramente ter às estimativas do saldo da radiação, o fluxo de calor no solo, o fluxo de calor sensível dos sensores TM, OLI/TIRS.

Para estes resultados é preciso seguir determinados passos:

- Calibração Radiométrica
- Reflectância Monocromática
- Coeficiente de reflexão
- Índice de Vegetações
- Emissividade da Superfície
- Temperatura da Superfície
- Fluxo de Calor
- Saldo da Radiação
- Fluxo de Calor Sensível
- Evapotranspiração

A partir destes obtém-se o saldo da radiação, que irá permitir calcular a evapotranspiração real diária, sendo possível assim estimar a evapotranspiração real sazonal e o volume de água empregado nas irrigações.

Os procedimentos foram realizados segundo a mesma metodologia empregada nas cenas do TM e do OLI/TIRS, uma vez que independem das características ímpares de cada sensor.

Calibração Radiométrica Espectral

A correção radiométrica é utilizada para eliminação dos efeitos de interferências da atmosfera e da topografia, quando não de calibração dos sensores, sobre nos níveis digitais, tornando possível aproximar estes dados de características biofísicas dos alvos em superfície. Por razões naturais a engenharia de satélites óticos favorece aplicações sobre superfícies planas (Schowengerdt, 1997). Esta correção, só foi efetuada para imagens do Landsat 5, uma vez que as do Landsat 8, não são necessárias.

A correção radiométrica para cada banda (L_λ) é calculado usando a seguinte equação dada para o Landsat 5:

$$L_{\lambda} = (LMAX - LMIN / QCALMAX - QCALMIN) \times (DN - QCALMIN) + LMIN$$

Onde; DN é o número digital de cada pixel, LMAX e LMIN são constantes de calibração, QCALMAX e QCALMIN são a faixa de valores mais alta e mais baixa para o brilho reescalado em DN. As unidades para L_{λ} são $W / m^2 / sr / \mu m$. Para o Landsat 5, QCALMAX = 255 e QCALMIN = 0

$$L_{\lambda} = (LMAX - LMIN / 255) \times DN + LMIN$$

Os valores de cada LMAX e LMIN, e os valores de DN, são obtidos no metadados da imagem. Todo esse processo foi realizado de maneira semiautomática para cada imagem do Satélite Landsat 5, no software Qgis, através do plugin semi-automatic classification.

Reflectância Monocromática

A reflectância é que possibilita um melhor monitoramento do comportamento de uma determinada cobertura, uma vez que mudanças na sua resposta espectral estariam relacionadas somente às mudanças nas propriedades estruturais/espectrais da cobertura e não às mudanças no ângulo de iluminação solar ou variações dos sensores (degradação) (Pereira et al., 1996). De acordo com Moreira (2000), empregam-se mais comumente valores de reflectância, devido às dificuldades em interpretar e obter os resultados das medidas calibradas com valores de saída, número digital e radiância. A reflectância é o passo inicial para a determinação de outros índices biofísicos. Este processo, só foi efetuado para ambas imagens do Landsat 5 e 8.

A refletividade (ρ_{λ}) de uma superfície é definida como a razão entre o fluxo de radiação refletido e o fluxo de radiação incidente. É calculado usando a seguinte equação dada para imagens do Landsat:

$$\rho_{\lambda} = (\pi \times L_{\lambda}) / (ESUN_{\lambda} \times \cos \theta \times d_r)$$

Onde; L_{λ} é a radiação espectral para cada banda calculadas através da Calibração Radiométrica Espectral (Passo 1), $ESUN_{\lambda}$ é a irradiância exo-atmosférica solar média para cada banda ($W / m^2 / \mu m$), $\cos \theta$ é o cosseno do ângulo de incidência

solar (do nadir) e d_r é a distância inversa entre o quadrado da terra e o sol. Os valores para $ESUN_\lambda$ são obtidos no metadados da imagem. O cosseno θ é calculado usando os dados do arquivo de cabeçalho no ângulo de elevação do sol (β) em que $\theta = (900 - \beta)$, cujo valor deste ângulo também se encontra nos metadados. O termo d_r é definido como $1 / de-s^2$, em que $de-s$ é a distância relativa entre a terra e o sol em unidades astronômicas. d_r é calculado usando a seguinte equação de Duffie e Beckman (1980), também apresentada no artigo da FAO 56: Evapotranspiração de culturas (Allen et al., 1998):

$$d_r = 1 + .0.033 \cos (DOY \times 2\pi / 365)$$

Onde; DOY é o dia seqüencial do ano (contido no metadados), e o ângulo ($DOY \times 2\pi / 365$) é em radianos. Os valores para d_r variam de 0,97 a 1,03 e não têm dimensão. Todo esse processo foi realizado de maneira semiautomática para cada imagem do Satélite Landsat 5 e 8, no software Qgis, através do plugin semi-automatic classification.

Coeficiente de reflexão

O coeficiente de reflexão é a refletividade difusa ou poder de reflexão de uma superfície. É a razão entre a radiação refletida pela superfície e a radiação incidente sobre ela. Sua natureza adimensional permite que seja expresso como uma porcentagem, sendo medido numa escala que vai de zero, para nenhuma reflexão por uma superfície perfeitamente negra, até 1, para uma reflexão perfeita, por uma superfície branca. O coeficiente de reflexão depende da frequência da radiação. Quando citada sem qualificação, ele geralmente se refere a uma média ao longo do espectro de luz visível. Em geral, depende da distribuição direcional da radiação incidente, com exceção de superfícies.

Para o computo do SEBAL, o Coeficiente de reflexão possui dois passos, o coeficiente de reflexão para atmosfera (passo 3) e o da superfície (passo 4).

Coeficiente de reflexão para Atmosfera

O coeficiente de reflexão no topo da atmosfera (α_{toa}) não é ajustado para a transmissividade atmosférica e é calculado da seguinte forma:

$$\alpha_{toa} = \sum (\omega_{\lambda} \times \rho_{\lambda})$$

Onde; ρ_{λ} é a refletividade calculada no passo 2 e ω_{λ} é um coeficiente de ponderação para cada banda calculada da seguinte forma:

$$\omega_{\lambda} = ESUN_{\lambda} / \sum ESUN_{\lambda}$$

Para concluir esta etapa, os valores para ω_{λ} são inseridos na tabela do script com um valor fictício de zero para a banda 6 do Landsat 5 (termal) e as Bandas 10 para o Landsat 8.

Coeficiente de Reflexão da Superfície

O coeficiente de reflexão da superfície é calculado corrigindo o α_{toa} para a transmissividade atmosférica:

$$\alpha = (\alpha_{toa} - \alpha_{path_radiance}) / (T_{sw})^2$$

Onde; $\alpha_{path_radiance}$ é a porção média da radiação solar recebida em todas as bandas que é espalhada pelo satélite antes de atingir a superfície terrestre e T_{sw} é a transmissividade atmosférica.

Os valores para a radiância de α_{path} variam entre 0,025 e 0,04 e para o SEBAL, recomenda-se um valor de 0,03 com base em Bastiaanssen (2000). A transmissividade atmosférica é definida como a fração da radiação incidente que é transmitida pela atmosfera e representa os efeitos da absorção e reflexão que ocorrem na atmosfera. Esse efeito ocorre na radiação de entrada e na radiação de saída e, portanto, é elevado ao quadrado. T_{sw} inclui a transmissividade da radiação direta do feixe solar e da radiação difusa (dispersa) na superfície. Calculou-se T_{sw} assumindo céu claro e condições relativamente secas usando uma relação de elevação da FAO-56:

$$T_{sw} = 0,75 + 2 \times 10^{-5} \times z$$

Onde; z é a altitude acima do nível do mar (m). Essa elevação deve representar melhor a área de interesse, no caso adquirido por meio das imagens SRTM.

Índices de Vegetação

Os Índices de Vegetação, são modelos matemáticos desenvolvidos para avaliar a cobertura vegetal e diagnosticar índice de área foliar, biomassa, porcentagem de cobertura do solo, atividade fotossintética e produtividade; e têm sido utilizados com sucesso para o monitoramento de mudanças na vegetação em escala continental, regional e global. Dentro do modelo SEBAL, faz-se uso de três destes índices. O NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), O SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) e o LAI (Leaf Area Index).

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

O NDVI é uma medida do estado da saúde das plantas com base em como a planta reflete a luz em determinadas frequências (algumas ondas são absorvidas e outras são refletidas).

A clorofila (um indicador de saúde) absorve fortemente a luz visível, e a estrutura celular das folhas reflete fortemente a luz infravermelha. Quando a planta fica desidratada, doente, afetada por doenças, etc., a camada esponjosa se deteriora e a planta absorve mais luz infravermelha próxima, em vez de refleti-la. Assim, observar como o Infravermelho Próximo muda em comparação com a luz vermelha fornece uma indicação precisa da presença de clorofila, que se correlaciona com a saúde das plantas.

O NDVI é a razão entre as diferenças de refletividade e a faixa do infravermelho próximo (ρ_4) e a faixa vermelha (ρ_3) em relação à sua soma:

$$\text{NDVI} = (\rho_4 - \rho_3) / (\rho_4 + \rho_3)$$

Onde; ρ_4 e ρ_3 são refletividades para as bandas 4 e 3 para o Landsat 5, e 5 e 4 para o Landsat 8. O NDVI é um indicador sensível da quantidade e condição da vegetação verde. Os valores para NDVI variam entre -1 e +1. As superfícies verdes têm um NDVI entre 0 e 1 e a água e as nuvens são geralmente menores que zero.

Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)

O SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) desenvolvido por Huete (1988) foi proposto devido às limitações observadas no Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI). Desenvolveu-se então um índice que pudesse melhorar os valores de NDVI sem necessidades de medições em campo, aponta Jensen (2009). Para tanto, foi proposto um índice melhorado a partir de uma constante, determinada “L”, para o fator de ajuste com o substrato do dossel. Criou-se, portanto o SAVI que busca amenizar os efeitos do “background” do solo. A constante L pode apresentar valores variáveis de 0 a 1, variando segundo a própria cobertura vegetal. De acordo com Huete (1988) os valores ótimos de L são:

L = 1 (para baixas densidades de vegetação);

L = 0,5 (para médias densidades de vegetação);

L = 0,25 (para altas densidades de vegetação).

O Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) é obtido pela multiplicação de 1 + L pela razão entre a diferença da reflectância do infravermelho próximo (NIR) pela reflectância do vermelho (R), dividida, respectivamente, pela soma das mesmas + “L”. Para este índice, Huete (1988) propôs a expressão:

$$SAVI = (1+L) \times (NIR - R) / (NIR + R + L)$$

Segundo Huete (1988), em geral o fator L = 0,5 é mais utilizado, uma vez que agrupa maior variação de vegetação. Contudo, o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) limita-se em função dos diferentes biomas e situações de uso e ocupação, uma vez que os valores da constante são generalizados, não considerando as características dos ambientes analisados, mas apenas a densidade vegetada aponta Ponzoni, Shimabukuro (2009).

Leaf Area Index (LAI)

O LAI é a área de folhas por unidade de área de solo. É um factor que indica quantas (Leaf Area Index) superfícies de folhas (fotossinteticamente activas) existem numa coluna desde o solo, sob o diâmetro da vegetação, até ao cimo da vegetação (Calmit, 2006). Gong, et al. (2003) e Short (2007) definem o LAI como a área de um dos lados de todas as folhas na vegetação de determinada região (m^2/m^2), ou seja, o rácio de metade da área total das folhas na vegetação para a área total de superfície que contém essa vegetação. Se todas as folhas fossem removidas de um coberto vegetal e dispostas no solo, a sua área combinada relativa à área do solo projectada sob o coberto, daria um valor maior que 1 e normalmente menor que 10 (Short, 2007).

O LAI é calculado usando a seguinte equação empírica:

$$LAI = - \ln ((0,69 \times SAVI) / 0,59) / 0,91$$

Emissividade da Superfície

A emissividade da superfície de um material é sua eficácia na emissão de energia como radiação térmica. A radiação térmica é radiação eletromagnética e pode incluir radiação visível (luz) e radiação infravermelha, que não é visível aos olhos humanos. A radiação térmica de objetos muito quentes é facilmente visível aos olhos. Quantitativamente, a emissividade é a razão entre a radiação térmica de uma superfície e a radiação de uma superfície preta ideal na mesma temperatura, conforme determinado pela lei de Stefan-Boltzmann. A proporção varia de 0 a 1. A superfície de um corpo preto perfeito (com uma emissividade de 1) emite radiação térmica a uma taxa de aproximadamente 448 watts por metro quadrado à temperatura ambiente (25 ° C, 298,15 K); todos os objetos reais têm emissividades inferiores a 1,0 e emitem radiação a taxas correspondentemente mais baixas.

Como já mencionado anteriormente, a Emissividade superficial (ϵ) é a razão entre a energia térmica irradiada pela superfície e a energia térmica irradiada por um corpo negro na mesma temperatura. Duas emissividades de superfície são usadas no SEBAL. A primeira é uma emissividade que representa o comportamento da superfície para emissão térmica na faixa relativamente estreita 6 do Landsat 5, 10 e 11 do Landsat 8

(10,4 a 12,5 μm), expressa como ϵ_{NB} . A segunda é uma emissividade que representa o comportamento da superfície para emissão térmica no amplo espectro térmico (6 a 14 μm), expresso como ϵ_0 . ϵ_{NB} é usado no cálculo da temperatura da superfície (T_s) e ϵ_0 é usado posteriormente para calcular a emissão total de radiação de ondas longas da superfície.

As emissividades de superfície são calculadas usando as seguintes equações empíricas, onde $\text{NDVI} > 0$

$$\epsilon_{\text{NB}} = 0,97 + 0,0033 \text{ IAF}; \text{ para IAF} < 3$$

$$\epsilon_0 = 0,95 + 0,01 \text{ IAF}; \text{ para IAF} < 3$$

$$\text{e } \epsilon_{\text{NB}} = 0,98 \text{ e } \epsilon_0 = 0,98 \text{ quando IAF} \geq 3.$$

Para água e nuvem, foram usados "filtros" no modelo para definir o valor de ϵ_{NB} e ϵ_0 :

- Para água; $\text{NDVI} < 0$ e $\alpha < 0,47$, $\epsilon_{\text{NB}} = 0,99$ e $\epsilon_0 = 0,985$
- para nuvem; $\text{NDVI} < 0$ e $\alpha \geq 0,47$, $\epsilon_{\text{NB}} = 0,99$ e $\epsilon_0 = 0,985$

Temperatura da Superfície

Este passo específico, mensura o valor da temperatura de um determinado ponto da superfície. Do ponto de vista de um satélite, a "superfície" é o que se vê quando olha através da atmosfera para o solo. Pode ser neve e gelo, a grama, o telhado de um prédio ou as folhas no dossel de uma floresta.

O monitoramento da temperatura da superfície terrestre mensura o calor que se eleva das paisagens da Terra, que influencia (e é influenciado por) os padrões climáticos.

A temperatura da superfície (T_s) é calculada usando a seguinte equação de Planck :

$$T_s = K_2 / \ln ((\epsilon_{\text{NB}} \times K_1 / R_c) + 1)$$

Onde; R_c é o brilho térmico corrigido da superfície usando o valor da banda 6 para o Landsat 5, 10 e 11 do Landsat 8. K_1 e K_2 são constantes para imagens do Landsat (contidas no metadados).

Radiação de Onda Longa Emitida

A radiação emitida por um corpo tem comprimento de onda inversamente proporcional à sua temperatura, como todos os materiais sobre a Terra possuem uma temperatura mais baixa que a do Sol, a radiação emitida por eles tem comprimentos de ondas maiores que a da radiação solar global.

A radiação de onda longa emitida pela superfície (R_{emi}) é obtida através da equação de Stefan-Boltzmann:

$$R, emi = \epsilon_0 \times \sigma \times T_s^4$$

sendo que ϵ_0 é a emissividade de cada pixel, σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$) e T_s é a temperatura da superfície (K).

Radiação de Onda Curta Incidente

A radiação de ondas curtas recebida é o fluxo direto e difuso de radiação solar que realmente atinge a superfície da Terra (W / m^2). É calculado, assumindo condições de céu limpo, como uma constante para o tempo da imagem usando:

$$R_s = G_{sc} \times \cos \theta \times d_r \times T_{sw}$$

Onde; G_{sc} é a constante solar ($1367 \text{ W} / \text{m}^2$), $\cos \theta$ é o cosseno do ângulo de incidência solar, d_r é a distância inversa ao quadrado da relação terra-sol e T_{sw} é a transmissividade atmosférica. Os valores para R_s podem variar de 200 a 1000 W / m^2 , dependendo da hora e do local da imagem

Radiação de Onda Longa Incidente

A radiação de onda longa incidente emitida pela atmosfera na direção da superfície (R_{atm}), pode ser computada pela equação de Stefan-Boltzmann:

$$R_{atm} = \varepsilon a \times \sigma \times Ta^4$$

em que a ε é a emissividade atmosférica obtida por:

$\varepsilon a = 0,625 \cdot (e_a / Ta)^{0,131}$ (Duarte et al.,2006), e_a é a pressão de vapor (Pa), σ é a constante de Stefan-Boltzmann e Ta é a temperatura do ar à superfície (K). A fórmula para estimativa da εa proposta por Duarte et al. (2006) foi utilizada, pois segundo Silva et al. (2015) é atualmente a mais acurada para estimativa da R_{atm} .

Balço de Radiação Na Superfície

O fluxo líquido de radiação (R_n) é a quantidade líquida de energia radiante disponível na superfície para aquecer o solo, aquecer o ar ou evaporar a umidade do solo. O balanço de radiação à superfície (R_n) é computado através do saldo de onda curta e onda longa, que em sumo, são funções da radiância espectral, refletividade e emissividades da superfície. Utilizou-se a seguinte equação (Silva et al. 2014):

$$R_n = (1 - \alpha) R_{s,inst} - R_{emi} + \varepsilon_0 R_{atm}$$

onde α é o coeficiente de reflexão da superfície, $R_{s,inst}$ ($W \cdot m^{-2}$) é a radiação de onda curta incidente, R_{emi} ($W \cdot m^{-2}$) é a radiação de onda longa emitida por cada pixel, ε_0 é a emissividade da superfície e R_{atm} ($W \cdot m^{-2}$) é a radiação de onda longa emitida pela atmosfera na direção da superfície. Todos já estabelecidos nos passos anteriores.

A segunda etapa do procedimento SEBAL é calcular os termos G e H da equação do orçamento de energia da superfície. Isto está escrito como a equação do orçamento de energia de superfície:

$$R_n = G + H + \lambda ET$$

Onde; R_n é a radiação líquida na superfície (W / m^2), G é o fluxo de calor do solo (W / m^2), H é o fluxo de calor sensível ao ar (W / m^2) e λET é o fluxo de calor latente (W / m^2).

Fluxo de Calor no Solo

A densidade do fluxo de calor no solo $-G$ (Wm^{-2}), O fluxo de calor do solo é a taxa de armazenamento de calor no solo e na vegetação., pode ser obtida segundo equação empírica desenvolvida por Bastiaanssen (2000), que representa valores próximos ao meio-dia:

$$G = [Ts(0,0038 + 0,0074 \cdot \alpha) \cdot (1 - 0,98 \cdot NDVI^4)]Rn$$

Onde; T_s é a temperatura da superfície ($^{\circ}C$), α é o coeficiente de reflexão da superfície e NDVI é o Índice de Vegetação por Diferenças Normalizadas, G é então calculado prontamente multiplicando G / R_n pelo valor de R_n

Este valor de G , foi usado em conjunto com o mapa de uso da terra para identificar os vários tipos de superfície. A equação prevê G medido para culturas irrigadas com bastante precisão (R. Allen, M.Tasumi e R.Trezza 2002).

Nas aplicações da SEBAL, os valores de G / R_n para água são atribuídos da seguinte forma, representando valores perto do meio dia:

- Se $NDVI < 0$; suponha que a superfície seja água; $G / R_n = 0,5$

A estimativa de G / R_n para lagos profundos e claros é complexa. Pode ser grande no início do verão, quando o lago estiver mais frio que o ar e menor no outono, quando o lago estiver mais quente. Quaisquer massas de água significativas na área de interesse devem ser sinalizadas e o Razão / N cuidadosamente analisado. G / R_n para massas de água turva ou rasa será menor que 0,5 devido à absorção da radiação de ondas curtas mais próxima da superfície da água.

Basicamente as estimativas de G / R_n para várias superfícies são essas:

- Água profunda e clara 0,5
- Nuvem 0,5
- Areia 0.2 - 0.4
- Agricultura 0,05 - 0,15

- Solo nu 0,2 - 0,4
- Grama 0.04
- Rocha 0.2 - 0.6

Fluxo de Calor Sensível

O fluxo de calor sensível é a taxa de perda de calor no ar por convecção e condução, devido a uma diferença de temperatura.

No cálculo da densidade do fluxo de calor sensível (H) foi utilizada a equação aerodinâmica (Farah e Bastiaanssen, 2001) Assume-se a condição de estabilidade neutra para a atmosfera para calcular H a partir da seguinte equação:

$$H = (\rho \times c_p \times dT) / r_{ah}$$

Onde; ρ é a densidade do ar (kg / m^3), c_p é o calor específico do ar ($1004 \text{ J} / \text{kg} / \text{K}$), dT (K) é a diferença de temperatura ($T_1 - T_2$) entre duas alturas (z_1 e z_2) e r_{ah} é a resistência aerodinâmica ao transporte de calor (s / m).

O fluxo de calor sensível (H) é uma função do gradiente de temperatura, rugosidade da superfície e velocidade do vento. A equação anterior é difícil de resolver porque existem duas incógnitas, r_{ah} e dT . Para facilitar esse cálculo, utilizou-se os dois pixels “âncora” (onde valores confiáveis para H podem ser previstos e um dT estimado) e a velocidade do vento em uma determinada altura.

Para calcular o r_{ah} , é necessário obter a velocidade de fricção do vento para cada pixel, como se observa na Equação anterior (Allen et al., 2007; Bastiaanssen et al., 2005):

$$r_{ah} = \ln (Z_1 - Z_2) / (u^* \times K)$$

sendo que Z_2 e Z_1 são as alturas 2,0 m e 0,1 m acima da superfície, u^* é a velocidade de fricção e k é a constante de von Karman (0,41).

O processo para obtenção da velocidade de fricção em cada pixel, parte do cálculo dessa velocidade no nível e no alcance da estação meteorológica da área de estudo:

$$u^* = K u_z / \ln (Z / Z_{0mw})$$

onde a velocidade do vento (u_z) (ms^{-1}) é medida numa estação meteorológica dentro da área de estudo, Z representa a altura da medição e Z_{0mw} é o coeficiente de rugosidade ao transporte de momento no ponto de medição ($Z_{0mw} = 0,12h$, em que h é a altura da vegetação também no ponto de medição)

Supõe-se que há uma altura na qual os efeitos da rugosidade da superfície são desprezíveis, conhecida como blending height, e portanto, a velocidade do vento a essa altura (u_{200}) pode ser considerada constante na área de estudo e calculada pela expressão:

$$u_{200} = u_* \times \ln(200 / Z_{0mw}) / k$$

Dado este pressuposto, a velocidade de fricção (u_*) em cada pixel pode ser determinada da seguinte forma (Bastiaanssen et al., 2005; Allen et al., 2007:):

$$u_* = k u_{200} / \ln(200 / Z_{0m})$$

em que Z_{0m} (m) é determinado pixel a pixel com base no SAVI, de acordo com Bastiaanssen (2000). Uma vez obtido u_* , o próximo passo é a determinação de r_{ah} . Para calcular dT (diferença de temperatura próxima da superfície), uma relação linear entre T_s e dT deve ser determinada (isto é, $dT = a + b T_s$), que pode ser realizada supondo que para o pixel âncora quente, $LE = 0$ e para o pixel âncora frio, $H = 0$ (Bastiaanssen et al., 1998). De acordo com a equação do balanço energético, dT no pixel quente é determinado da seguinte forma:

$$dT_{hot} = (Rn - G) \times r_{ah, hot} / \rho \times C_P = a + b T_{s, hot}$$

sendo que Rn , G , $r_{ah, hot}$ e $T_{s, hot}$ são o saldo de radiação instantâneo (Wm^{-2}), a densidade do fluxo de calor do solo (Wm^{-2}), a resistência aerodinâmica ao transporte de calor (sm^{-1}) e a temperatura da superfície terrestre $^{\circ}\text{C}$), respectivamente, no pixel quente. No pixel frio, dT é determinado como se segue:

$$dT_{cold} = 0 = a + b \cdot T_{s, cold}$$

onde $T_{s,cold}$ é a temperatura da superfície terrestre ($^{\circ}C$) no pixel frio. Em seguida, a e b podem então ser obtidos ao se resolver o sistema formado pelas equações para obtenção dos pixels frios e dos pixels quentes e H pode ser calculado para cada pixel da área selecionada, pois $dT = a + b T_s$. No entanto, este método propõe o cálculo de H mediante uma condição inicial de estabilidade neutra.

Usando um procedimento iterativo, foi identificada a condição de estabilidade a partir do comprimento de Monin-Obukhov (L) (Bastiaanssen et al., 1998). Quando $L < 0$, a camada limite inferior atmosférica é instável, e quando $L > 0$, a camada limite atmosférica inferior é estável. Seguindo o procedimento iterativo, um valor corrigido para u_* é calculado da seguinte forma (Allen et al., 2007; Bastiaanssen et al., 2005):

$$u_* = u_{200} \times k / \ln(200 / Z_{0m}) - \Psi_m(200m)$$

em que $\Psi_m(200m)$ é a correção de estabilidade para o transporte de momento a 200 m. O próximo passo é o cálculo de um valor corrigido para r_{ah} :

$$r_{ah} = \ln(Z_2 Z_1) - \Psi_h(Z_2) + \Psi_h(Z_1) / u_* k$$

sendo que $\Psi_h(z_2)$ e $\Psi_h(z_1)$ são as correções de estabilidade para o transporte de calor nas alturas Z_2 e Z_1 (Bastiaanssen et al., 2005).

O procedimento iterativo estabiliza quando a diferença entre os dois últimos valores de r_{ah} é menor que 0,01. Apesar da metodologia contemplar apenas dias de céu claro (por diversos fatores que prejudicam o cálculo das variáveis biofísicas da superfície, como a radiação do topo das nuvens, efeitos de sombra e instabilidade atmosférica na camada limite planetária), o método proporciona o cálculo das variáveis em ampla escala, com grau de detalhamento a depender da resolução do sensor.

Fluxo de Calor Latente

O fluxo de calor latente é a taxa de perda de calor latente da superfície devido à evapotranspiração. Pode ser calculado para cada pixel usando a Equação:

$$\lambda ET = R_n - G - H$$

Estabelecendo Evapotranspiração

Com o estabelecimento do fluxo de calor latente é possível estabelecer a evapotranspiração (ET) instantânea (ET_{inst}) e a de referência ET (ET_{rF}). Estas por sua vez irão permitir estabelecer a ET horária (ET_{24}) e a ET real sazonal (ET_{real}).

Evapotranspiração instantânea (ET_{inst})

Para a instantânea, o λET é um valor instantâneo para o tempo da viagem do satélite (W / m^2). O valor instantâneo de ET em profundidade de evaporação equivalente é calculado como:

$$ET_{inst} = 3600 \times (\lambda ET / \lambda)$$

Evapotranspiração de referência ET (ET_{rF}).

ET de referência (ET_{rF}) é definida como a razão entre o ET instantâneo calculado (ET_{inst}) para cada pixel e o ET de referência calculado a partir de dados climáticos:

$$ET_{rF} = (ET_{inst} / ET_r)$$

Onde; ET_{inst} obtido anteriormente e ET_r é o ET de referência no momento da imagem REF-ET (mm / h), tais valores obtidos através de dados das estações. O ET_{rF} é usado para extrapolar o ET do tempo da imagem para períodos de 24 horas ou mais.

Geralmente, deve-se esperar que os valores de ET_{rF} variem de 0 a 1. Em um pixel totalmente seco, $ET = 0$ e $ET_{rF} = 0$. Um pixel em uma área agrícola bem estabelecido pode ocasionalmente ter um ET um pouco maior que ET_r e, portanto, $ET_{rF} > 1$, talvez até 1.1. No entanto, o ET_r geralmente representa um limite superior no ET para grandes extensões de vegetação bem regada.

Evapotranspiração Diária (ET₂₄)

Os valores diários de ET (ET₂₄) são frequentemente mais úteis que o ET instantâneo. O SEBAL calcula o ET₂₄ assumindo que o ET_{rF} instantâneo calculado, é o mesmo que a média de 24 horas. O ET₂₄ (mm / dia) pode ser calculado como:

$$ET_{24} = ET_{rF} \times ET_{r-24}$$

Onde; O ET_{r-24} é o ET_r acumulado de 24 horas para o dia da imagem. Isso é calculado adicionando os valores de ET_r por hora ao longo do dia da imagem.

Evapotranspiração Real Sazonal (ET_{real})

A Evapotranspiração Real pode ser obtida a partir dos dados de evapotranspiração de 24 horas extrapolando o ET₂₄ proporcionalmente à evapotranspiração de referência (ET_r). Assumindo que o ET para toda a área de interesse seja alterado proporcionalmente à alteração no ET_r na estação meteorológica. O ET_r é calculado para um local específico e, portanto, não representa a condição real em cada pixel. Isso não importa, no entanto, já que o ET_r é usado apenas como um índice da mudança relativa no clima e, portanto, no ET, para a área da imagem. Também se assume que o ET_{rF} calculado para o tempo da imagem é constante durante todo o período representado pela imagem.

As etapas a seguir mostram o processo para calcular ET sazonal:

1. O primeiro passo foi decidir a duração da temporada para a qual o ET é desejado (ou seja, de 1º de Janeiro a 31 de Dezembro).
2. O segundo passo foi determinar o período representado por cada imagem de satélite na estação escolhida, a evapotranspiração real sazonal acumulada foi definida como a evapotranspiração real que representa os primeiros 15 dias ou os últimos dias do mês em questão (13 para o caso de fevereiro, 15 para o caso de meses com 30 dias e 16 para o caso de meses com 31 dias) acumulada de toda a área irrigada.
3. O terceiro passo foi calcular o ET_r acumulado para o período representado pela imagem. Isso é simplesmente a soma dos valores diários de ET_r durante o período. O

ET_r deve representar a referência de agricultura ET, que é um valor maior que o da referência de solo desnudo (ET_o).

4. O quarto passo é calcular o ET acumulado para cada período da seguinte maneira:

$$ET_{\text{period}} = ET_{rF\text{period}}$$

Onde; $ET_{rF\text{period}}$ é o ET_{rF} representativo para o período, ET_{r-24} é o ET_r diário e n é o número de dias no período. As unidades para ET_{period} estarão em mm quando o ET_{r-24} estiver em mm / dia.

5. O quinto passo foi calcular o ET real somando todos os valores de ET_{period} para a duração da temporada.

ANEXO 3:

Script Python SEBAL LANDSAT 5:

```
# -*- coding: utf-8

import numpy
import math
import os
import grass.script as grass
from os import system
from grass.script import core as g

system('clear')

MTLfile = [i for i in os.listdir('.') if i.endswith('MTL.txt')]

files = [i for i in os.listdir('.') if i.endswith(('.TIF','.tif'))]

g.parse_command('g.region', flags='p', rast='MDT_Sebal@PERMANENT', quiet=True)

runCC = g.parse_command('g.list', type='raster', pattern='CC_432')
runRLo = g.parse_command('g.list', type='raster', pattern='RLo')

if runCC == {}:
    print 'Importing Landsat 5 images, be patient...'
    for i in range(len(files)):
```

```

        g.parse_command('r.in.gdal', input=files[i],
output=os.path.splitext(files[i])[0], overwrite=True)
        print 'Done!'

        print 'Calculates top-of-atmosphere reflectance and
temperature for Landsat 5, be patient...'
        g.parse_command('i.landsat.toar',
input=files[0].split('_B')[0] + '_B', output= 'LS5_corre',
metfile=MTLfile, sensor='tm5',overwrite=True)
        print 'Done!'

        g.parse_command('g.remove', type='raster',
pattern=files[0].split('_B')[0] + '*', flags = 'f')

        print 'Composite R=B4 G=B3 B=B2 Landsat 5, be patient...'
        grass.run_command('i.colors.enhance',
red='LS5_corre3',green='LS5_corre2',blue='LS5_corre1',quiet=True)
        grass.run_command('r.composite',red='LS5_corre3',
green='LS5_corre2', blue='LS5_corre1',
output='CC_432',quiet=True,overwrite=True)
        print 'Done!'
if runRLo == {}:
        print 'Calculating NDVI...'
        grass.mapcalc('NDVI=(\$LS5_corre4-
\$LS5_corre3)/(\$LS5_corre4+\$LS5_corre3)',
                LS5_corre4='LS5_corre4',
                LS5_corre3='LS5_corre3',
                overwrite='true',
                quiet='true')
        print 'Done!'

        print 'Calculating SAVI with L equal to 0.5...'
        Lsavi = 0.5 #float(input('Entre com o valor de L: '))
        grass.mapcalc('SAVI= ((\$LS5_corre4-
\$LS5_corre3)/(\$LS5_corre4+\$LS5_corre3+\$Lsavi))* (1+\$Lsavi)',
                LS5_corre3='LS5_corre3',
                LS5_corre4='LS5_corre4',
                Lsavi=Lsavi,
                overwrite='true',
                quiet='true')
        print 'Done!'

        print 'Calculating leaf area index (LAI)...'
        grass.mapcalc('LAI=if(SAVI < 0.1, 0.00001,(if(0.1 < SAVI &&
SAVI < 0.687,-log((0.69-SAVI)/0.59)/0.91,if(SAVI > 0.687,6,0)))',
                overwrite='true',
                quiet='true')
        print 'Done!'

        print 'Calculating narrow band surface emissivity (eNBf)...'
        grass.mapcalc('eNB=if(LAI<3 &&
NDVI>0.,0.97+0.0033*LAI,if(LAI>=3 && NDVI>0.,0.98))',
                overwrite='true',
                quiet='true')
        grass.mapcalc('eNBf=if(eNB == 0, 0.99, eNB)',
                overwrite='true',

```

```

        quiet='true')
print 'Done!'

print 'Calculating broad band surface emissivity (e0f)...'
grass.mapcalc('e0=if(LAI<3 && NDVI>0.,0.95+0.01*LAI,if(LAI>=3
&& NDVI>0.,0.98))',
        overwrite='true',
        quiet='true')
grass.mapcalc('e0f=if(e0 == 0, 0.985, e0)',
        overwrite='true',
        quiet='true')
print 'Done!'

print 'Calculating surface temperature (Ts) - K...'
grass.mapcalc('Ts =
$LS5_corre6/(1+((10.8*$LS5_corre6)/14380)*log($eNBf))',
        LS5_corre6='LS5_corre6',
        eNBf='eNBf',
        overwrite='true',
        quiet='true')
print 'Done!'

Ts_median=g.parse_command('r.univar', flags='ge', map='Ts',
quiet = True)['median']
print 'Median surface temperature:', Ts_median,'K'

for line in open(MTLfile[0]):
    if 'EARTH_SUN_DISTANCE' in line:
        d=float(line.split('=')[-1])
    elif 'RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1' in line:
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1=float(line.split('=')[-1])
    elif 'RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2' in line:
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2=float(line.split('=')[-1])
    elif 'RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3' in line:
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3=float(line.split('=')[-1])
    elif 'RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4' in line:
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4=float(line.split('=')[-1])
    elif 'RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5' in line:
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5=float(line.split('=')[-1])
    elif 'RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6' in line:
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6=float(line.split('=')[-1])
    elif 'RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7' in line:
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7=float(line.split('=')[-1])
    elif 'REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_1' in line:
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_1=float(line.split('=')[-1])
    elif 'REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_2' in line:
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_2=float(line.split('=')[-1])

```

```

elif 'REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_3' in line:
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_3=float(line.split('=')[-1])
elif 'REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_4' in line:
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_4=float(line.split('=')[-1])
elif 'REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_5' in line:
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_5=float(line.split('=')[-1])
elif 'REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_6' in line:
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_6=float(line.split('=')[-1])
elif 'REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_7' in line:
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_7=float(line.split('=')[-1])
elif 'SUN_ELEVATION' in line:
SUN_ELEVATION=float(line.split('=')[-1])

ESUN_B1=(math.pi*d*d) * (RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1/REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_1)

ESUN_B2=(math.pi*d*d) * (RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2/REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_2)

ESUN_B3=(math.pi*d*d) * (RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3/REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_3)

ESUN_B4=(math.pi*d*d) * (RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4/REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_4)

ESUN_B5=(math.pi*d*d) * (RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5/REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_5)

ESUN_B7=(math.pi*d*d) * (RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7/REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_7)

ESUN=[ESUN_B1,ESUN_B2,ESUN_B3,ESUN_B4,ESUN_B5,ESUN_B7]
print ESUN

W = []
for i in range(len(ESUN)):
W += [ESUN[i]/sum(ESUN)]

W1=W[0]
W2=W[1]
W3=W[2]
W4=W[3]
W5=W[4]
W7=W[5]

print W

print 'Calculating albedo at top of atmosphere (aTOA)...'

grass.mapcalc('aTOA=$LS5_corre1*$W1+$LS5_corre2*$W2+$LS5_corre3*$W3+$LS5_corre4*$W4+$LS5_corre5*$W5+$LS5_corre7*$W7',
LS5_corre1='LS5_corre1',W1=W1,

```

```

        LS5_corre2='LS5_corre2',W2=W2,
        LS5_corre3='LS5_corre3',W3=W3,
        LS5_corre4='LS5_corre4',W4=W4,
        LS5_corre5='LS5_corre5',W5=W5,
        LS5_corre7='LS5_corre7',W7=W7,
        overwrite='true',
        quiet='true')
print 'Done!'
print 'Calculating shortwave transmissivity of air (Tsw)...'
grass.mapcalc('Tsw=0.75+0.00002*$MDT_Sebal',
              MDT_Sebal='MDT_Sebal',
              overwrite='true',
              quiet='true')
print 'Done!'

print 'Calculating surface albedo (aS)...'
grass.mapcalc('aS=($aTOA-0.03)/($Tsw^2)',
              aTOA='aTOA',
              Tsw='Tsw',
              overwrite='true',
              quiet='true')
print 'Done!'

print 'Calculating incoming shortwave radiation (Rsi) - W/m2...'
grass.mapcalc('Rsi=1367*cos(90-
$SUN_ELEVATION)*(1/($d^2))*$Tsw',
              SUN_ELEVATION=SUN_ELEVATION,
              Tsw='Tsw',
              d=d,
              overwrite='true',
              quiet='true')
print 'Done!'

print 'Calculating outgoing longwave radiation (RLo) -
W/m2...'
grass.mapcalc('RLo=$e0f*5.67e-8*$Ts^4',
              Ts='Ts',
              e0f='e0f',
              overwrite='true',
              quiet='true')
print 'Done!'

print 'Making the cold pixel mask...'
Ts_median=g.parse_command('r.univar', flags='ge', map='Ts', quiet =
True) ['median']
grass.mapcalc('Pcold=if($NDVI>0.4 && $Ts<$Ts_median,$Ts,null())',
              NDVI='NDVI',
              aS='aS',
              Ts='Ts',
              Ts_median=Ts_median,
              overwrite='true',
              quiet='true')
print 'Choose the cold pixel coordinates in irrigation areas. Use the
raster Pcold and CC_432 for help...'
xy_Pcold = str(input('Place coordinates (east,north): ')).strip('()')
print xy_Pcold

```

```

TsPcold_z=g.parse_command('r.what', map='Ts', coordinates=xy_Pcold)
z_TsPcold=float(dict.keys(TsPcold_z)[0].split('|')[3])
print 'Cold pixel temperature:',z_TsPcold,'K'
grass.write_command('v.in.ascii', input='-', output='Pcold', sep=',',
stdin=xy_Pcold, overwrite='true', quiet='true')
print 'Calculating incoming longwave radiation (RLi) - W/m2...'
grass.mapcalc('RLi=0.85*((-log($Tsw))^0.09)*5.67e-8*$z_TsPcold^4',
z_TsPcold=z_TsPcold,
Tsw='Tsw',
overwrite='true',
quiet='true')

print 'Done!'
print 'Calculating net radiation flux (Rn) - W/m2...'
grass.mapcalc('Rn=(1-$aS)*$Rsi+$RLi-$RLo-(1-$eOf)*$RLi',
aS='aS',
RLi='RLi',
RLo='RLo',
Rsi='Rsi',
eOf='eOf',
overwrite='true',
quiet='true')

print 'Done!'
print 'Calculating soil heat flux (G) - W/m2...'
grass.mapcalc('G_Rn=if(NDVI<0,0.5, (($Ts-
273.15)/$aS)*(0.0038*$aS+0.0074*$aS^2)*(1-0.98*$NDVI^4))',
aS='aS',
Ts='Ts',
#Rn='Rn',
NDVI='NDVI',
overwrite='true',
quiet='true')
grass.mapcalc('G=$G_Rn*$Rn',
G_Rn='G_Rn',
Rn='Rn',
overwrite='true',
quiet='true')

print 'Done!'
print 'Making the hot pixel mask...'
grass.mapcalc('Phot=if($SAVI>0.18 && $SAVI<0.3, $Ts,null())',
SAVI='SAVI',
aS='aS',
Ts='Ts',
Ts_median=Ts_median,
#Ts_max=Ts_max,
overwrite='true',
quiet='true')

print 'Choose the hot pixel coordinates in bare soil areas. Use the
raster Phot and CC_432 for help...'
xy_Phot = str(input('Place coordinates (east,north): ')).strip('()')
print xy_Phot
print 'Done!'
TsPhot_z=g.parse_command('r.what', map='Ts', coordinates=xy_Phot)
z_TsPhot=float(dict.keys(TsPhot_z)[0].split('|')[3])
print 'Hot pixel temperature:',z_TsPhot,'K'
grass.write_command('v.in.ascii', input='-', output='Phot', sep=',',
stdin=xy_Phot, overwrite='true', quiet='true')

```

```

print 'Calculating friction velocity (u*) for weather station -
m/s... '
h=0.15
Zom=0.123*h
u_ast=0.41*u_2m/(math.log(2/Zom))
u_200m=u_ast*(math.log(200/Zom))/0.41
print 'Done!'
print 'Friction velocity', u_ast, 'm/s'
print 'Calculating the momentum roughness length map (Zomap) - m...'
grass.mapcalc('Zomap=exp(-5.809+5.62*$SAVI)',
              SAVI='SAVI',
              overwrite='true',
              quiet='true')
print 'Done!'
print 'Calculating the friction velocity map (u*map) - m/s...'
grass.mapcalc('u_astmap=0.41*$u_200m/log(200/$Zomap)',
              Zomap='Zomap',
              u_200m=u_200m,
              overwrite='true',
              quiet='true')
print 'Done!'
print 'Calculating aerodynamic resistance to heat transport map in
terms of neutral stability (rah) - s/m...'
grass.mapcalc('rah=log(2/0.1)/($u_astmap*0.41)',
              u_astmap='u_astmap',
              overwrite='true',
              quiet='true')
print 'Done!'

GPhot_z=g.parse_command('r.what', map='G', coordinates=xy_Phot)
z_GPhot=float(dict.keys(GPhot_z)[0].split('|')[3])
rahPhot_z=g.parse_command('r.what', map='rah', coordinates=xy_Phot)
z_rahPhot=float(dict.keys(rahPhot_z)[0].split('|')[3])
RnPhot_z=g.parse_command('r.what', map='Rn', coordinates=xy_Phot)
z_RnPhot=float(dict.keys(RnPhot_z)[0].split('|')[3])
print 'Aerodynamic resistance correction, be patient...'

z_rahPhot_i=0
i=1
while (abs(z_rahPhot_i - z_rahPhot) > 0.00001):
    print 'Iteration number:', i
    i = i+1
    z_rahPhot_i=z_rahPhot
    print 'Equation coefficients estimate >> dT = a.Ts + b'
    a=(z_RnPhot-z_GPhot)* z_rahPhot_i/((z_TsPhot-
z_TsPcold)*1.25*1004)
    b=-a*z_TsPcold
    print 'a:', a, 'b:', b
    print 'Calculating dT map - K...'
    grass.mapcalc('dT=$a*$Ts+$b',
                  Ts='Ts',
                  a=a,
                  b=b,
                  overwrite='true',
                  quiet='true')
    print 'Done!'

```

```

print 'Calculating sensible heat flux (H) - W/m2...'
grass.mapcalc('H=($dT/$rah)*1.25*1004',
              dT='dT',
              rah='rah',
              overwrite='true',
              quiet='true')

print 'Done!'
print 'Calculating the Monin-Obukhov length map (L) - m...'
grass.mapcalc('L=- (1.25*1004*$Ts*$u_astmap^3)/(0.41*9.81*$H)',
              Ts='Ts',
              u_astmap='u_astmap',
              H='H',
              overwrite='true',
              quiet='true')

print 'Done!'
print 'Calculating atmospheric stability correction (L200m,
L2m, L01m)...'
grass.mapcalc('L200m=if($L<0,2*log((1+(1-
16*(200/$L))^0.25)/2)+log((1+(1-16*(200/$L))^0.5)/2)-2*atan((1-
16*(200/$L))^0.25)+0.5*3.14159265,if($L>0,-5*(2/$L),0))',
              L='L',
              overwrite='true',
              quiet='true')
grass.mapcalc('L2m=if($L<0,2*log((1+(1-
16*(2/$L))^0.5)/2),if($L>0,-5*(2/$L),0))',
              L='L',
              overwrite='true',
              quiet='true')
grass.mapcalc('L01m=if($L<0,2*log((1+(1-
16*(0.1/$L))^0.5)/2),if($L>0,-5*(0.1/$L),0))',
              L='L',
              overwrite='true',
              quiet='true')

print 'Done!'
print 'Calculating corrected friction velocity map (u*map) -
m/s...'
grass.mapcalc('u_astmap=0.41*$u_200m/(log(200/$Z0map)-
$L200m)',
              Z0map='Z0map',
              u_200m='u_200m',
              L200m='L200m',
              overwrite='true',
              quiet='true')

print 'Done!'
print 'Calculating corrected aerodynamic resistance to heat
transport (rah) - s/m...'
grass.mapcalc('rah=(log(2/0.1)-$L2m+$L01m)/($u_astmap*0.41)',
              u_astmap='u_astmap',
              L2m='L2m',
              L01m='L01m',
              overwrite='true',
              quiet='true')

print 'Done!'
rahPhot_z=g.parse_command('r.what', map='rah',
coordinates=xy_Phot)
z_rahPhot=float(dict.keys(rahPhot_z)[0].split('|')[3])

```

```

HPhot_z=g.parse_command('r.what', map='H', coordinates=xy_Phot)
z_HPhot=float(dict.keys(HPhot_z)[0].split('|')[3])
dTPhot_z=g.parse_command('r.what', map='dT', coordinates=xy_Phot)
z_dTPhot=float(dict.keys(dTPhot_z)[0].split('|')[3])
print 'Hot pixel results, verify if Rhot - Ghot = Hhot'
print 'Hhot:', z_HPhot,
print 'rahot:', z_rahPhot,
print 'Ghot:', z_GPhot,
print 'Rhot:', z_RnPhot, 'dT:',z_dTPhot
print 'Calculating the latent heat flux (LET) - W/m2...'
grass.mapcalc('LET=Rn-G-H',
              H='H',
              Rn='Rn',
              G='G',
              overwrite='true',
              quiet='true')

print 'Done!'
print 'Calculating instantaneous evapotranspiration (ETi) - mm/h...'
grass.mapcalc('ETi=if(3600*(LET/(2.45*10^6))<0,0,3600*(LET/(2.45*10^6)
))',
              LET='LET',
              overwrite='true',
              quiet='true')

print 'Done!'
print 'Calculating reference evapotranspiration fraction (ETof)...'
grass.mapcalc('ETof=$ETi/$EToi',
              ETi='ETi',
              EToi=EToi,
              overwrite='true',
              quiet='true')

print 'Done!'
print 'Calculating daily evapotranspiration (ETday) - mm/dia...'
grass.mapcalc('ETday=$ETof*$ETO',
              ETof='ETof',
              ETo=ETO,
              overwrite='true',
              quiet='true')

print 'Done!'

```

ANEXO 4:

Script Python SEBAL LANDSAT 8:

```

# -*- coding: utf-8

import numpy
import math
import os
import grass.script as grass
from os import system

```

```

from grass.script import core as g

system('clear')

MTLfile = [i for i in os.listdir('.') if i.endswith('MTL.txt')]

files = [i for i in os.listdir('.') if i.endswith(('TIF','.tif'))]

g.parse_command('g.region', flags='p', rast='MDT_Sebal@PERMANENT', quiet=
True)

runCC = g.parse_command('g.list', type='raster', pattern='CC_432')
runRLo = g.parse_command('g.list', type='raster', pattern='RLo')

if runCC == {}:
    print 'Importing Landsat 8 images, be patient...'
    for i in range(len(files)):
        g.parse_command('r.in.gdal', input=files[i],
output=os.path.splitext(files[i])[0], overwrite=True)
        print 'Done!'

        print 'Calculates top-of-atmosphere reflectance and
temperature for Landsat 8, be patient...'
        g.parse_command('i.landsat.toar',
input=files[0].split('_B')[0] + '_B', output= 'LS8_corre',
metfile=MTLfile, sensor='oli8', overwrite=True)
        print 'Done!'

        g.parse_command('g.remove', type='raster',
pattern=files[0].split('_B')[0] + '*', flags = 'f')

        print 'Composite R=B4 G=B3 B=B2 Landsat 8, be patient...'
        grass.run_command('i.colors.enhance',
red='LS8_corre4', green='LS8_corre3', blue='LS8_corre2', quiet=True)
        grass.run_command('r.composite', red='LS8_corre4',
green='LS8_corre3', blue='LS8_corre2',
output='CC_432', quiet=True, overwrite=True)
        print 'Done!'
if runRLo == {}:
    print 'Calculating NDVI...'
    grass.mapcalc('NDVI=($LS8_corre5-
$LS8_corre4)/($LS8_corre5+$LS8_corre4)',
LS8_corre5='LS8_corre5',
LS8_corre4='LS8_corre4',
overwrite='true',
quiet='true')
    print 'Done!'

    print 'Calculating SAVI with L equal to 0.5...'
    Lsavi = 0.5 #float(input('Entre com o valor de L: '))
    grass.mapcalc('SAVI= (($LS8_corre5-
$LS8_corre4)/($LS8_corre5+$LS8_corre4+$Lsavi))* (1+$Lsavi)',
LS8_corre4='LS8_corre4',
LS8_corre5='LS8_corre5',
Lsavi=Lsavi,

```

```

        overwrite='true',
        quiet='true')
print 'Done!'

print 'Calculating leaf area index (LAI)...'
grass.mapcalc('LAI=if(SAVI < 0.1, 0.00001,(if(0.1 < SAVI &&
SAVI < 0.687,-log((0.69-SAVI)/0.59)/0.91,if(SAVI > 0.687,6,0)))',
        overwrite='true',
        quiet='true')
print 'Done!'

print 'Calculating narrow band surface emissivity (eNBf)...'
grass.mapcalc('eNB=if(LAI<3 &&
NDVI>0.,0.97+0.0033*LAI,if(LAI>=3 && NDVI>0.,0.98))',
        overwrite='true',
        quiet='true')
grass.mapcalc('eNBf=if(eNB == 0, 0.99, eNB)',
        overwrite='true',
        quiet='true')
print 'Done!'

print 'Calculating broad band surface emissivity (e0f)...'
grass.mapcalc('e0=if(LAI<3 && NDVI>0.,0.95+0.01*LAI,if(LAI>=3
&& NDVI>0.,0.98))',
        overwrite='true',
        quiet='true')
grass.mapcalc('e0f=if(e0 == 0, 0.985, e0)',
        overwrite='true',
        quiet='true')
print 'Done!'

print 'Calculating surface temperature (Ts) - K...'
grass.mapcalc('Ts =
$LS8_correl0/(1+((10.8*$LS8_correl0)/14380)*log($eNBf))',
        LS8_correl0='LS8_correl0',
        eNBf='eNBf',
        overwrite='true',
        quiet='true')
print 'Done!'

Ts_median=g.parse_command('r.univar', flags='ge', map='Ts',
quiet = True)['median']
print 'Median surface temperature:', Ts_median,'K'

for line in open(MTLfile[0]):
    if 'EARTH_SUN_DISTANCE' in line:
        d=float(line.split('=')[-1])
    elif 'RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1' in line:
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1=float(line.split('=')[-1])
    elif 'RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2' in line:
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2=float(line.split('=')[-1])
    elif 'RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3' in line:
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3=float(line.split('=')[-1])

```

```

elif 'RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4' in line:
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4=float(line.split('=')[-1])
    elif 'RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5' in line:
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5=float(line.split('=')[-1])
    elif 'RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6' in line:
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6=float(line.split('=')[-1])
    elif 'RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7' in line:
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7=float(line.split('=')[-1])
    elif 'REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_1' in line:
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_1=float(line.split('=')[-1])
    elif 'REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_2' in line:
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_2=float(line.split('=')[-1])
    elif 'REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_3' in line:
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_3=float(line.split('=')[-1])
    elif 'REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_4' in line:
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_4=float(line.split('=')[-1])
    elif 'REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_5' in line:
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_5=float(line.split('=')[-1])
    elif 'REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_6' in line:
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_6=float(line.split('=')[-1])
    elif 'REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_7' in line:
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_7=float(line.split('=')[-1])
    elif 'SUN_ELEVATION' in line:
        SUN_ELEVATION=float(line.split('=')[-1])

ESUN_B1=(math.pi*d*d)*(RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1/REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_1)
ESUN_B2=(math.pi*d*d)*(RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2/REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_2)
ESUN_B3=(math.pi*d*d)*(RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3/REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_3)
ESUN_B4=(math.pi*d*d)*(RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4/REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_4)
ESUN_B5=(math.pi*d*d)*(RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5/REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_5)
ESUN_B6=(math.pi*d*d)*(RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6/REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_6)

```

```

ESUN_B7=(math.pi*d*d) * (RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7/REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_7)
ESUN=[ESUN_B1,ESUN_B2,ESUN_B3,ESUN_B4,ESUN_B5,ESUN_B6,ESUN_B7]
print ESUN

W = []
for i in range(len(ESUN)):
    W += [ESUN[i]/sum(ESUN)]
W1=W[0]
W2=W[1]
W3=W[2]
W4=W[3]
W5=W[4]
W6=W[5]
W7=W[6]
print W

print 'Calculating albedo at top of atmosphere (aTOA)...'

grass.mapcalc('aTOA=$LS8_corre1*$W1+$LS8_corre2*$W2+$LS8_corre3*$W3+$LS8_corre4*$W4+$LS8_corre5*$W5+$LS8_corre6*$W6+$LS8_corre7*$W7',
              LS8_corre1='LS8_corre1',W1=W1,
              LS8_corre2='LS8_corre2',W2=W2,
              LS8_corre3='LS8_corre3',W3=W3,
              LS8_corre4='LS8_corre4',W4=W4,
              LS8_corre5='LS8_corre5',W5=W5,
              LS8_corre6='LS8_corre6',W6=W6,
              LS8_corre7='LS8_corre7',W7=W7,
              overwrite='true',
              quiet='true')

print 'Done!'
print 'Calculating shortwave transmissivity of air (Tsw)...'
grass.mapcalc('Tsw=0.75+0.00002*$MDT_Seбал',
              MDT_Seбал='MDT_Seбал',
              overwrite='true',
              quiet='true')

print 'Done!'

print 'Calculating surface albedo (aS)...'
grass.mapcalc('aS=($aTOA-0.03)/($Tsw^2)',
              aTOA='aTOA',
              Tsw='Tsw',
              overwrite='true',
              quiet='true')

print 'Done!'

print 'Calculating incoming shortwave radiation (Rsi) - W/m2...'
grass.mapcalc('Rsi=1367*cos(90-$SUN_ELEVATION)*(1/($d^2))*$Tsw',
              SUN_ELEVATION=SUN_ELEVATION,
              Tsw='Tsw',
              d=d,
              overwrite='true',
              quiet='true')

print 'Done!'

```

```

    print 'Calculating outgoing longwave radiation (RLo) -
W/m2...'
    grass.mapcalc('RLo=$e0f*5.67e-8*$Ts^4',
                  Ts='Ts',
                  e0f='e0f',
                  overwrite='true',
                  quiet='true')
    print 'Done!'

print 'Making the cold pixel mask...'
Ts_median=g.parse_command('r.univar', flags='ge', map='Ts', quiet =
True)['median']
grass.mapcalc('Pcold=if($NDVI>0.4 && $Ts<$Ts_median,$Ts,null())',
              NDVI='NDVI',
              aS='aS',
              Ts='Ts',
              Ts_median=Ts_median,
              overwrite='true',
              quiet='true')
print 'Choose the cold pixel coordinates in irrigation areas. Use the
raster Pcold and CC_432 for help...'
xy_Pcold = str(input('Place coordinates (east,north): ')).strip('()')
print xy_Pcold
TsPcold_z=g.parse_command('r.what', map='Ts', coordinates=xy_Pcold)
z_TsPcold=float(dict.keys(TsPcold_z)[0].split('|')[3])
print 'Cold pixel temperature:',z_TsPcold,'K'
grass.write_command('v.in.ascii', input='-', output='Pcold', sep=',',
stdin=xy_Pcold, overwrite='true', quiet='true')
print 'Calculating incoming longwave radiation (RLi) - W/m2...'
grass.mapcalc('RLi=0.85*((-log($Tsw))^0.09)*5.67e-8*$z_TsPcold^4',
              z_TsPcold=z_TsPcold,
              Tsw='Tsw',
              overwrite='true',
              quiet='true')

print 'Done!'
print 'Calculating net radiation flux (Rn) - W/m2...'
grass.mapcalc('Rn=(1-$aS)*$Rsi+$RLi-$RLo-(1-$e0f)*$RLi',
              aS='aS',
              RLi='RLi',
              RLo='RLo',
              Rsi='Rsi',
              e0f='e0f',
              overwrite='true',
              quiet='true')

print 'Done!'
print 'Calculating soil heat flux (G) - W/m2...'
grass.mapcalc('G_Rn=if(NDVI<0,0.5, (($Ts-
273.15)/$aS)*(0.0038*$aS+0.0074*$aS^2)*(1-0.98*$NDVI^4))',
              aS='aS',
              Ts='Ts',
              #Rn='Rn',
              NDVI='NDVI',
              overwrite='true',
              quiet='true')
grass.mapcalc('G=$G_Rn*$Rn',

```

```

        G_Rn='G_Rn',
        Rn='Rn',
        overwrite='true',
        quiet='true')

print 'Done!'
print 'Making the hot pixel mask...'
grass.mapcalc('Phot=if($SAVI>0.18 && $SAVI<0.3, $Ts,null())',
             SAVI='SAVI',
             aS='aS',
             Ts='Ts',
             Ts_median=Ts_median,
             #Ts_max=Ts_max,
             overwrite='true',
             quiet='true')

print 'Choose the hot pixel coordinates in bare soil areas. Use the
raster Phot and CC_432 for help...'
xy_Phot = str(input('Place coordinates (east,north): ')).strip('()')
print xy_Phot
print 'Done!'
TsPhot_z=g.parse_command('r.what', map='Ts', coordinates=xy_Phot)
z_TsPhot=float(dict.keys(TsPhot_z)[0].split('|')[3])
print 'Hot pixel temperature:',z_TsPhot,'K'
grass.write_command('v.in.ascii', input='-', output='Phot', sep=',',
stdin=xy_Phot, overwrite='true', quiet='true')
print 'Calculating friction velocity (u*) for weather station -
m/s...'
h=0.15
Zom=0.123*h
u_ast=0.41*u_2m/(math.log(2/Zom))
u_200m=u_ast*(math.log(200/Zom))/0.41
print 'Done!'
print 'Friction velocity', u_ast, 'm/s'
print 'Calculating the momentum roughness length map (Z0map) - m...'
grass.mapcalc('Z0map=exp(-5.809+5.62*$SAVI)',
             SAVI='SAVI',
             overwrite='true',
             quiet='true')

print 'Done!'
print 'Calculating the friction velocity map (u*map) - m/s...'
grass.mapcalc('u_astmap=0.41*$u_200m/log(200/$Z0map)',
             Z0map='Z0map',
             u_200m=u_200m,
             overwrite='true',
             quiet='true')

print 'Done!'
print 'Calculating aerodynamic resistance to heat transport map in
terms of neutral stability (rah) - s/m...'
grass.mapcalc('rah=log(2/0.1)/($u_astmap*0.41)',
             u_astmap='u_astmap',
             overwrite='true',
             quiet='true')

print 'Done!'

GPhot_z=g.parse_command('r.what', map='G', coordinates=xy_Phot)
z_GPhot=float(dict.keys(GPhot_z)[0].split('|')[3])
rahPhot_z=g.parse_command('r.what', map='rah', coordinates=xy_Phot)

```

```

z_rahPhot=float(dict.keys(rahPhot_z)[0].split('|')[3])
RnPhot_z=g.parse_command('r.what', map='Rn', coordinates=xy_Phot)
z_RnPhot=float(dict.keys(RnPhot_z)[0].split('|')[3])
print 'Aerodynamic resistance correction, be patient...'

z_rahPhot_i=0
i=1
while (abs(z_rahPhot_i - z_rahPhot) > 0.00001):
    print 'Iteration number:',i
    i = i+1
    z_rahPhot_i=z_rahPhot
    print 'Equation coefficents estimate >> dT = a.Ts + b'
    a=(z_RnPhot-z_GPhot)* z_rahPhot_i/((z_TsPhot-
z_TsPcold)*1.25*1004)
    b=-a*z_TsPcold
    print 'a:',a, 'b:', b
    print 'Calculating dT map - K...'
    grass.mapcalc('dT=$a*$Ts+$b',
                  Ts='Ts',
                  a=a,
                  b=b,
                  overwrite='true',
                  quiet='true')
    print 'Done!'
    print 'Calculating sensible heat flux (H) - W/m2...'
    grass.mapcalc('H=($dT/$rah)*1.25*1004',
                  dT='dT',
                  rah='rah',
                  overwrite='true',
                  quiet='true')
    print 'Done!'
    print 'Calculating the Monin-Obukhov length map (L) - m...'
    grass.mapcalc('L=- (1.25*1004*$Ts*$u_astmap^3)/(0.41*9.81*$H)',
                  Ts='Ts',
                  u_astmap='u_astmap',
                  H='H',
                  overwrite='true',
                  quiet='true')
    print 'Done!'
    print 'Calculating atmospheric stability correction (L200m,
L2m, L01m)...'
    grass.mapcalc('L200m=if($L<0,2*log((1+(1-
16*(200/$L))^0.25)/2)+log((1+(1-16*(200/$L))^0.5)/2)-2*atan((1-
16*(200/$L))^0.25)+0.5*3.14159265,if($L>0,-5*(2/$L),0))',
                  L='L',
                  overwrite='true',
                  quiet='true')
    grass.mapcalc('L2m=if($L<0,2*log((1+(1-
16*(2/$L))^0.5)/2),if($L>0,-5*(2/$L),0))',
                  L='L',
                  overwrite='true',
                  quiet='true')
    grass.mapcalc('L01m=if($L<0,2*log((1+(1-
16*(0.1/$L))^0.5)/2),if($L>0,-5*(0.1/$L),0))',
                  L='L',
                  overwrite='true',

```

```

        quiet='true')
    print 'Done!'
    print 'Calculating corrected friction velocity map (u*map) -
m/s...'
    grass.mapcalc('u_astmap=0.41*$u_200m/(log(200/$Z0map)-
$L200m)',
        Z0map='Z0map',
        u_200m=u_200m,
        L200m='L200m',
        overwrite='true',
        quiet='true')
    print 'Done!'
    print 'Calculating corrected aerodynamic resistance to heat
transport (rah) - s/m...'
    grass.mapcalc('rah=(log(2/0.1)-$L2m+$L01m)/($u_astmap*0.41)',
        u_astmap='u_astmap',
        L2m='L2m',
        L01m='L01m',
        overwrite='true',
        quiet='true')
    print 'Done!'
    rahPhot_z=g.parse_command('r.what', map='rah',
coordinates=xy_Phot)
    z_rahPhot=float(dict.keys(rahPhot_z)[0].split('|')[3])

HPhot_z=g.parse_command('r.what', map='H', coordinates=xy_Phot)
z_HPhot=float(dict.keys(HPhot_z)[0].split('|')[3])
dTPhot_z=g.parse_command('r.what', map='dT', coordinates=xy_Phot)
z_dTPhot=float(dict.keys(dTPhot_z)[0].split('|')[3])
print 'Hot pixel results, verify if Rhhot - Ghot = Hhot'
print 'Hhot:', z_HPhot,
print 'rahhot:', z_rahPhot,
print 'Ghot:', z_GPhot,
print 'Rnhot:', z_RnPhot, 'dT:', z_dTPhot
print 'Calculating the latent heat flux (LET) - W/m2...'
grass.mapcalc('LET=Rn-G-H',
        H='H',
        Rn='Rn',
        G='G',
        overwrite='true',
        quiet='true')
print 'Done!'
print 'Calculating instantaneous evapotranspiration (ETi) - mm/h...'
grass.mapcalc('ETi=if(3600*(LET/(2.45*10^6))<0,0,3600*(LET/(2.45*10^6)
))',
        LET='LET',
        overwrite='true',
        quiet='true')
print 'Done!'
print 'Calculating reference evapotranspiration fraction (ETof)...'
grass.mapcalc('ETof=$ETi/$EToi',
        ETi='ETi',
        EToi=EToi,
        overwrite='true',
        quiet='true')
print 'Done!'

```

```

print 'Calculating daily evapotranspiration (ETday) - mm/dia...'
grass.mapcalc('ETday=$ETof*$ETO',
              ETof='ETof',
              ETo=ETo,
              overwrite='true',
              quiet='true')
print 'Done!'

```

ANEXO 5:

Imagens MODIS

Os satélites TERRA/AQUA carregam consigo o sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), projetado para satisfazer diversos estudos sobre os três campos que são foco das geociências: atmosfera, oceano e terra, com bandas de resolução espectral e espacial selecionadas para estes estudos e uma cobertura global diária (ou a cada 2 dias).

O sensor MODIS fornece imagens com resolução espacial de 250, 500 e 1000 m e possui 36 bandas espectrais. As bandas 1-7 são direcionadas para as aplicações terrestres e para estudos com nuvens; as bandas 8-16 para as observações oceânicas; e as bandas 17-19 para as medições atmosféricas. As bandas 20-36, com exceção da banda 26 (1360-1390 nm) que tem aplicações em estudos sobre nuvens cirrus especificamente, cobrem a porção termal do espectro (3660 nm a 14385 nm), no qual visa estudos acerca de temperaturas do topo da nuvem, camada de ozônio, vapor d'água atmosférico, dentre outros. O MYD05GQ apresenta informações da reflectância em base diária.

Especificações das camadas do produto MOD05GQ do sensor MODIS- Fonte: USGS

Nome da camada	Descrição	Unidade	Fill Value	Intervalo válido	Fator multiplicativo
num_observations	Nº de observações por 250m de pixel	Nenhuma	-1	0 a 127	N/A
sur_refl_b01_1	Reflectância da superfície da banda 1	Reflectância	-28672	-100 a 16000	0,0001
sur_refl_b02_1	Reflectância da superfície da banda 2	Reflectância	-28672	-100 a 16000	0,0001
QC_250m_1	Garantia de qualidade da Reflectância de superfície 250m	Campo de bits	2995	0 a 4096	N/A
obskov_1	Cobertura da observação	Porcentagem	255	0 a 100	0,01
iobs_res_1	Nº de observações	Nenhuma	255	0 a 254	N/A
orbit_pnt_1	Indicador da órbita	Nenhuma	255	0 a 15	N/A
granule_pnt_1	Indicador da grade	Nenhuma	255	0 a 254	N/A

Já o MYD05A1 possui temperatura da superfície em base diária, com 1 km de resolução espacial. Uma vez que trabalha com o algoritmo “generalized split-window algorithm under clear-sky conditions”, responsável pelo mapeamento de todos os valores de temperatura de superfície à céu claro, e uma média desses valores e com outro algoritmo “dual spectral rain algorithm”, responsável pelo os valores de precipitação.

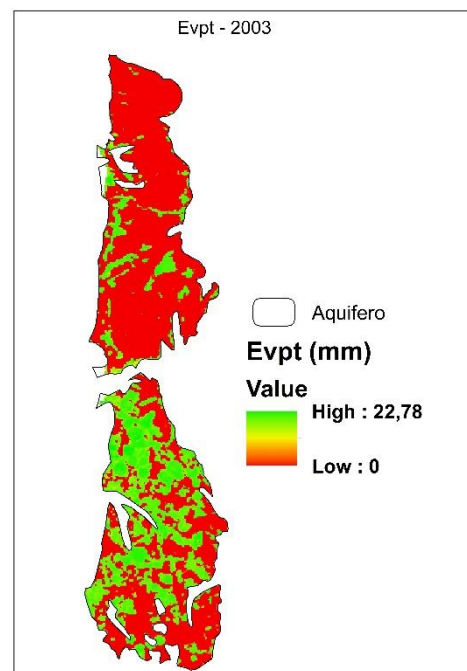
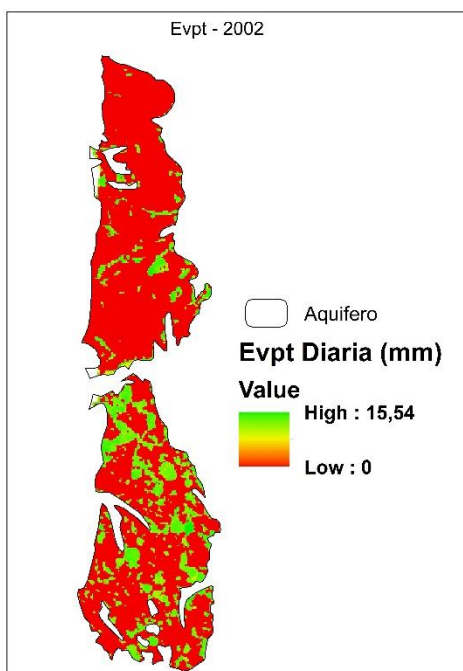
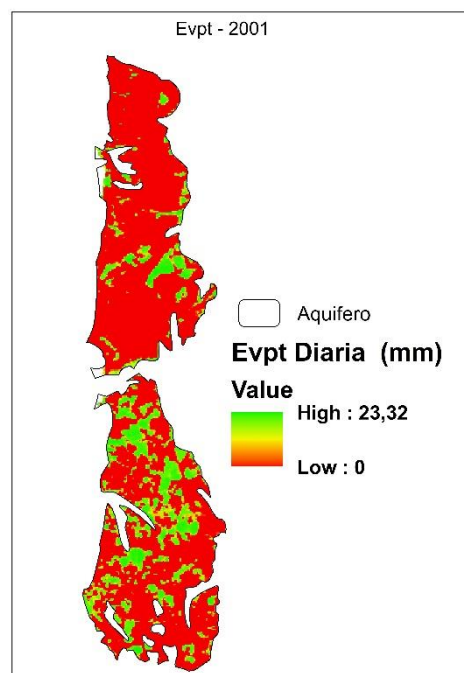
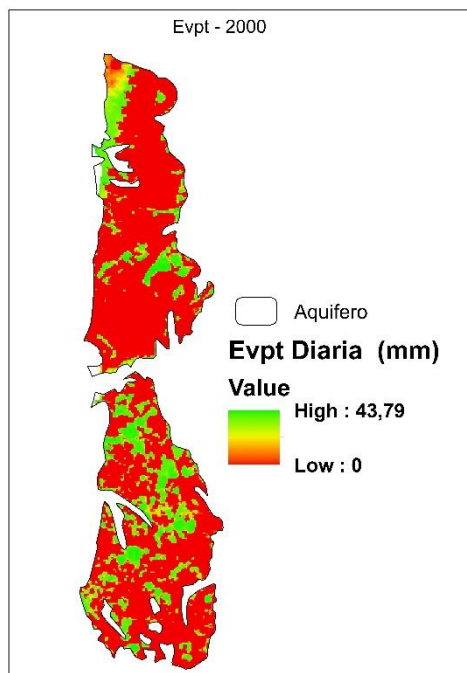
Os arquivos contidos no produto MYD05A1 são: Precipitação diária, garantia de qualidade na hora local e emissividade das bandas 31 e 32, ângulo de visão zenital, hora local de passagem, cobertura a céu claro atributos locais e globais (metadados da imagem).

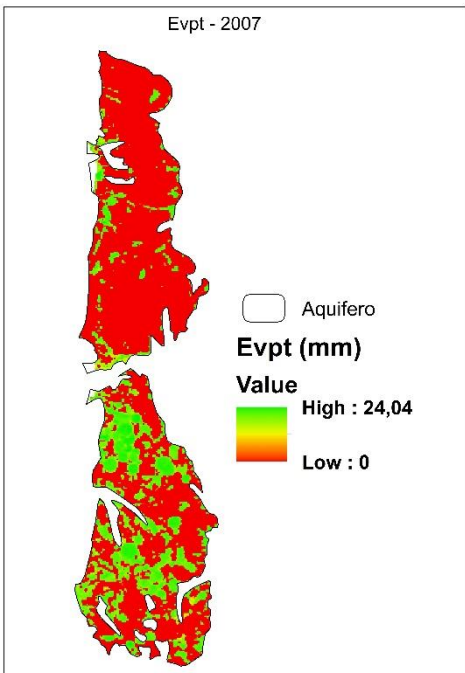
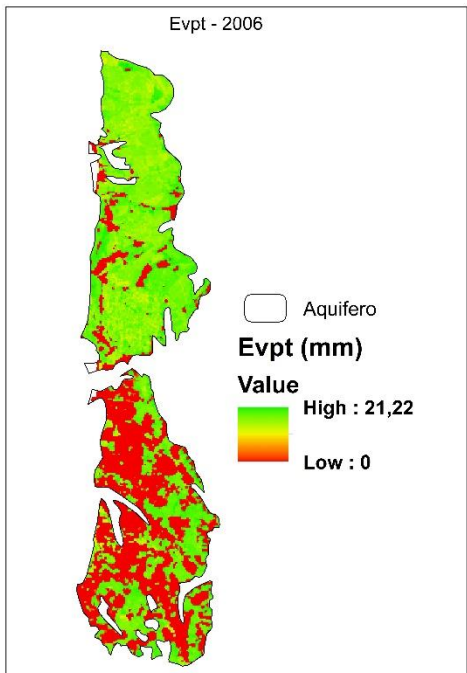
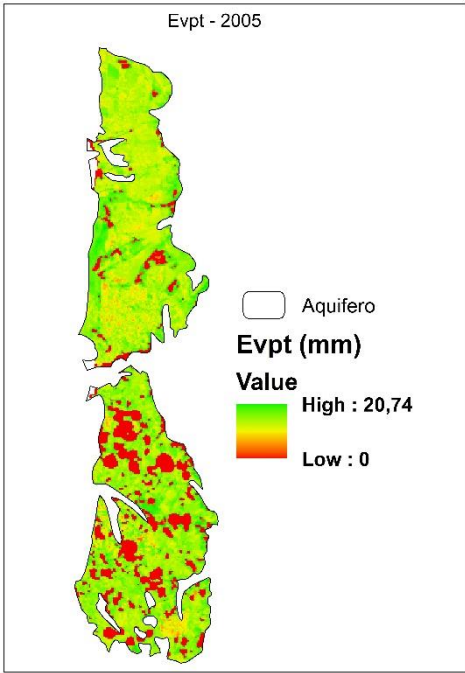
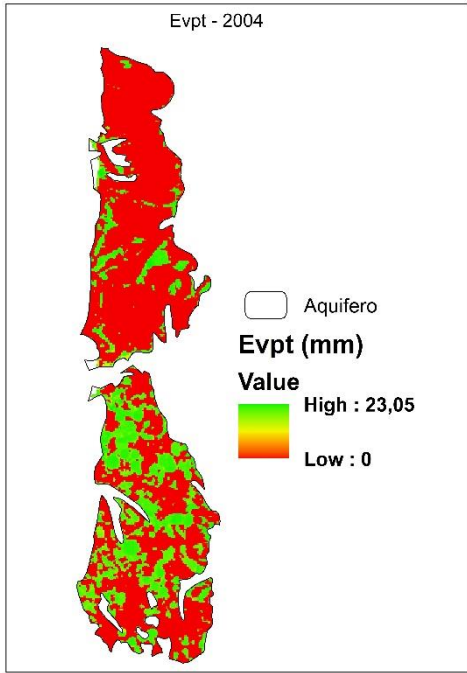
Especificações das camadas do produto MOD05A1 do sensor MODIS Fonte: USGS

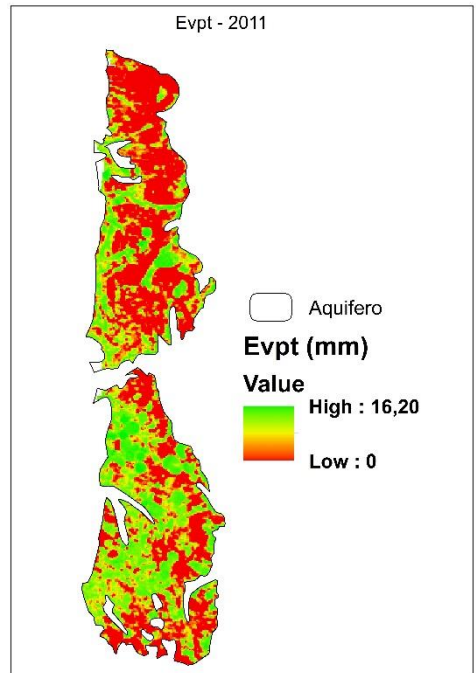
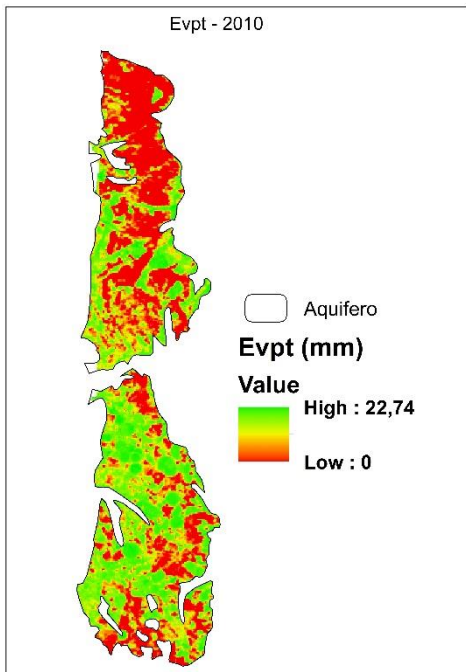
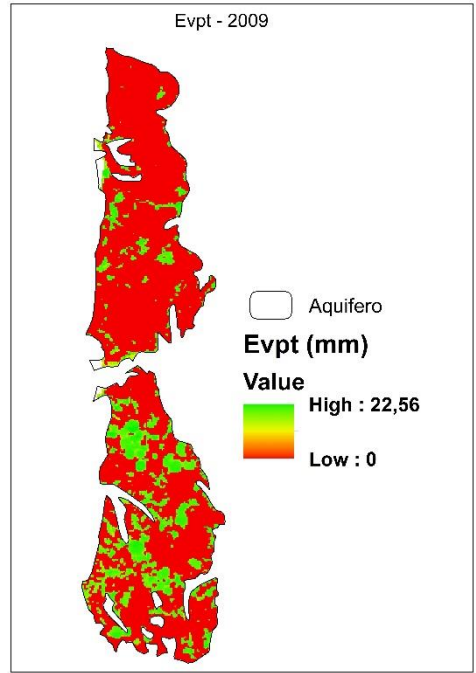
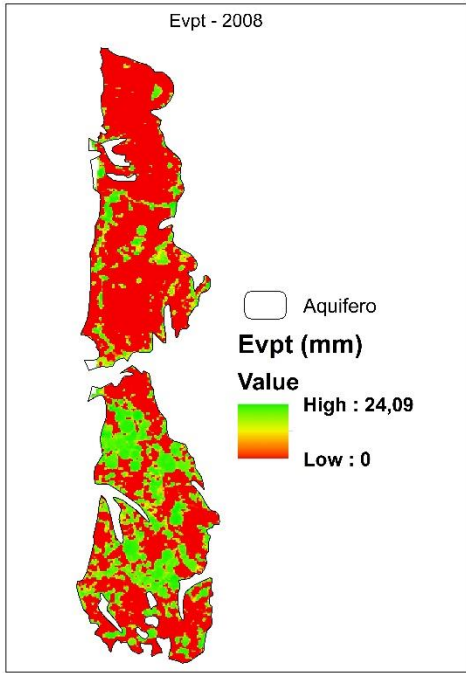
Nome da camada	Descrição	Unidade	Fill Value	Intervalo válido	Fator multiplicativo	Fator aditivo
LST_Day_1km	Temperatura da Superfície diurna (Ts,d)	Kelvin	0	7500 a 65535	0,02	N/A
QC_Day	Indicador de qualidade da Ts,d	Bit Field	N/A	0 a 255	N/A	N/A
Day_view_time	Hora local da observação diurna	Hours	255	0 a 240	0,1	N/A
Day_view_angle	Ângulo zenital diurno	Degree	255	0 a 130	1,0	-65
LST_Night_1km	Temperatura da Superfície noturna (Ts,n)	Kelvin	0	7500 a 65535	0,02	N/A
QC_Night	Indicador de qualidade da Ts,n	Bit Field	N/A	0 a 255	N/A	N/A
Night_view_time	Hora local da observação noturna	Hours	255	0 a 240	0,1	N/A
Night_view_angle	Ângulo zenital noturno	Degree	255	0 a 130	1,0	-65
Emis_31	Emissividade da Banda 31	Nenhuma	0	1 a 255	0,002	0,49
Emis_32	Emissividade da Banda 32	Nenhuma	0	1 a 255	0,002	0,49
Clear_day_cov	N/A	Nenhuma	0	1 a 65535	0,0005	N/A
Clear_night_cov	N/A	Nenhuma	0	1 a 65535	0,0005	N/A

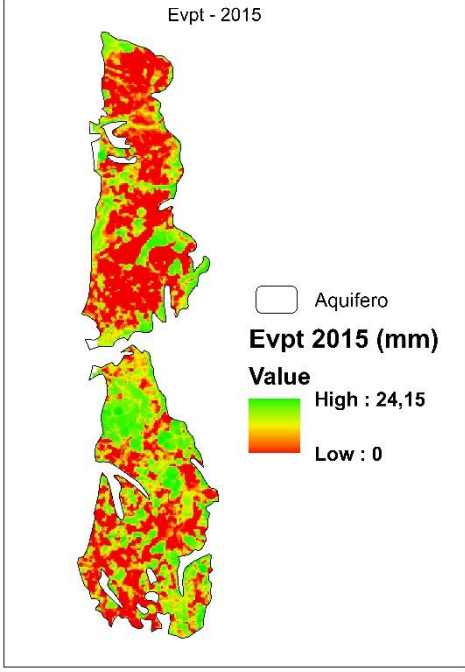
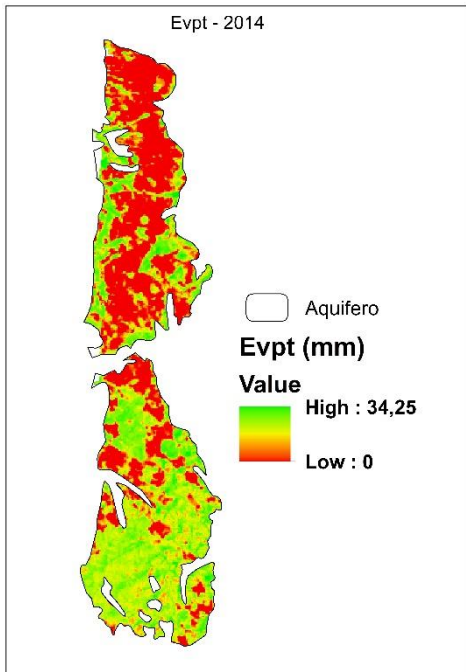
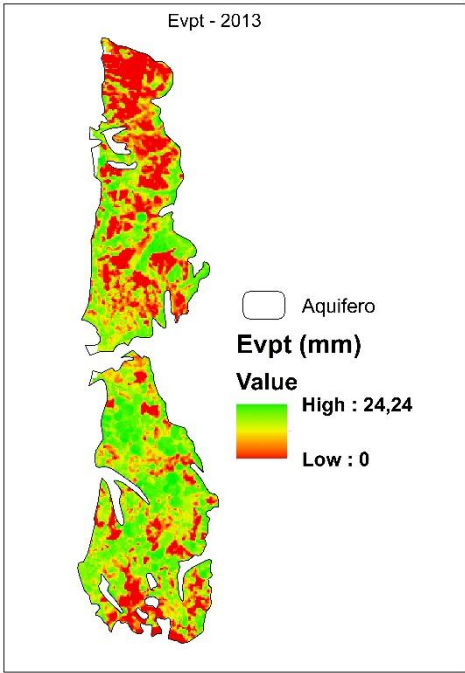
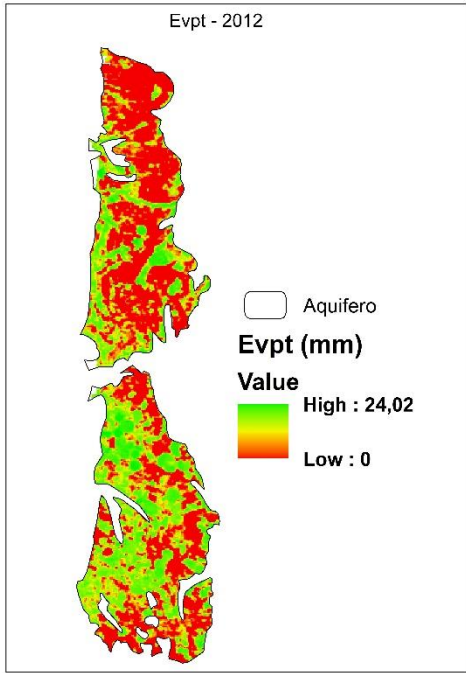
ANEXO 6:

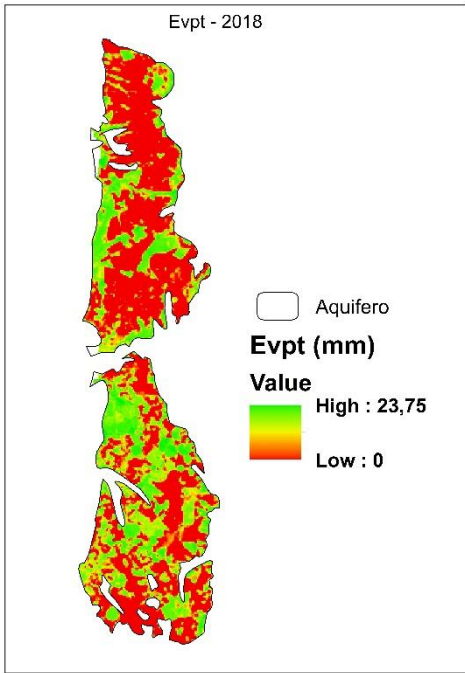
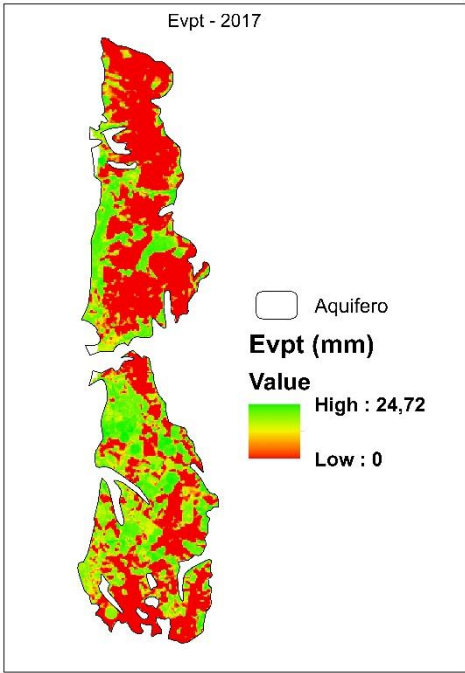
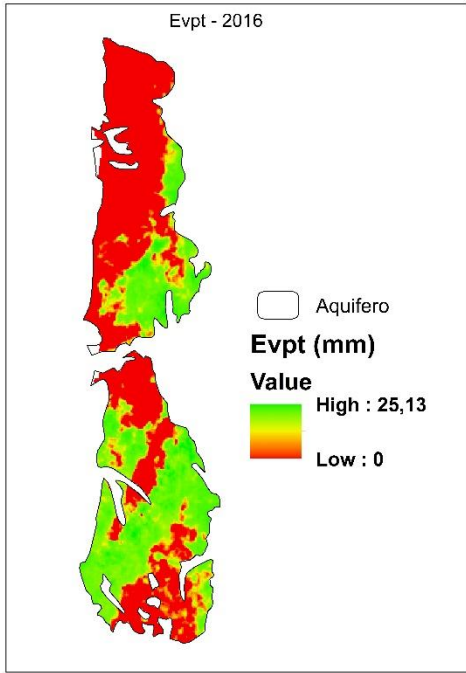
Evolução Espacial Anual da Evapotranspiração De toda a Área do Aquífero -Período Seco (Valores Diários):



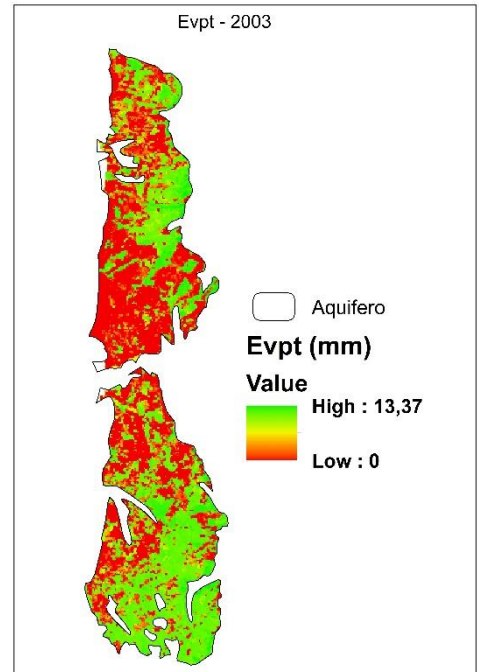
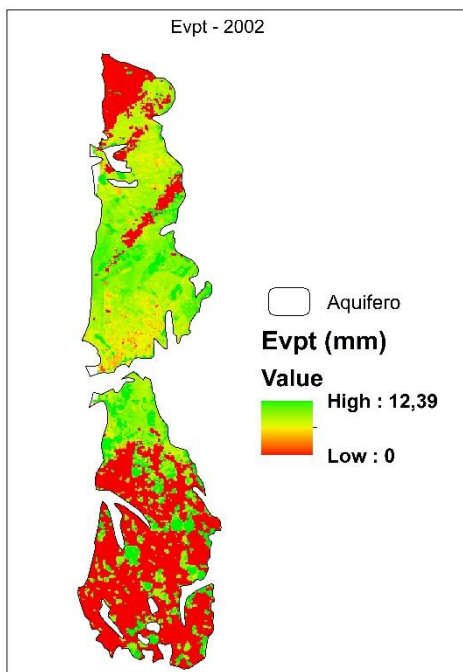
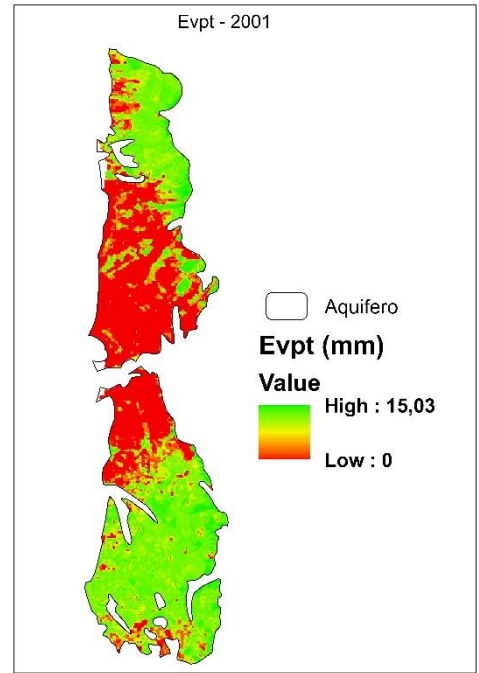
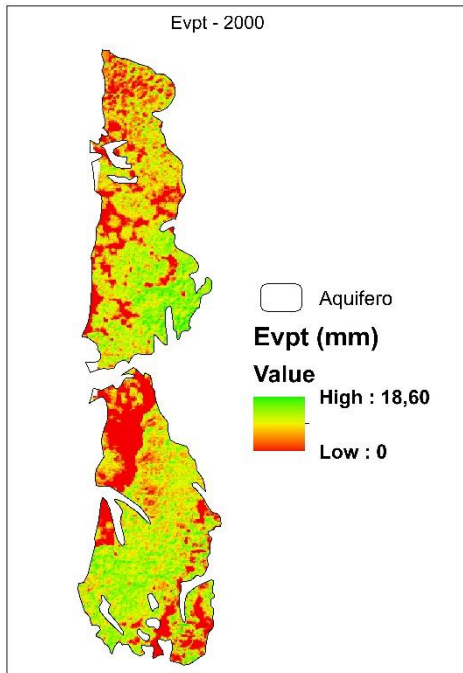


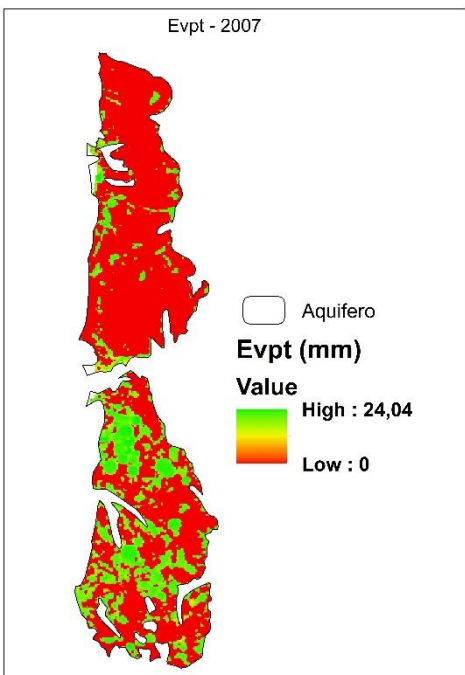
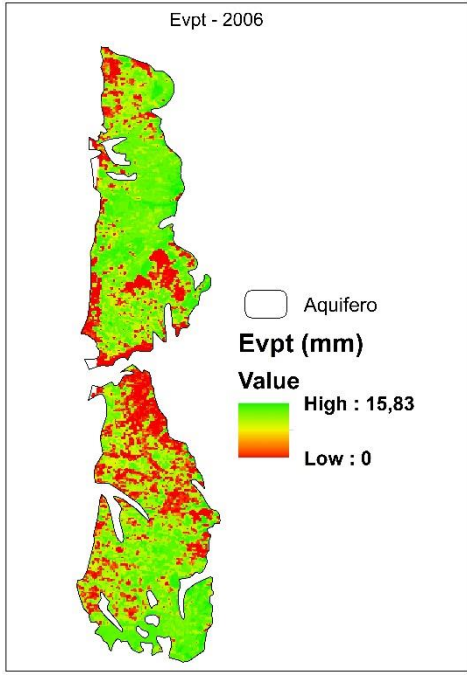
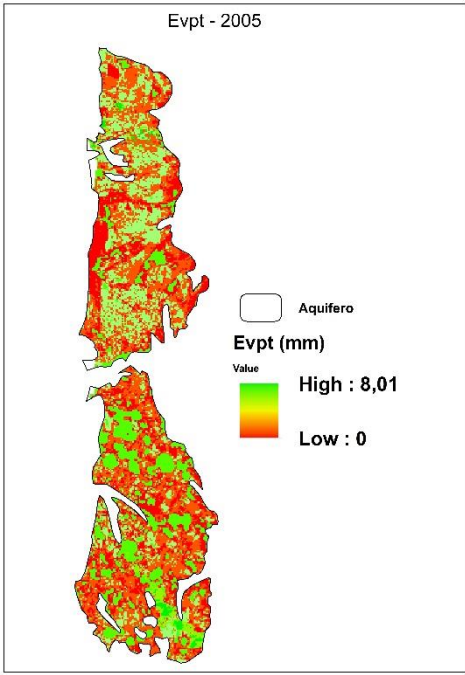
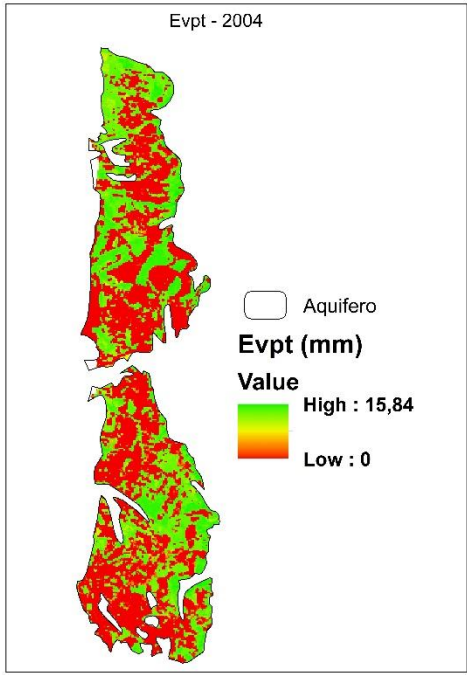


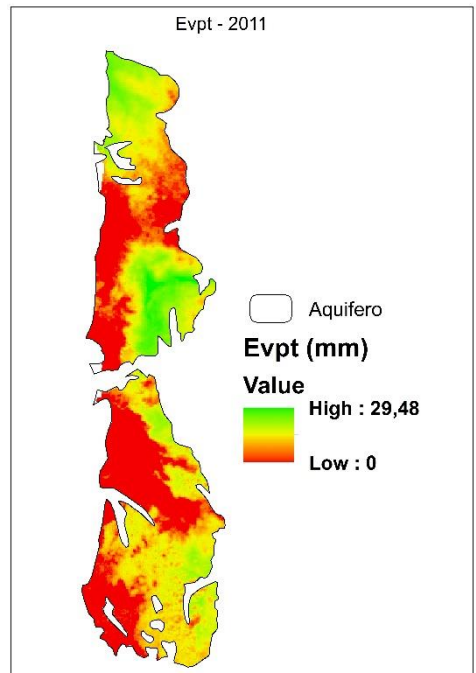
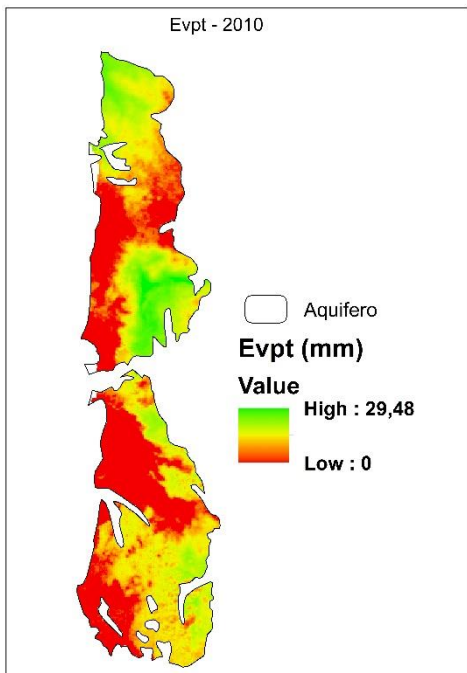
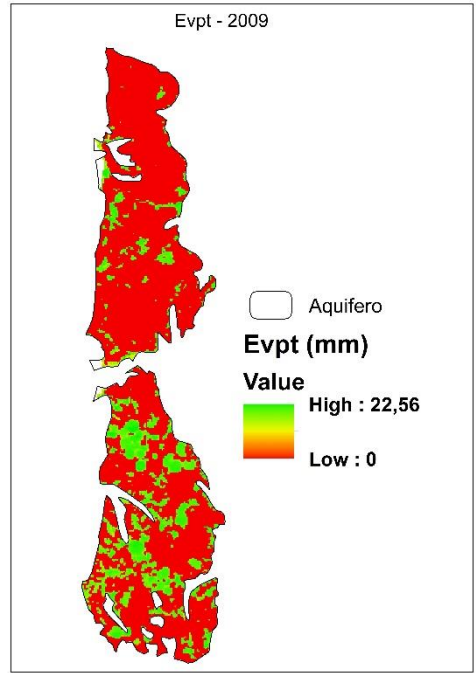
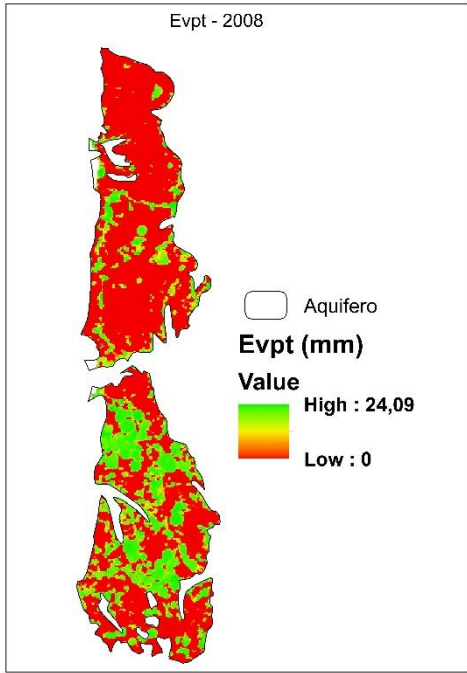


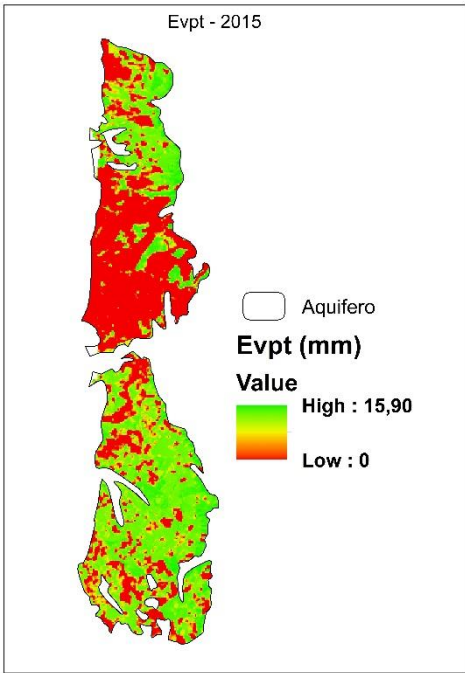
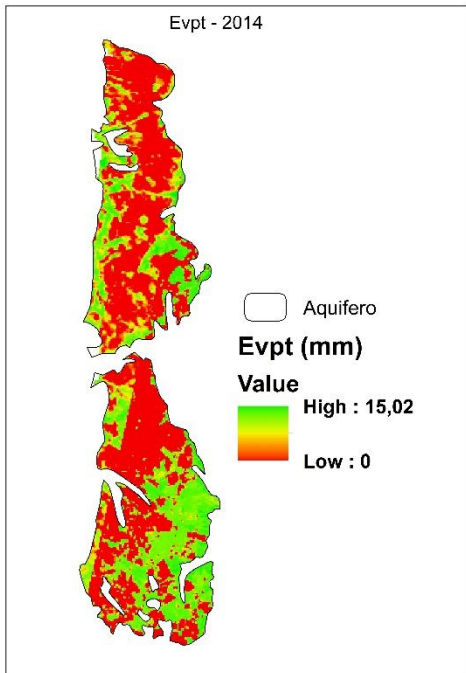
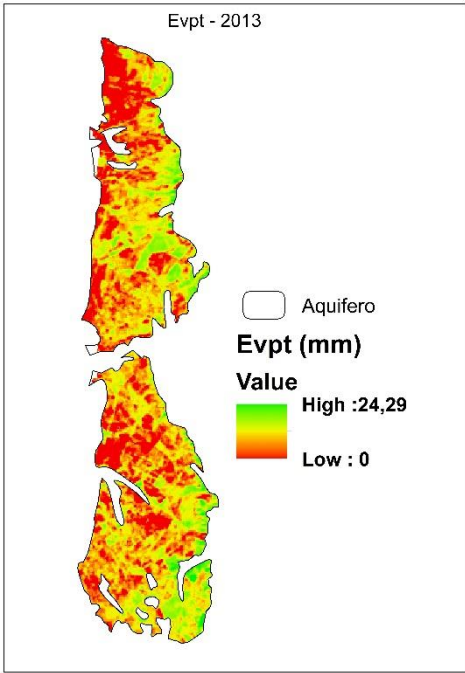
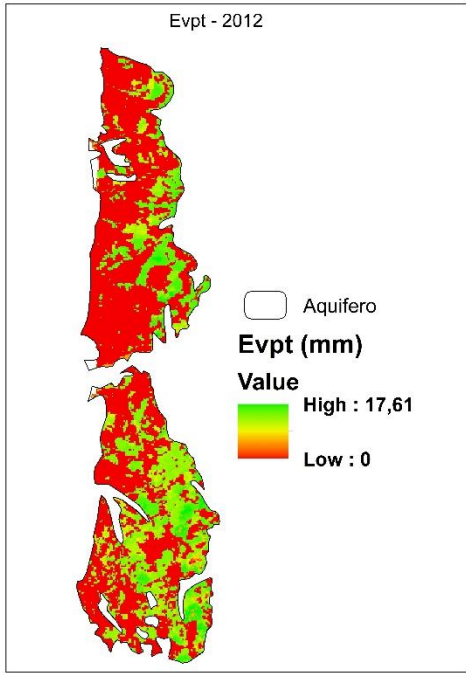


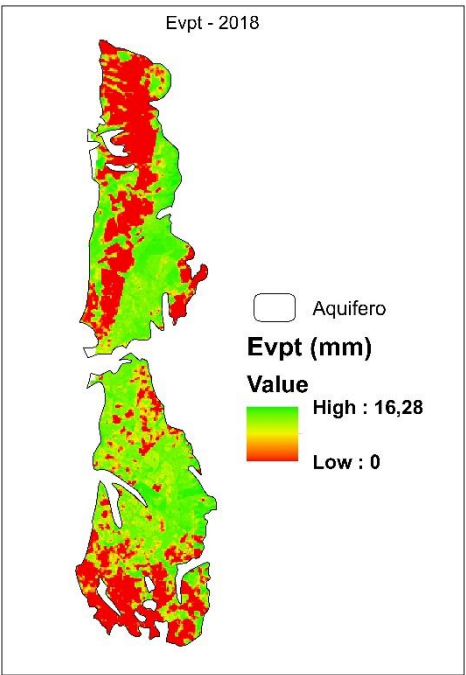
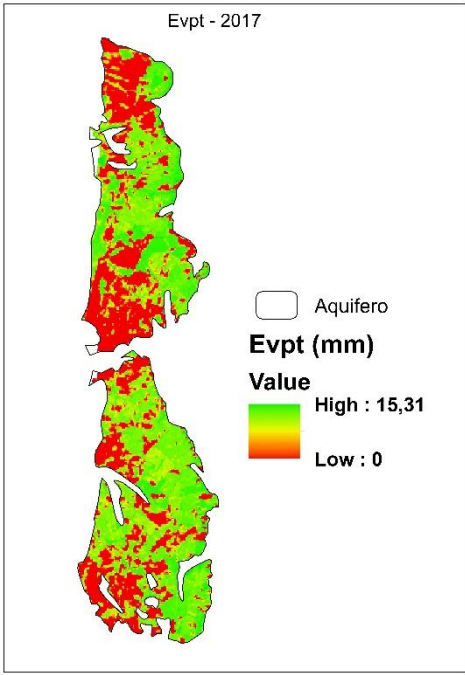
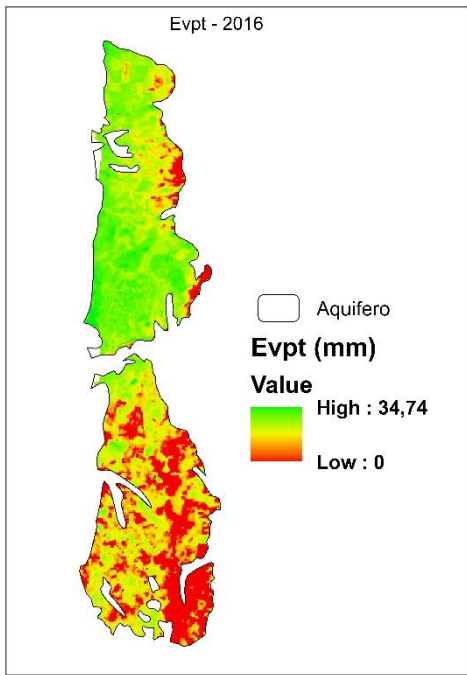
Evolução Espacial Anual da Evapotranspiração De toda a Área do Aquífero – Período Húmido (Valores Diários):





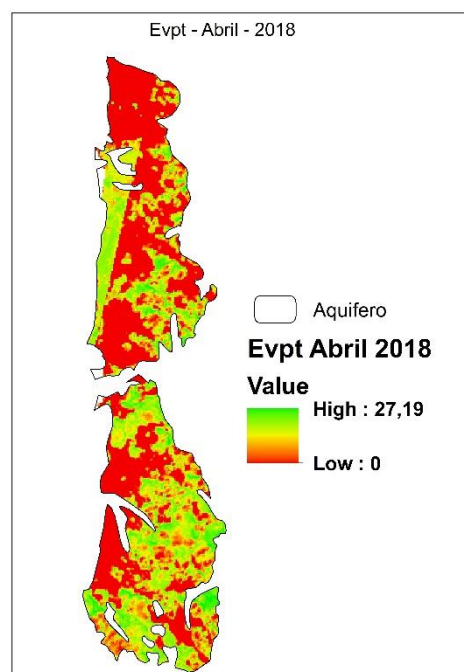
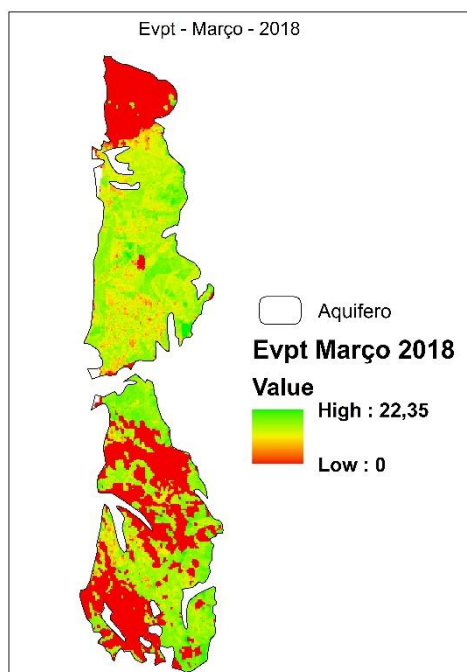
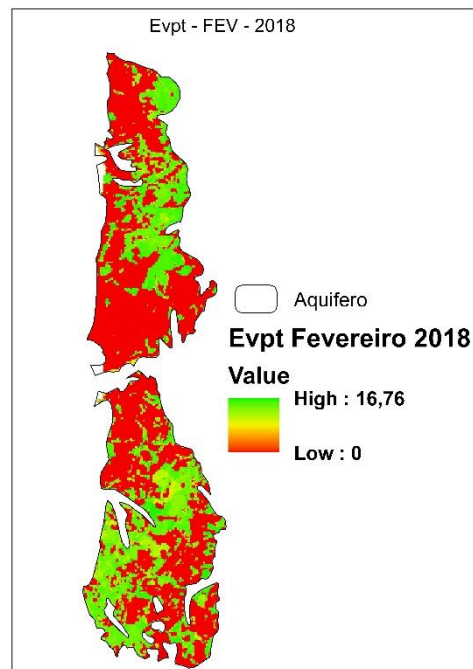
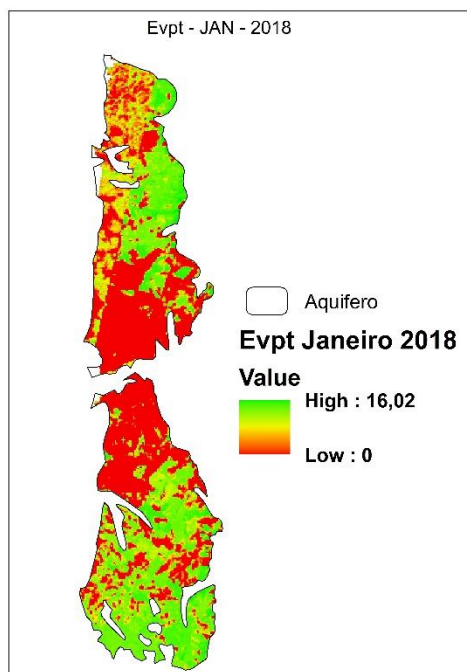


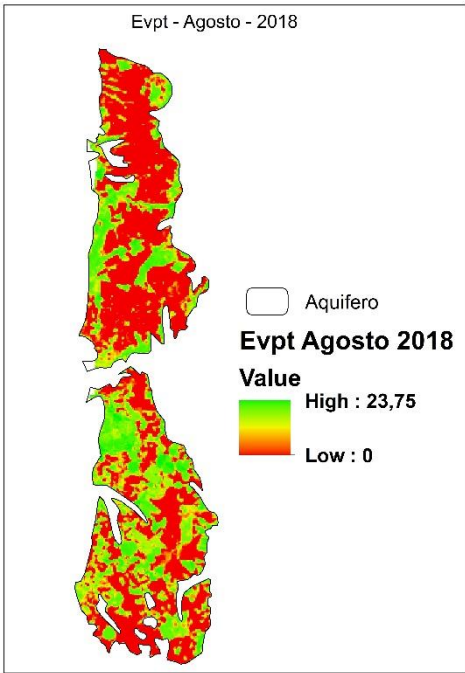
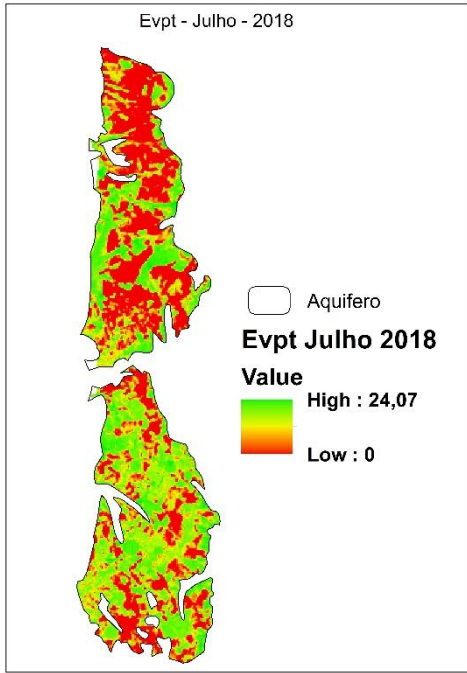
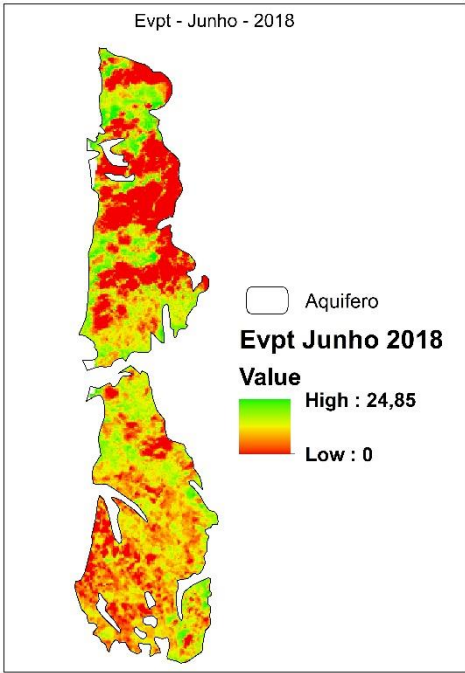
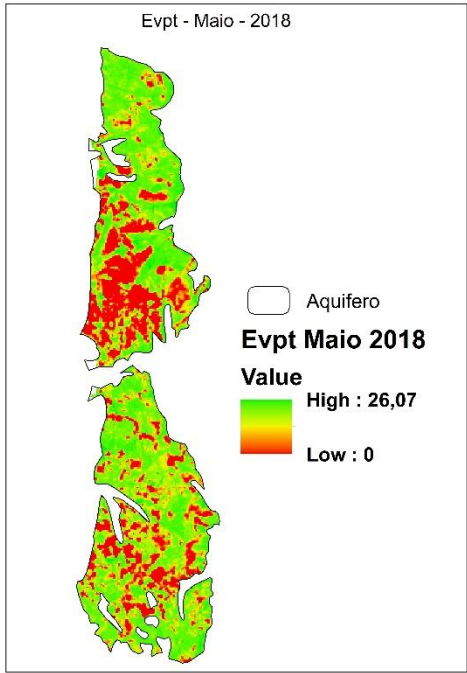


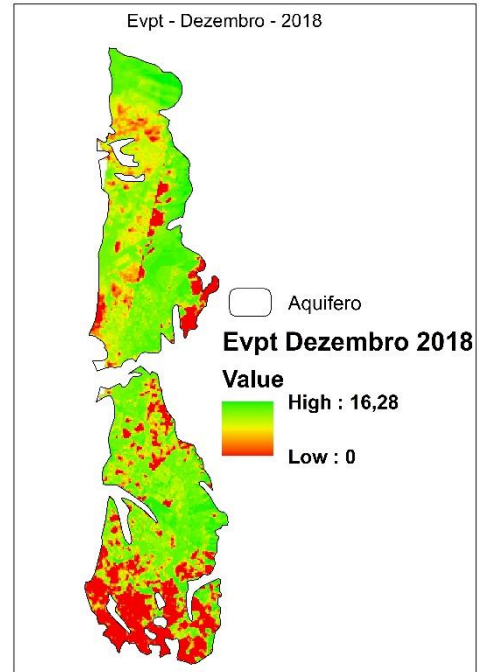
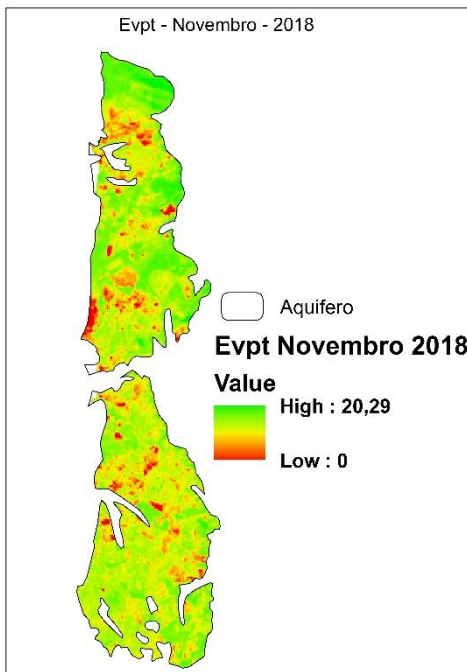
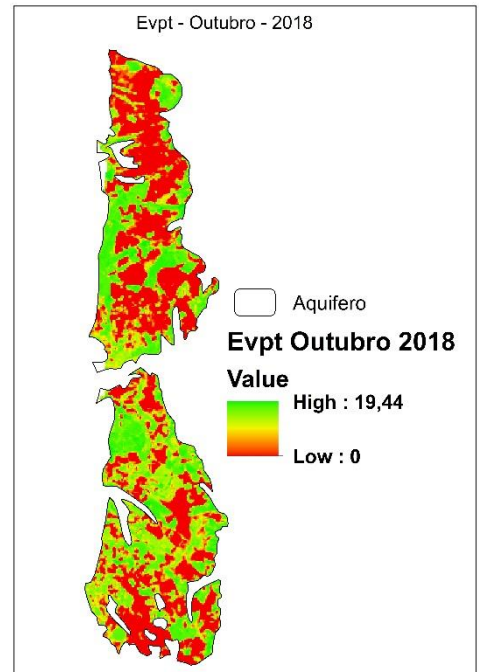
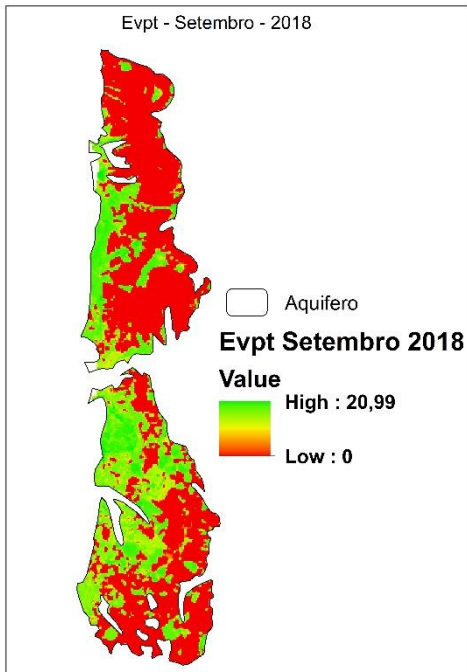


ANEXO 8:

Evolução Espacial Mensal da Evapotranspiração De toda a Área do Aquífero – 2018
(Valores Diários):

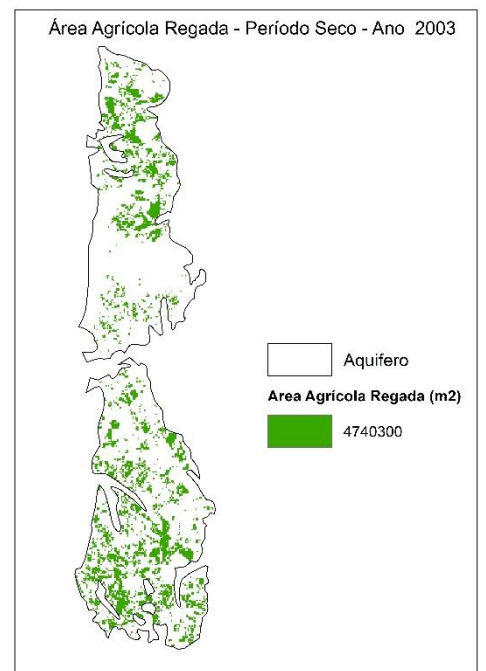
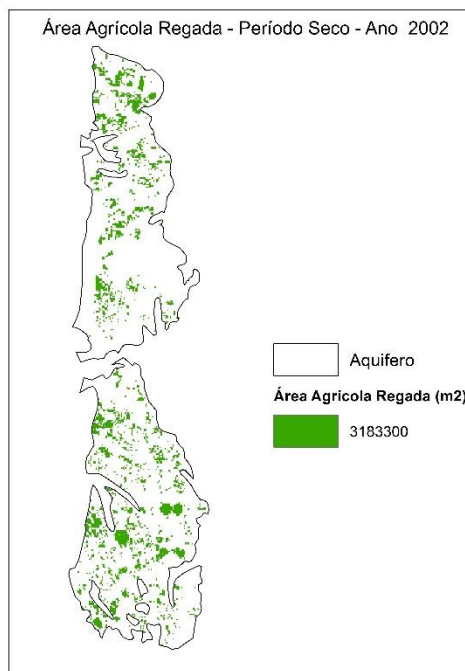
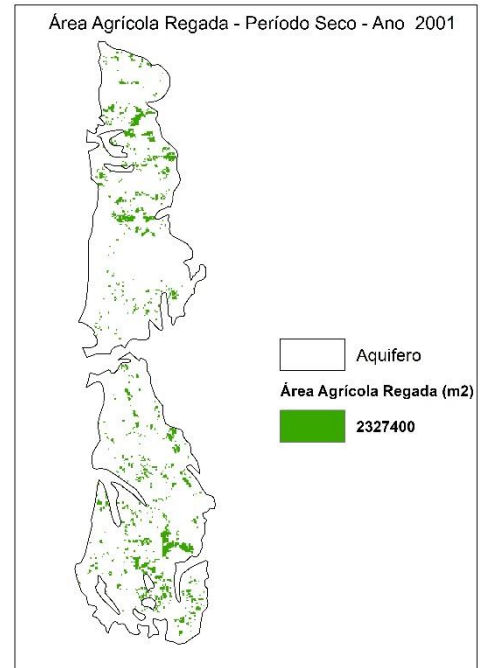
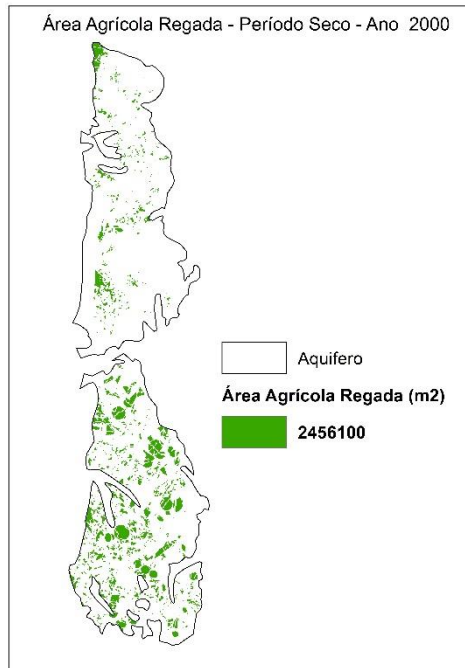


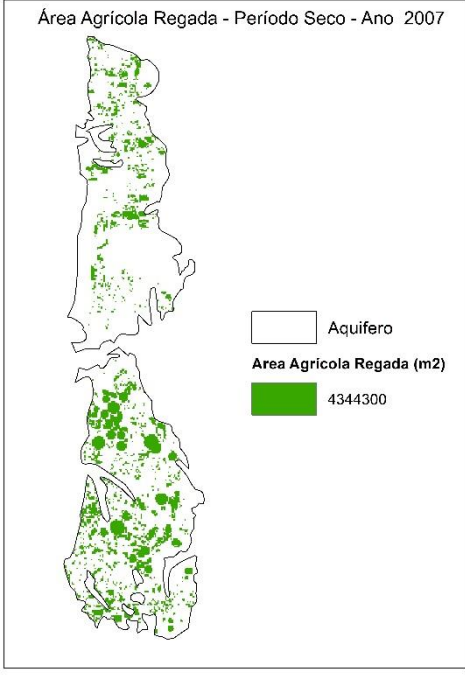
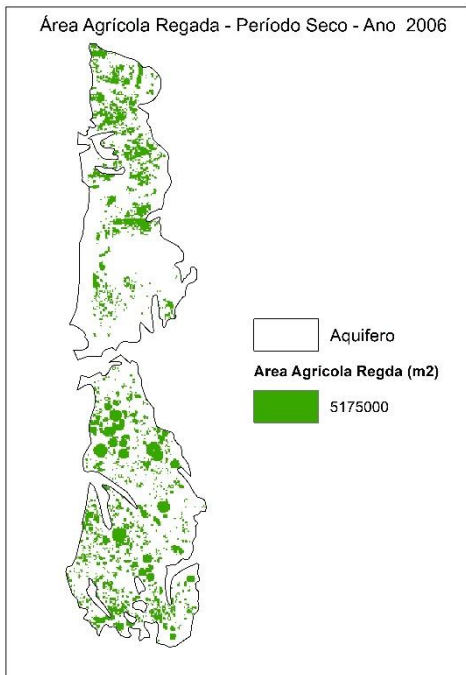
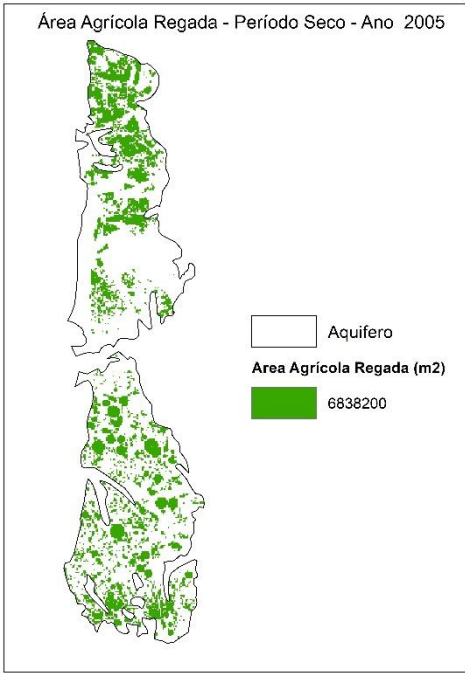
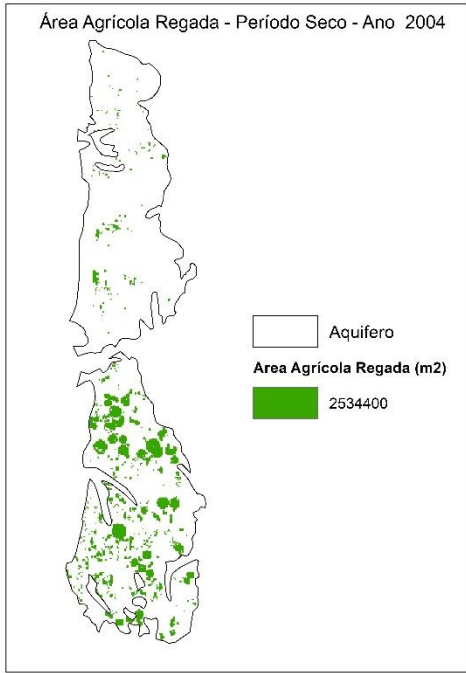


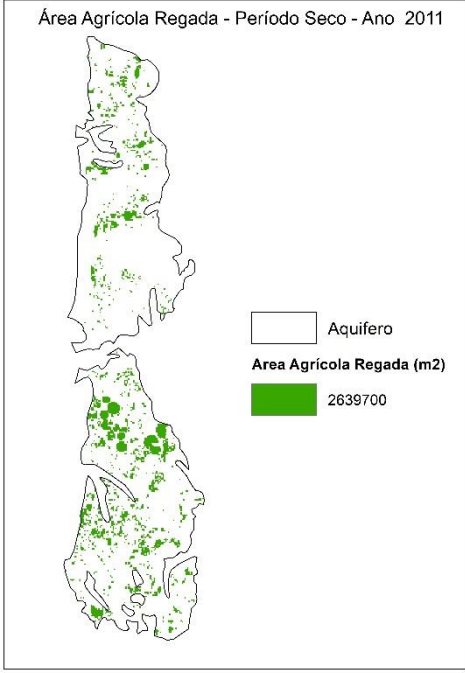
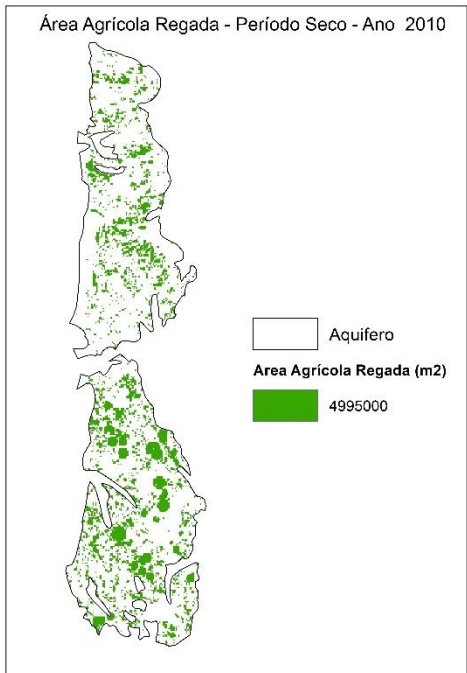
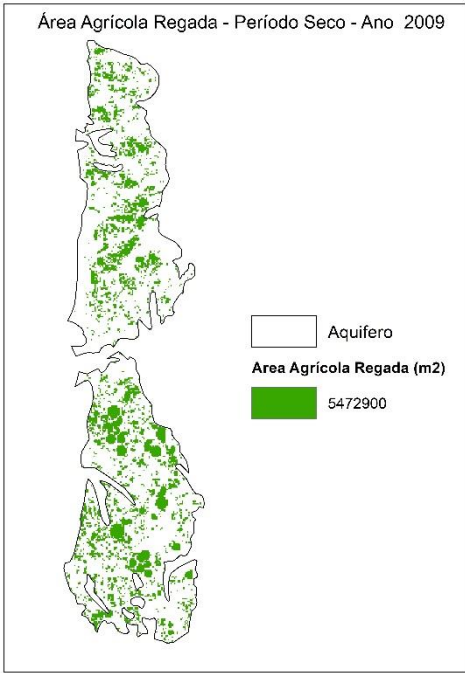
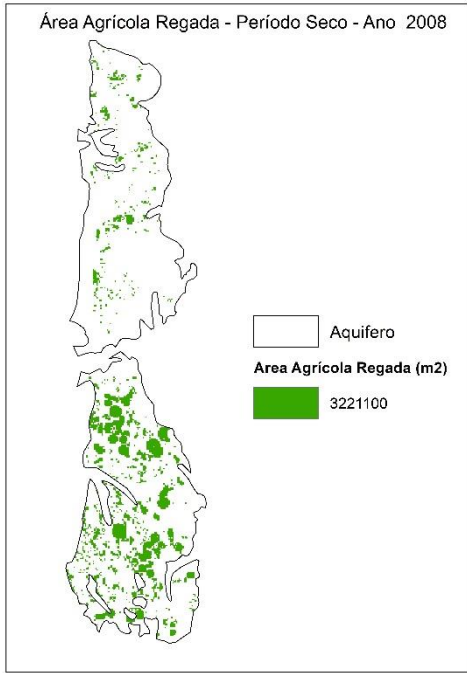


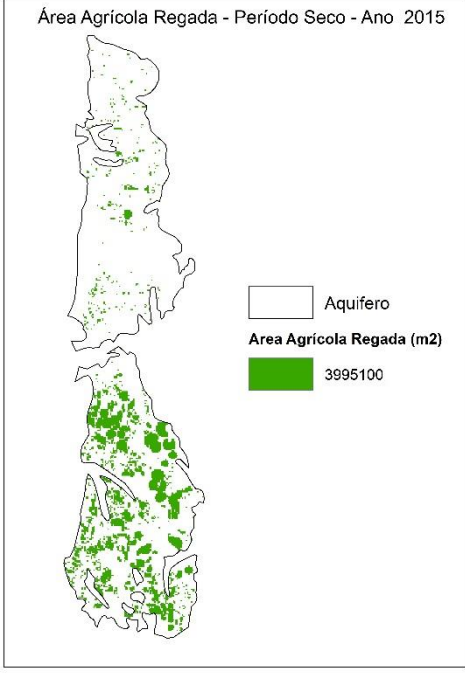
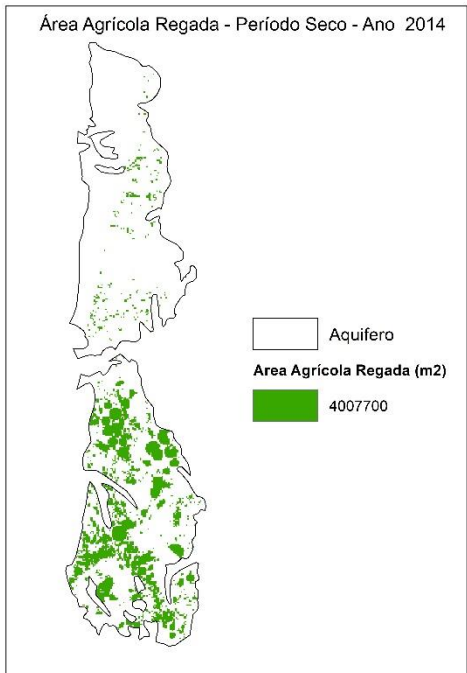
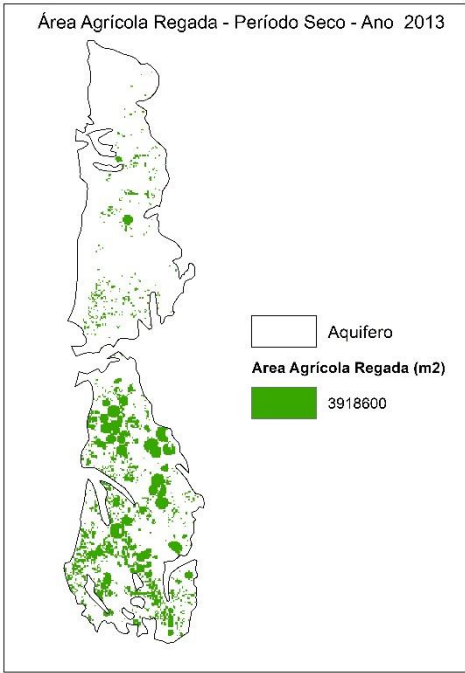
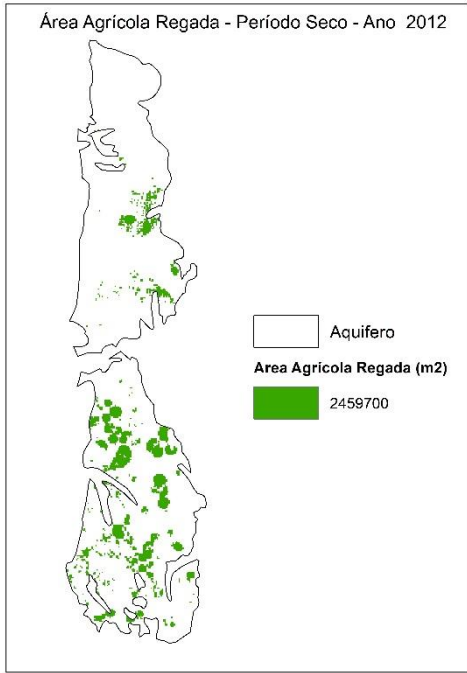
Anexo 9:

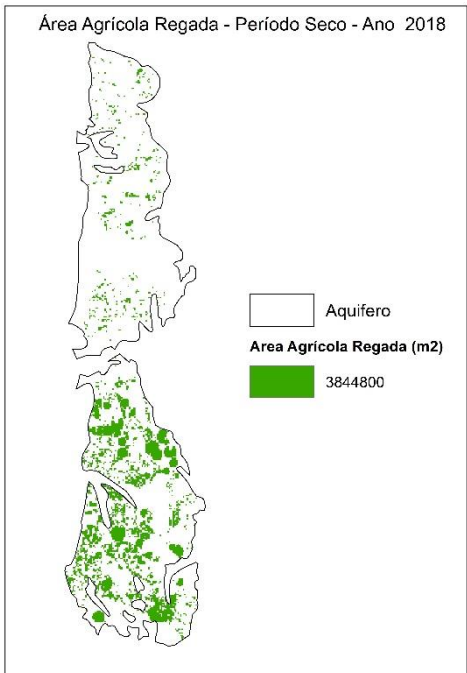
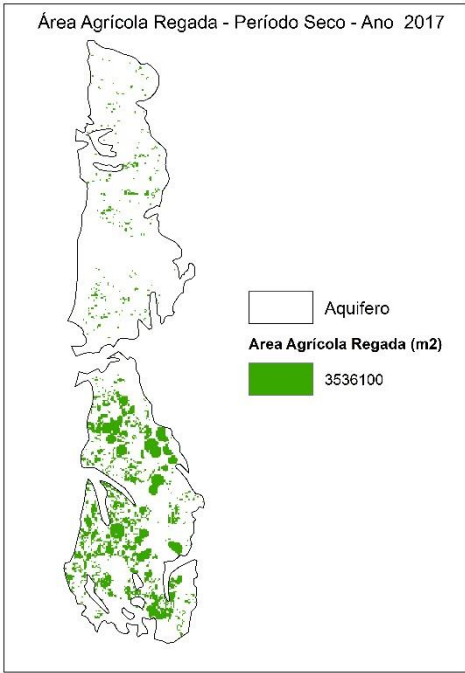
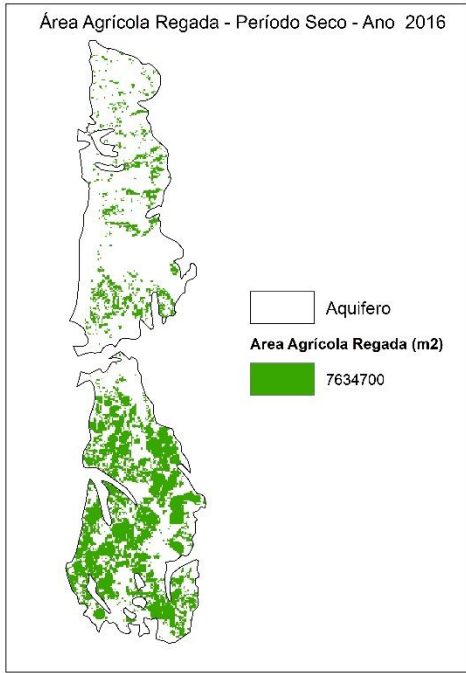
Evolução Espacial Anual das Áreas Agrícolas Regadas De toda a Área do Aquífero – Período Seco:





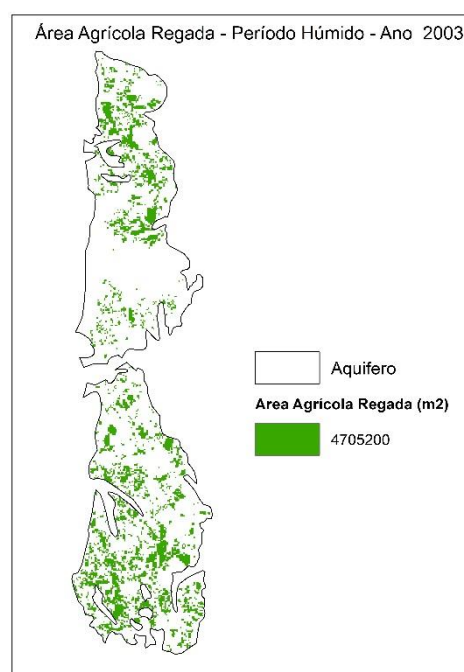
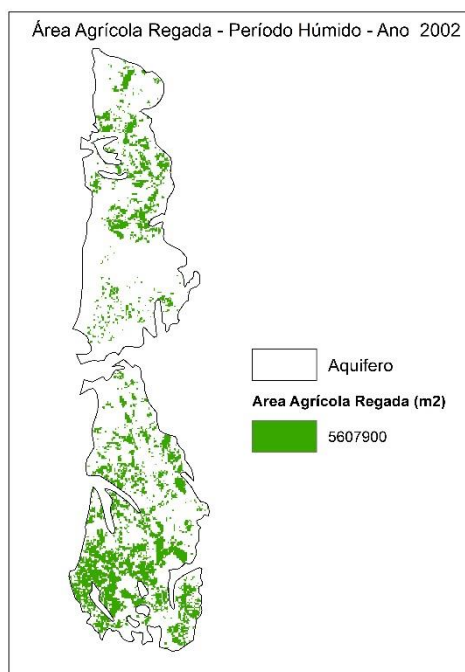
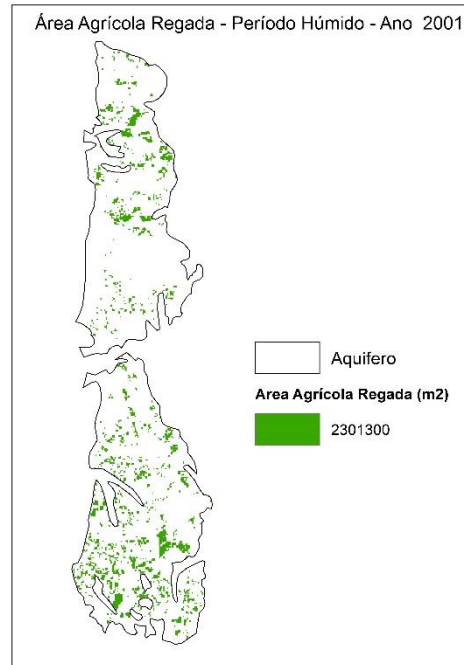
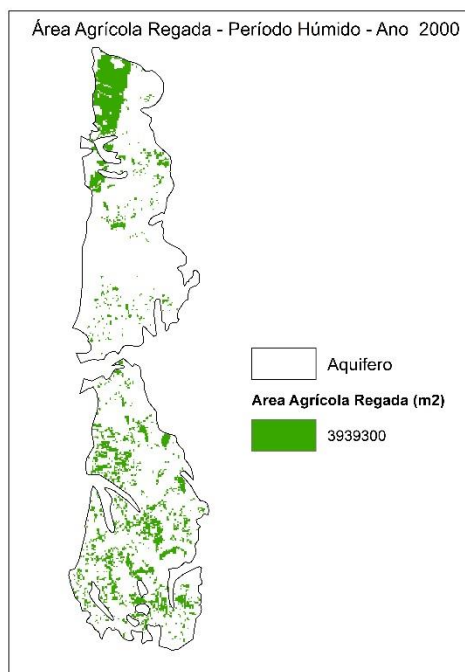


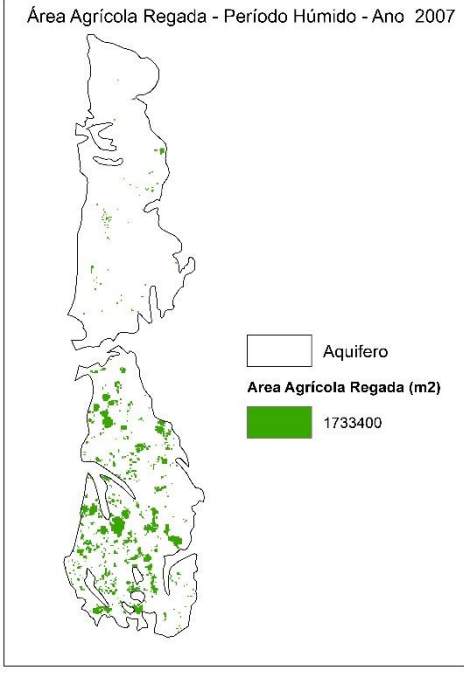
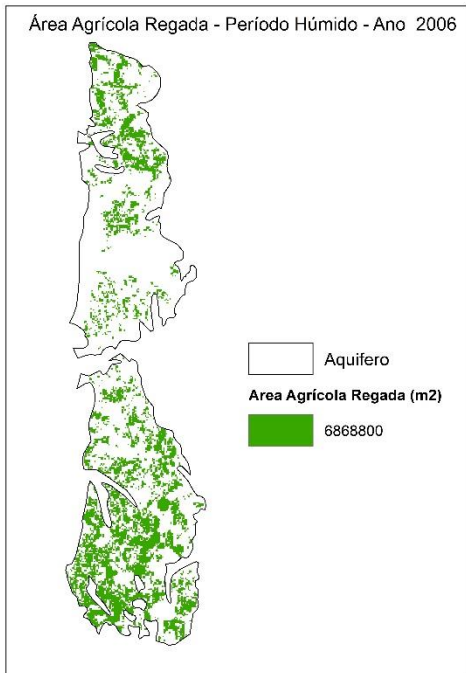
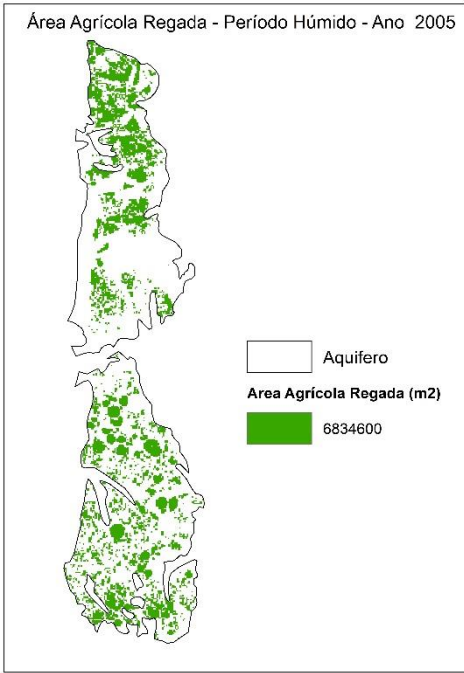
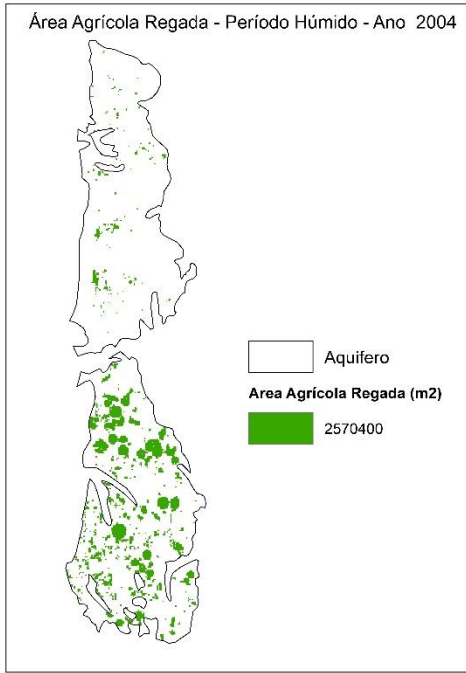


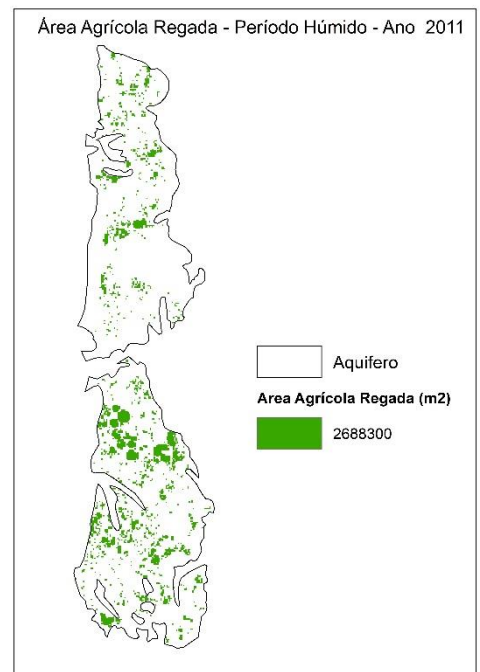
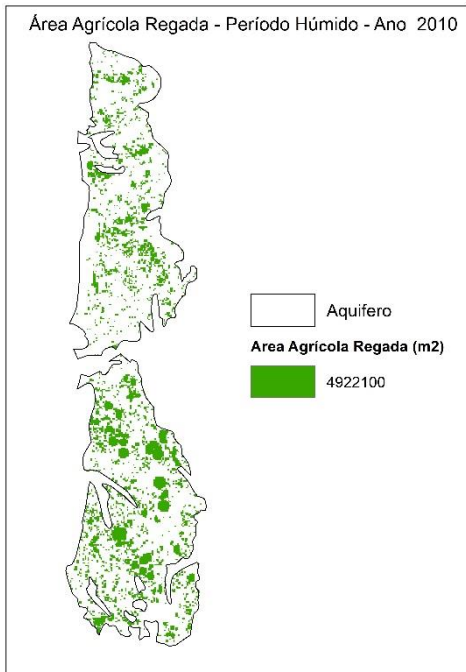
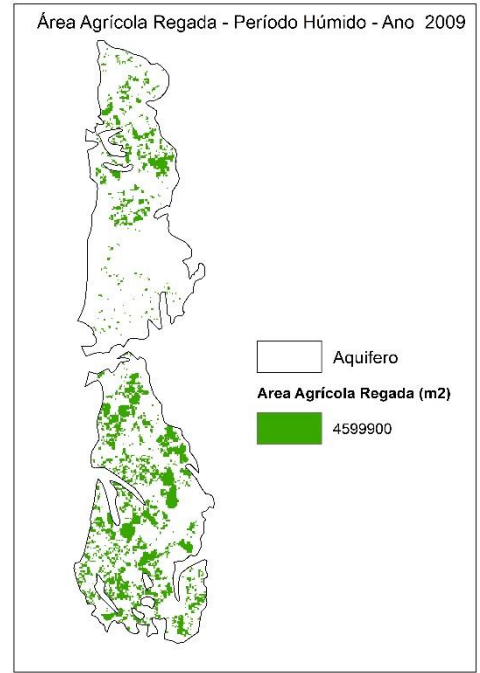
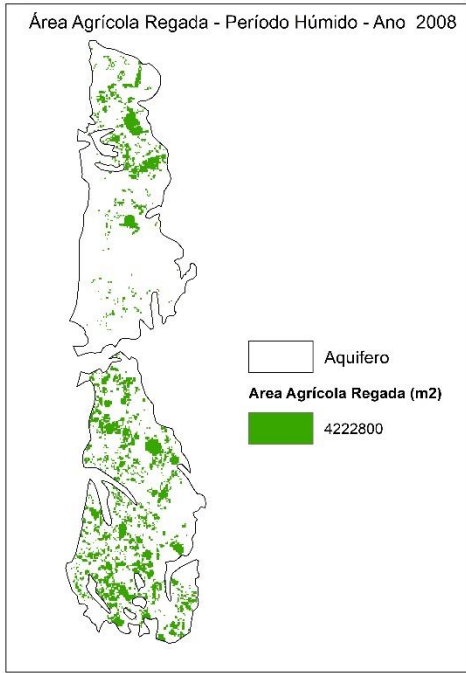


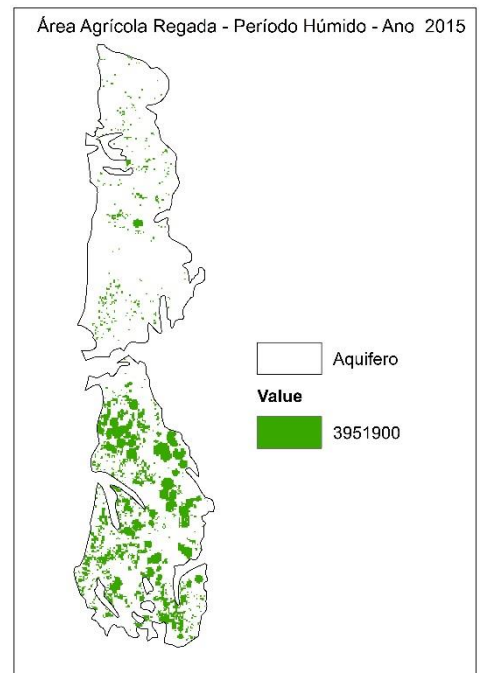
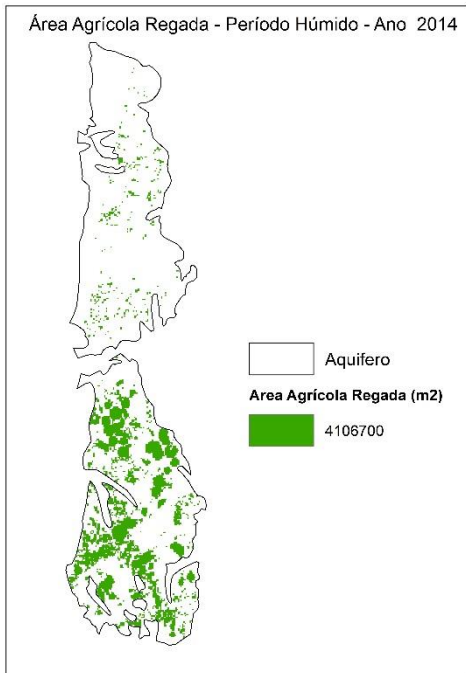
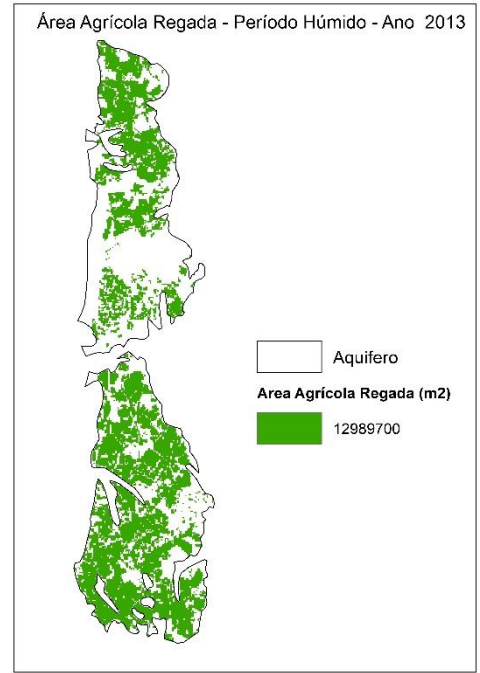
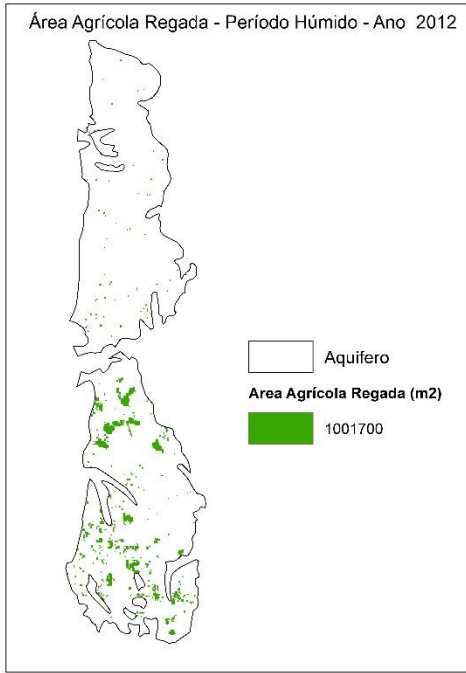
Anexo 10:

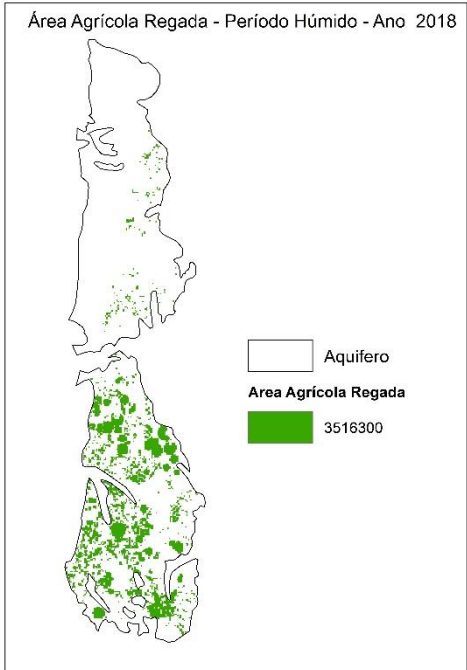
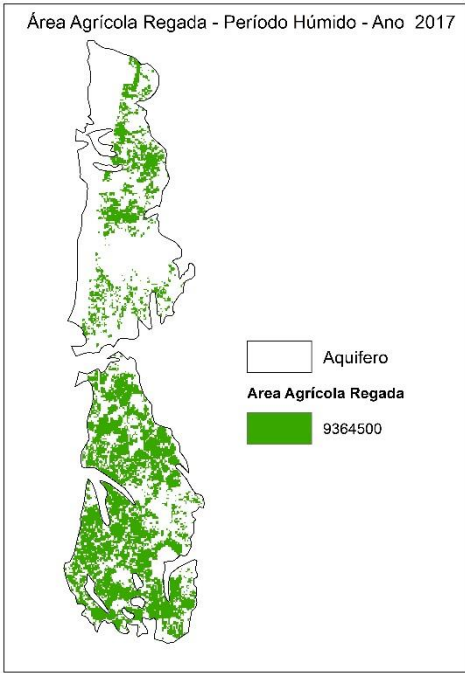
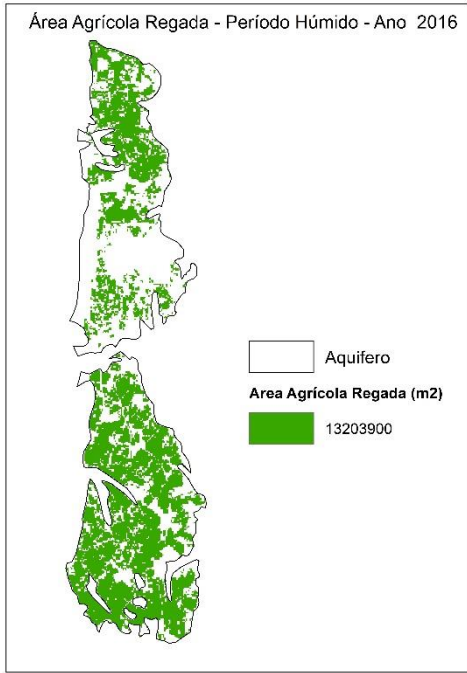
Evolução Espacial Anual das Áreas Agrícolas Regadas De toda a Área do Aquífero – Período Húmido:





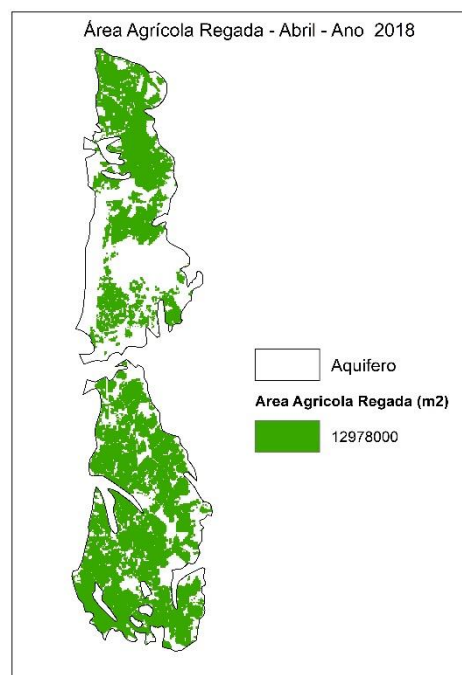
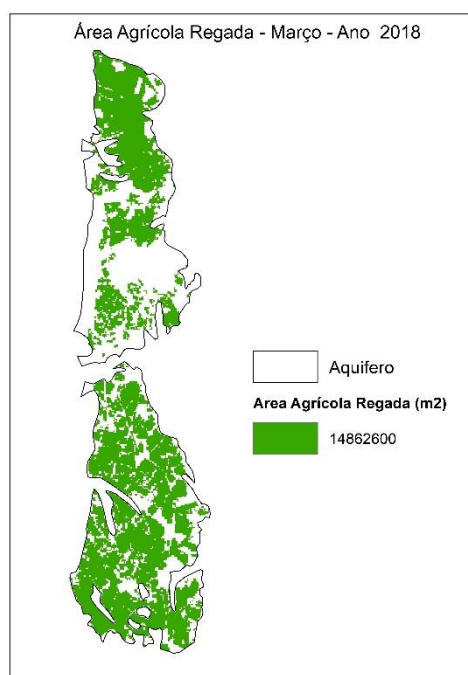
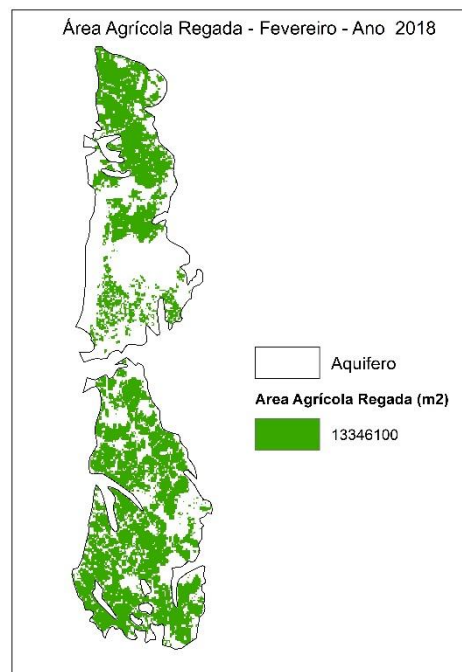
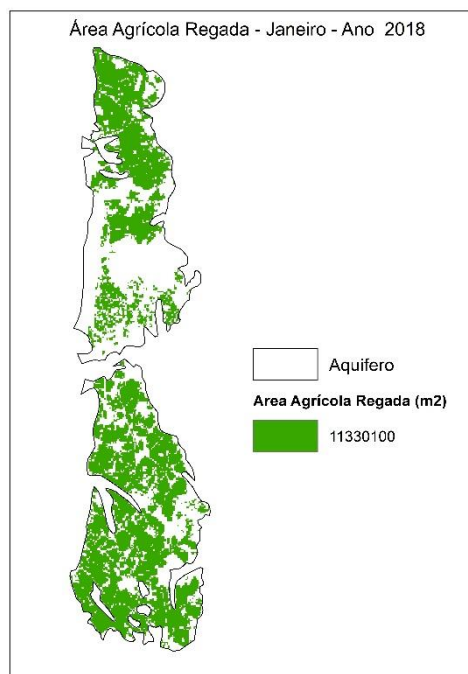


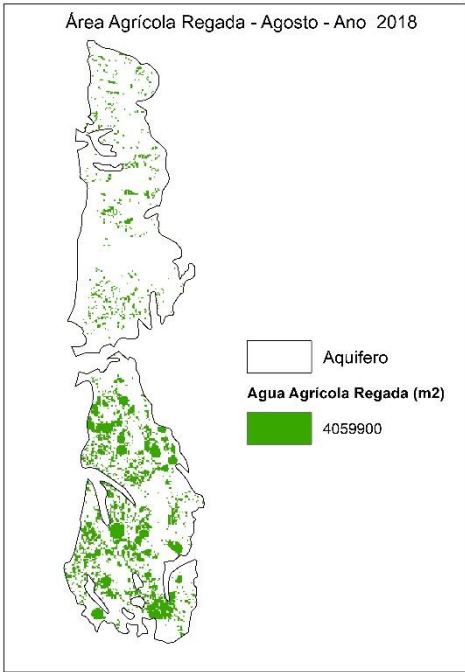
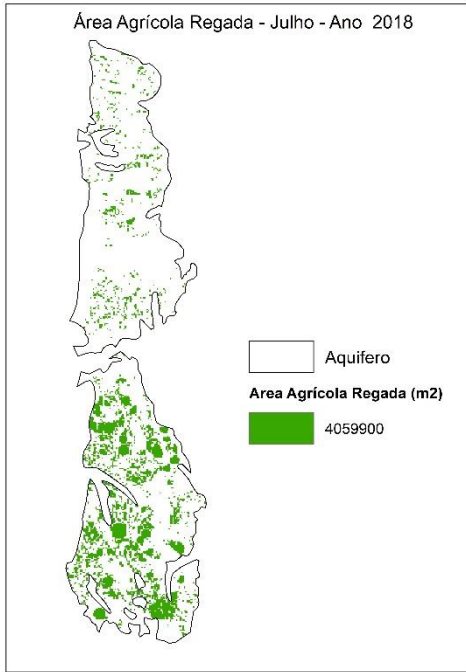
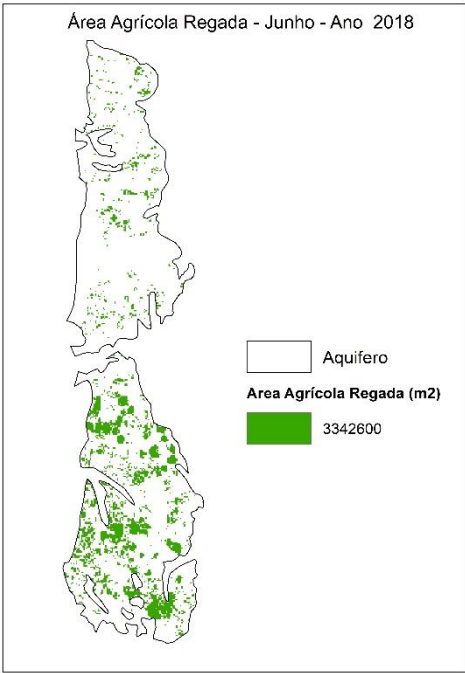
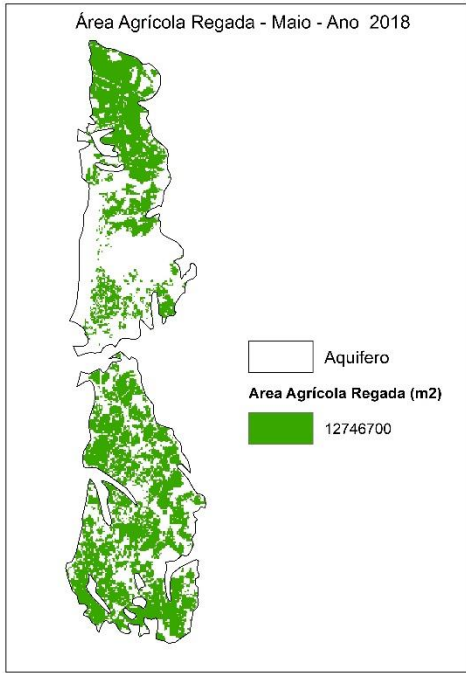


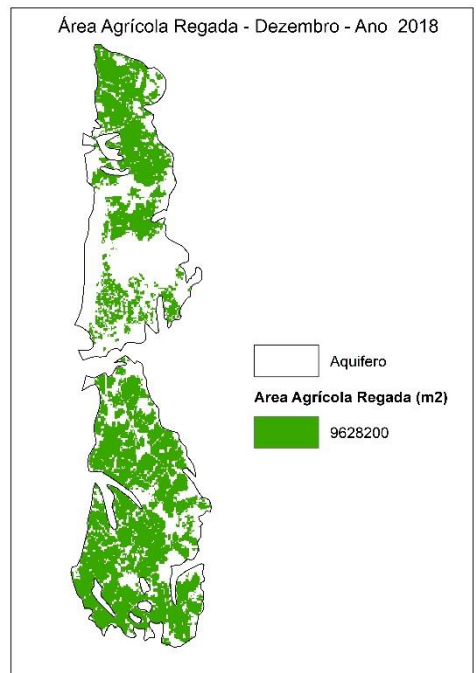
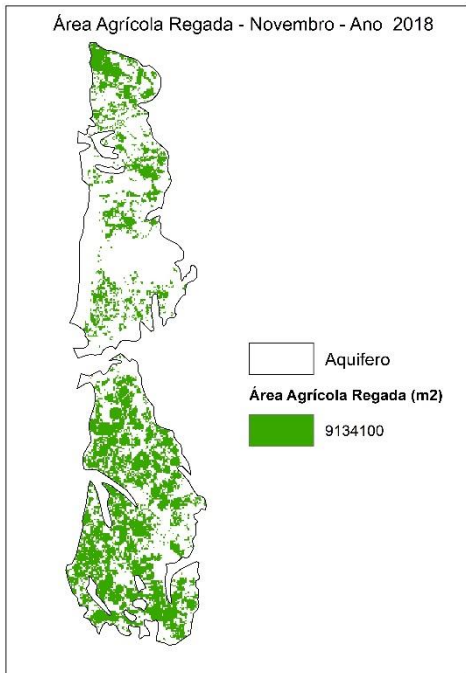
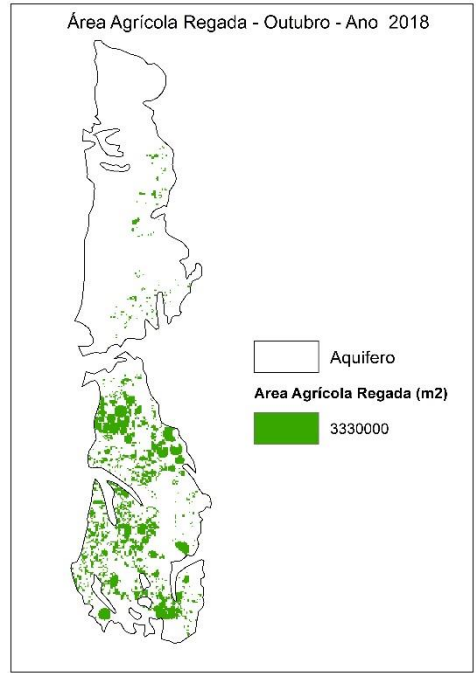
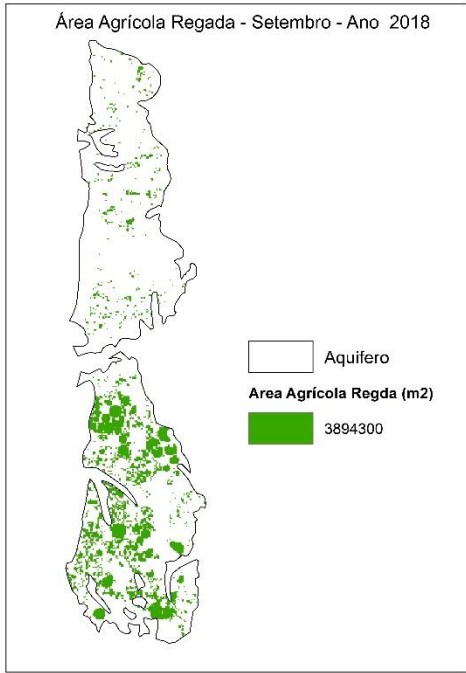


Anexo 11:

Evolução Espacial Anual das Áreas Agrícolas Regadas De toda a Área do Aquífero – Ano 2018:

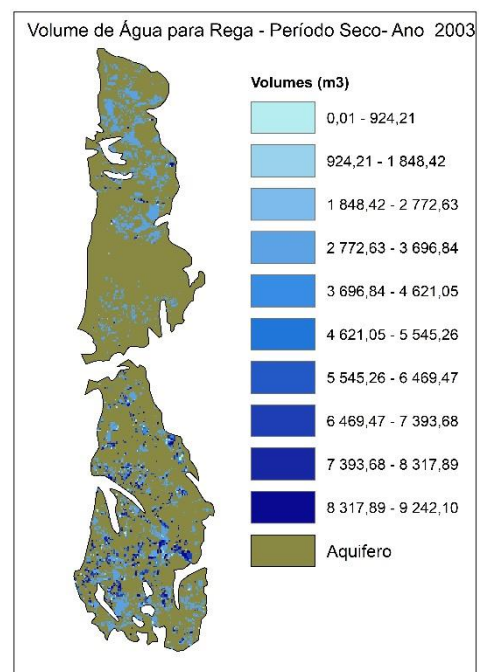
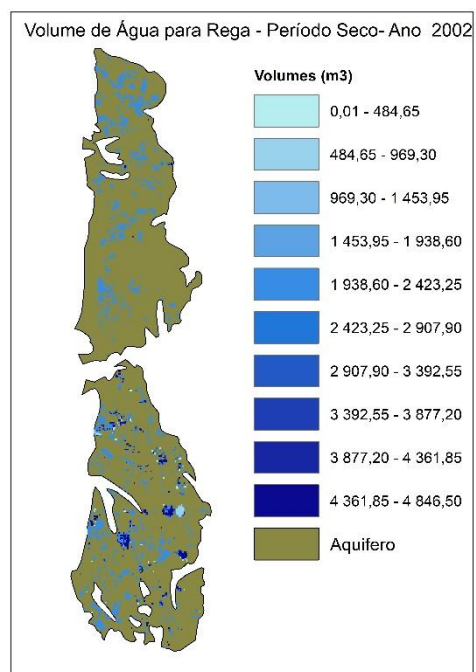
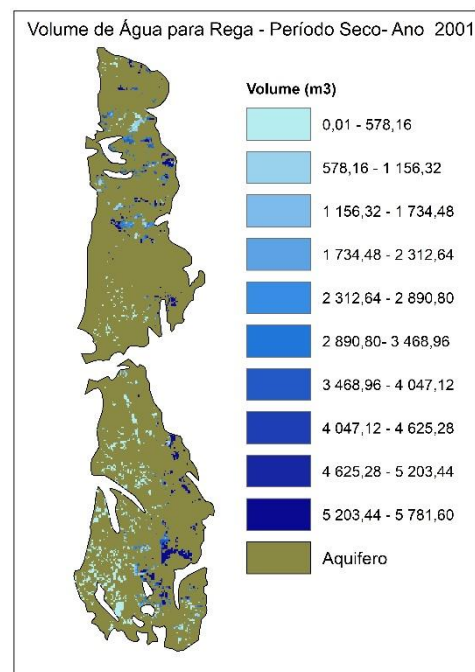
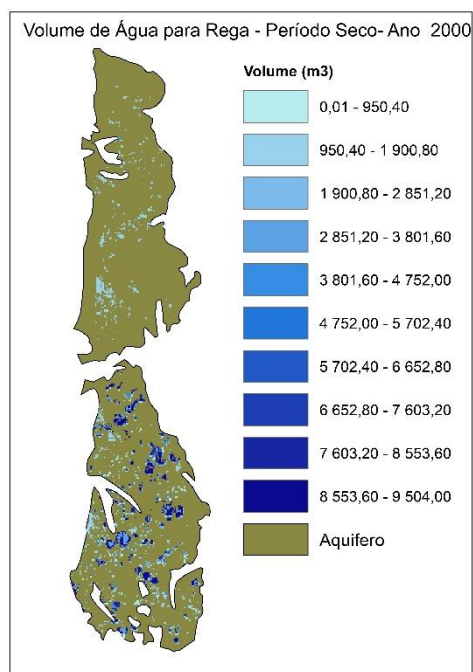


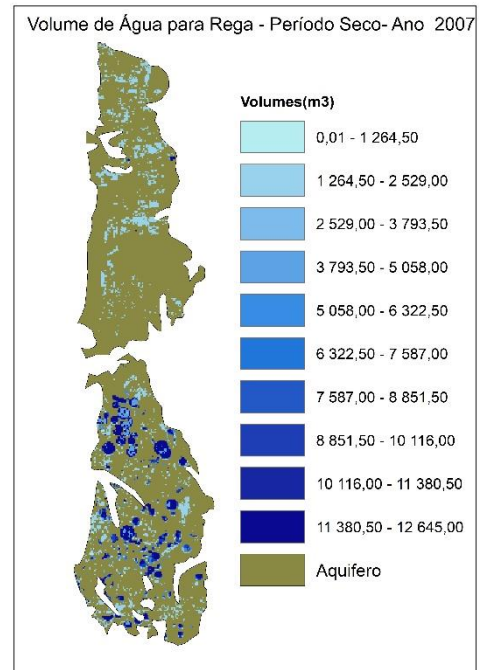
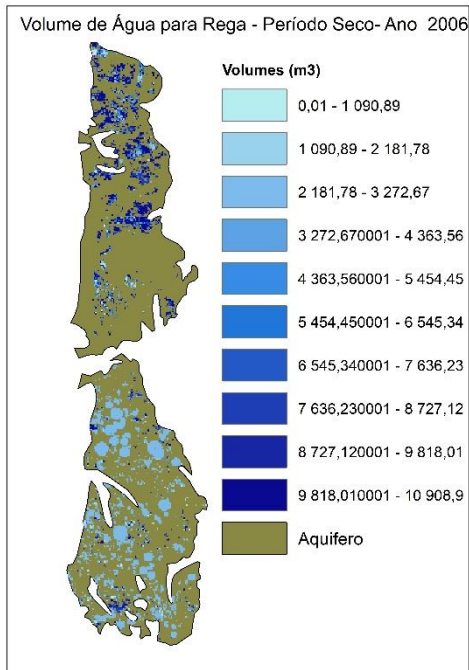
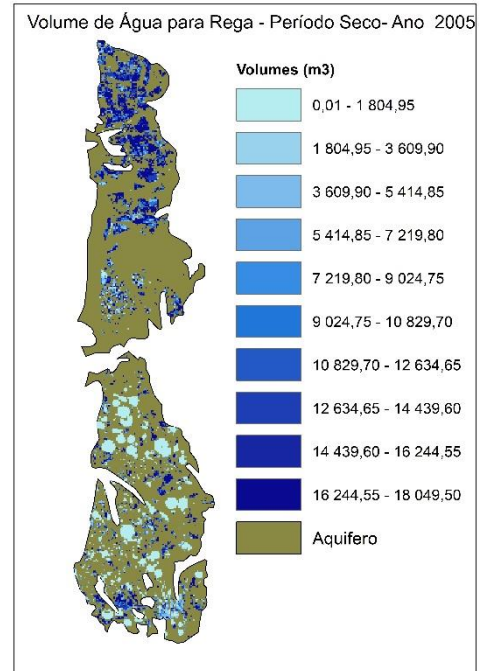
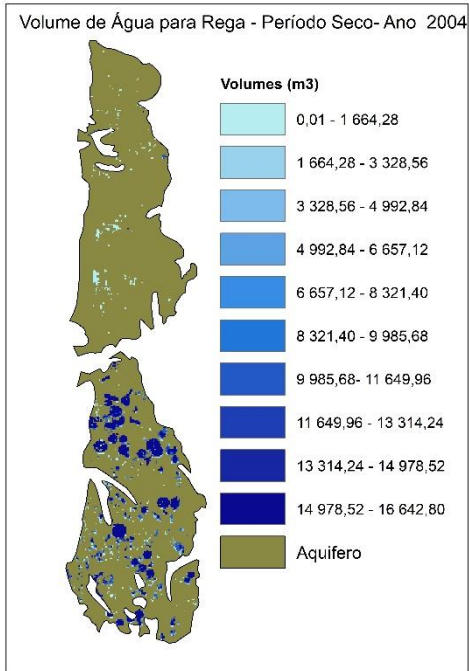


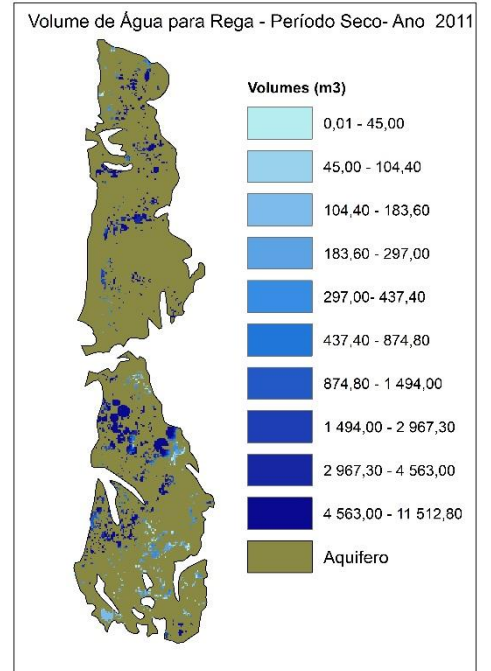
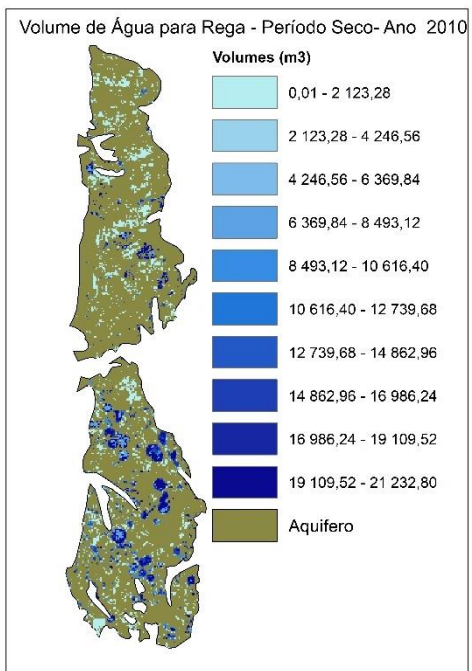
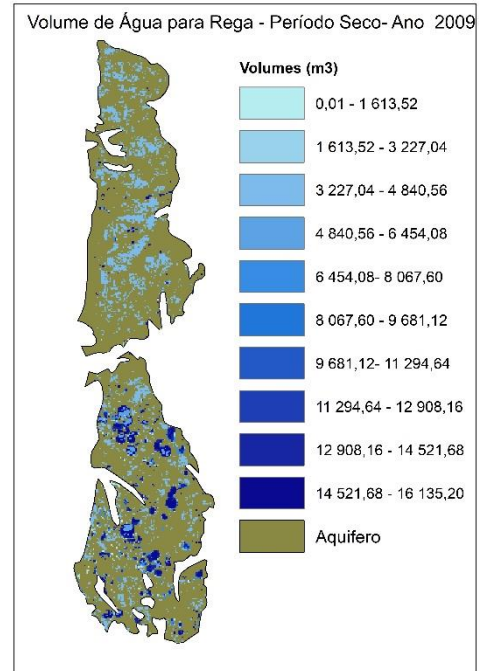
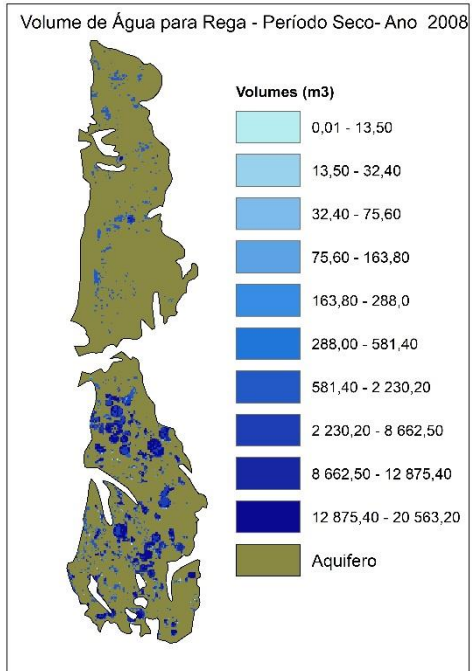


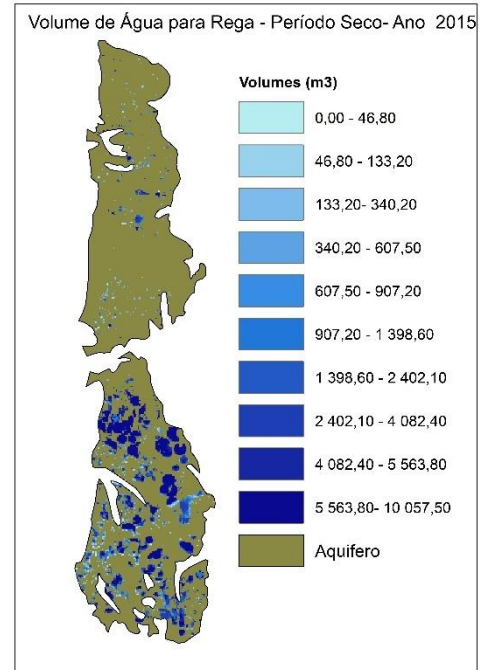
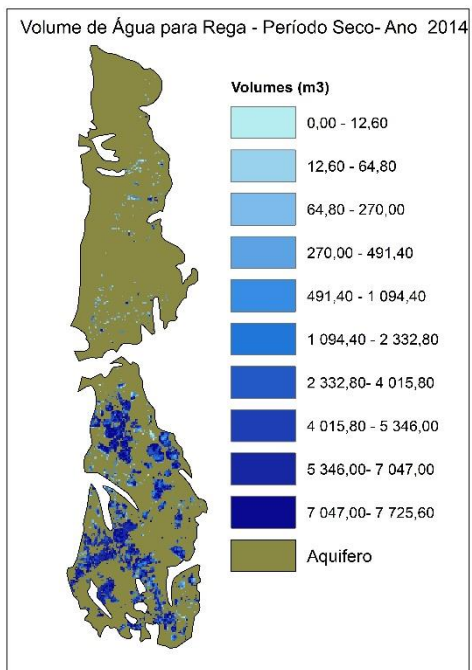
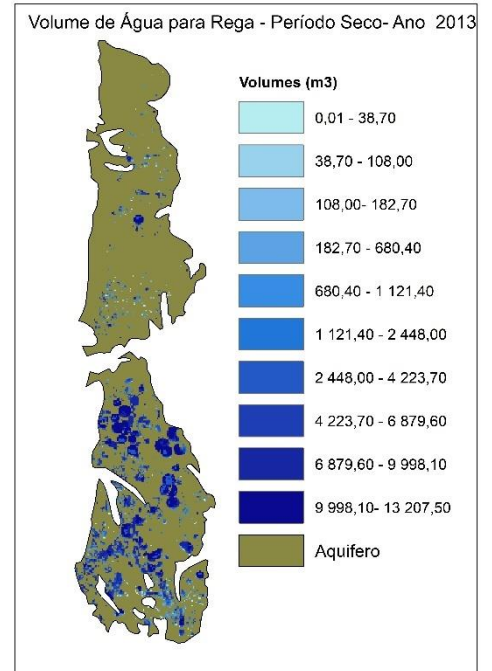
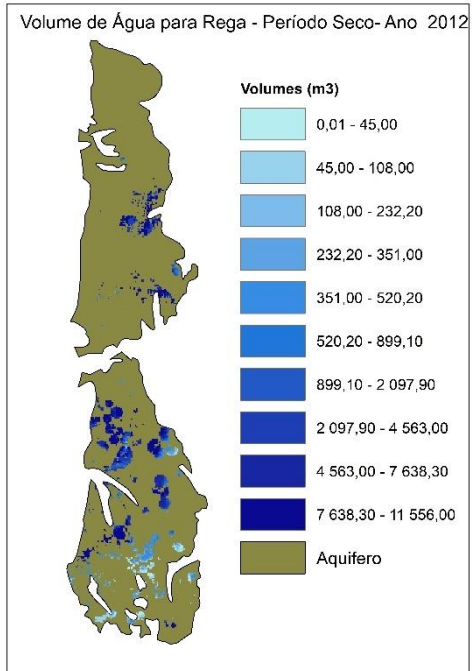
Anexo 12:

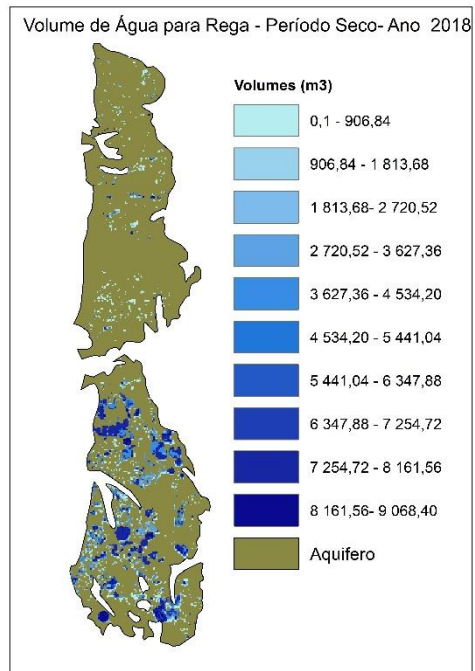
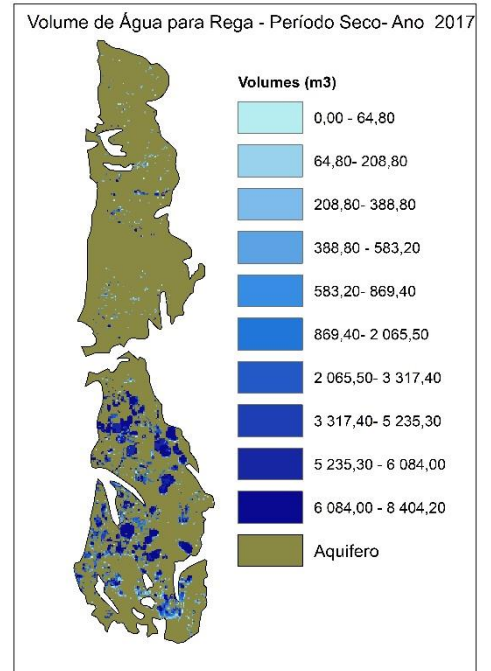
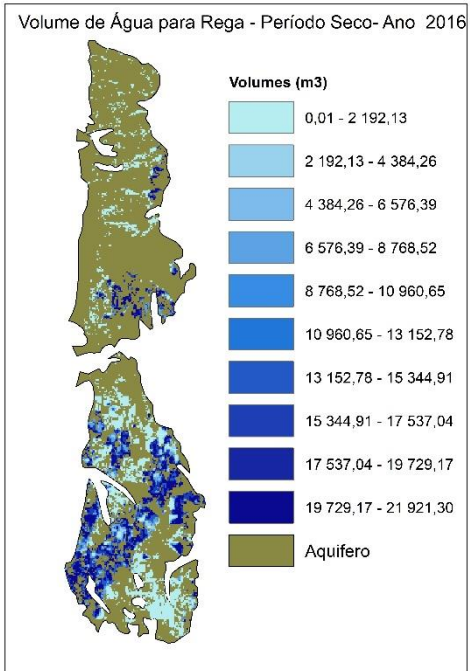
Evolução Espacial Anual dos Volumes de Água para Rega em toda a Área do Aquífero – Período Seco (Valores Diários):





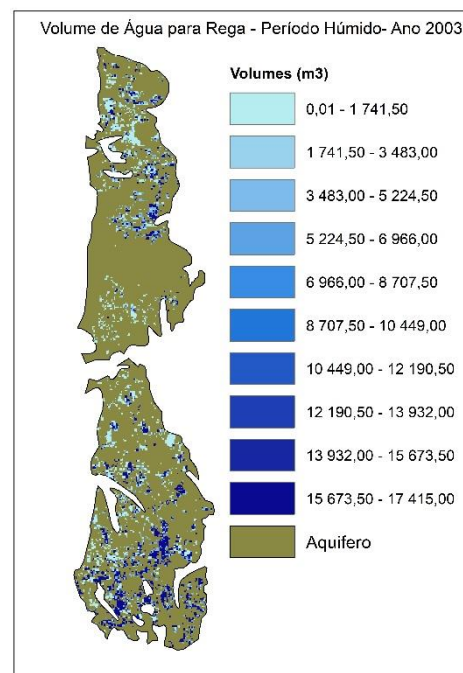
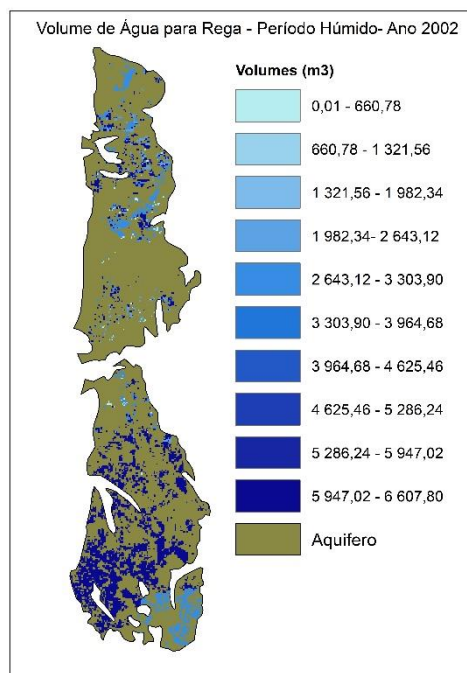
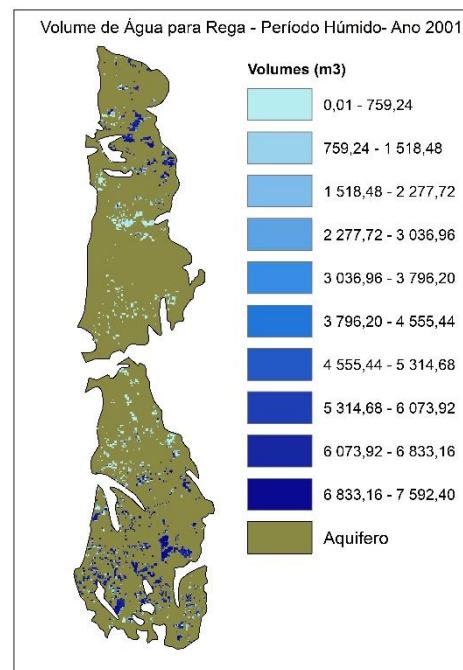
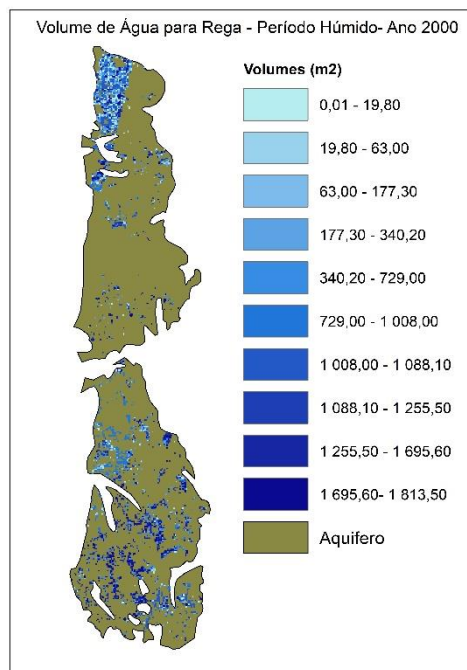


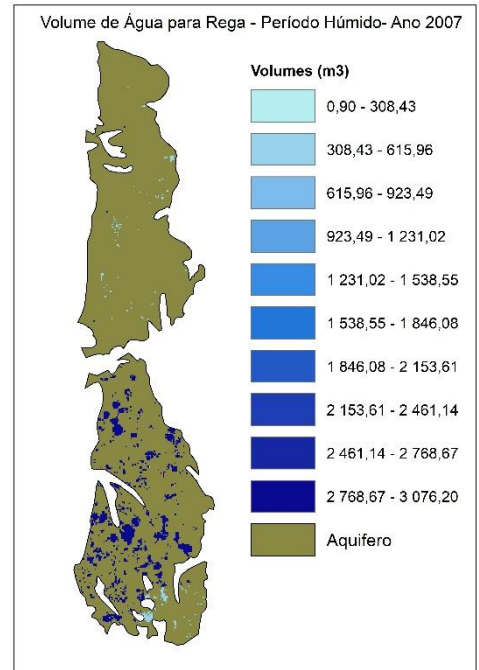
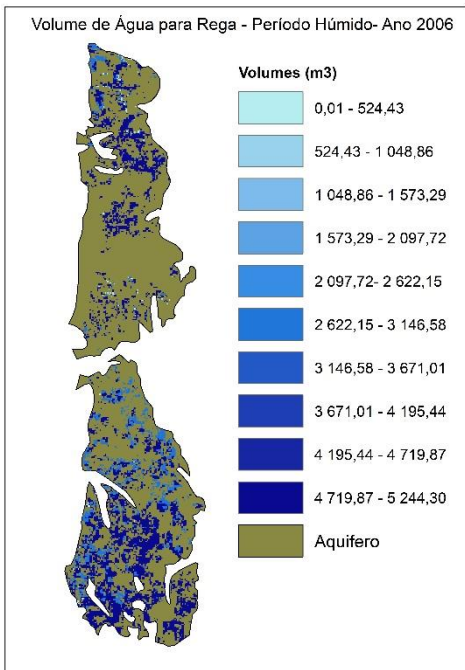
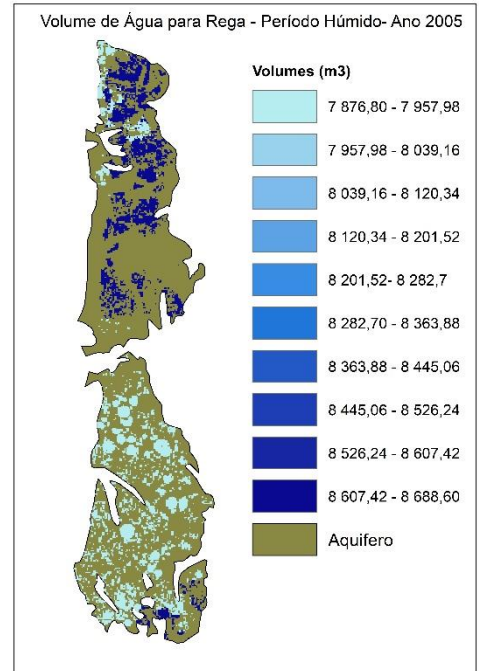
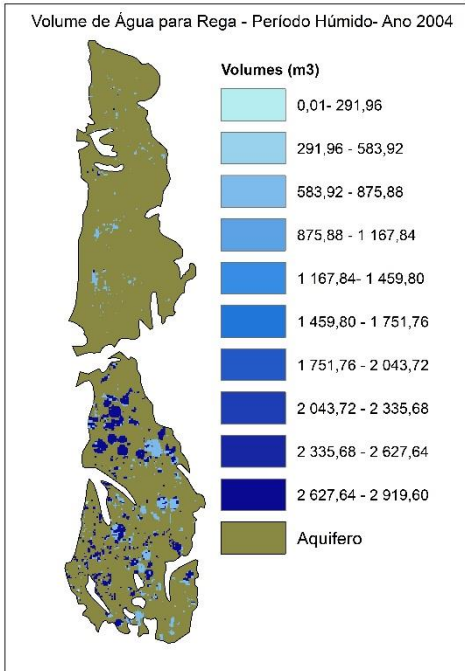


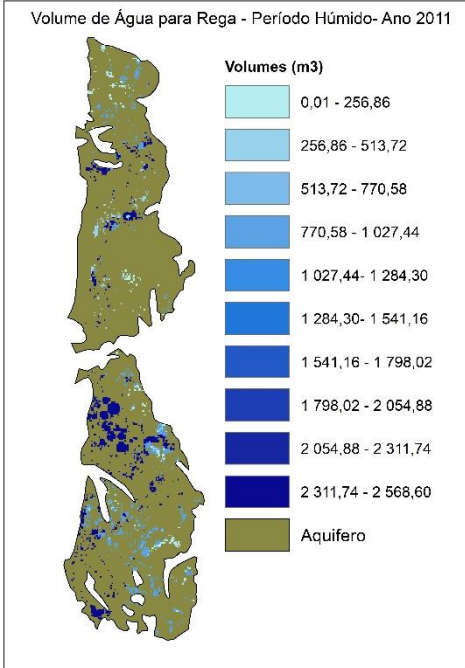
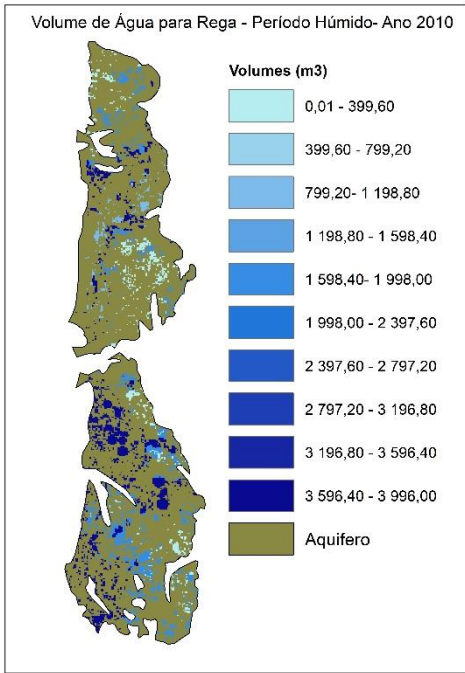
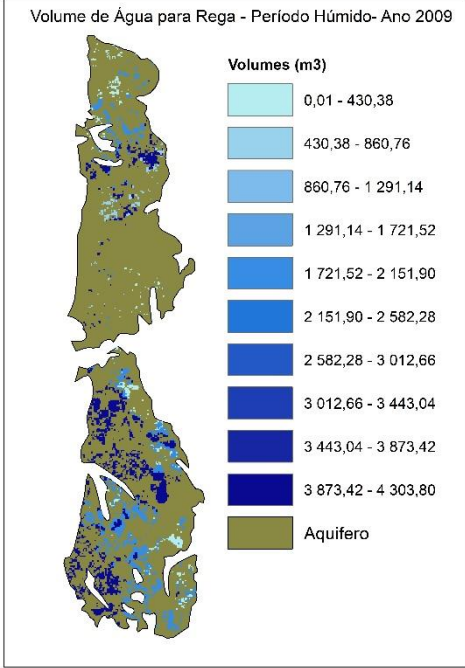
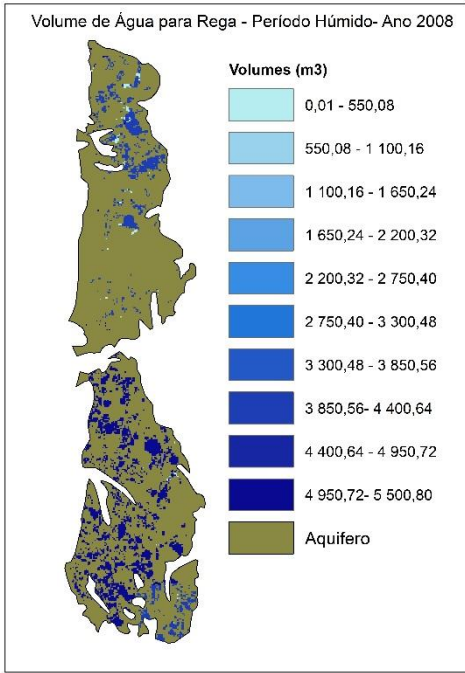


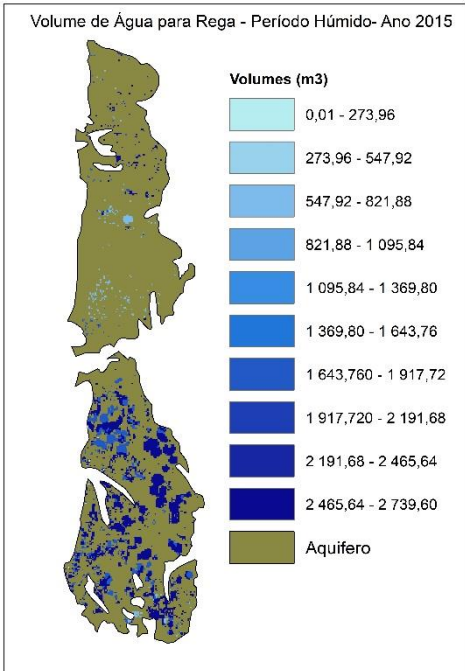
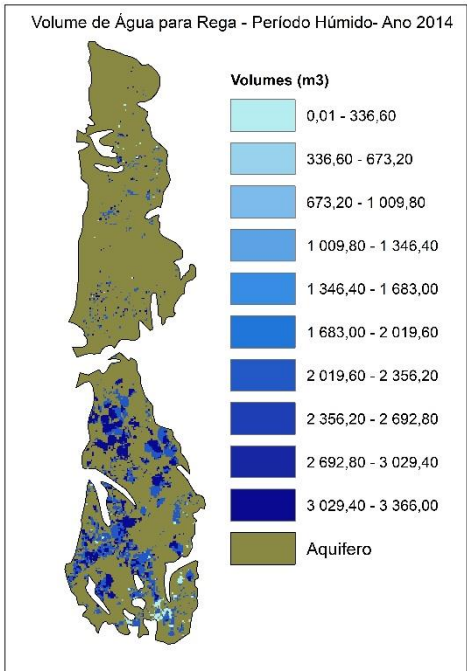
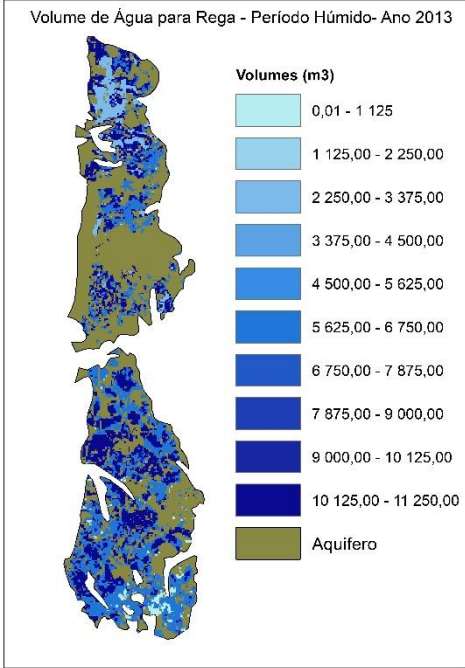
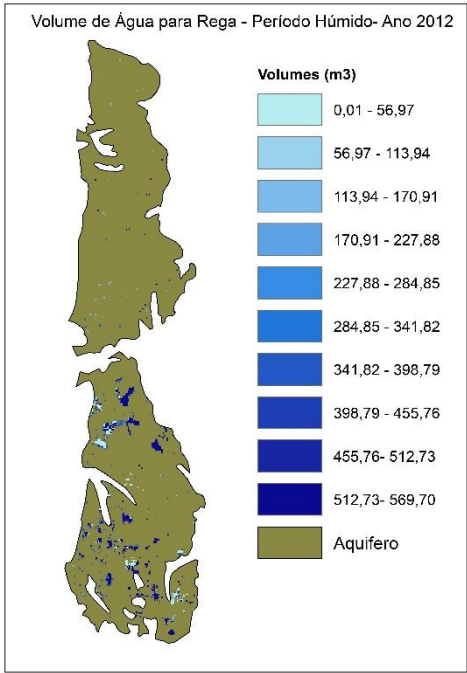
Anexo 13:

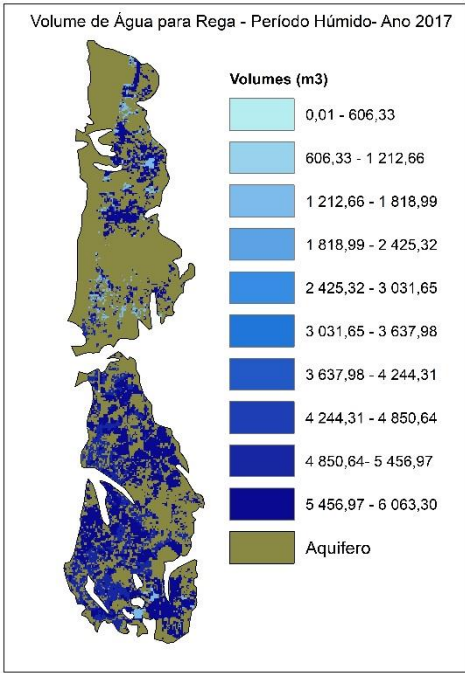
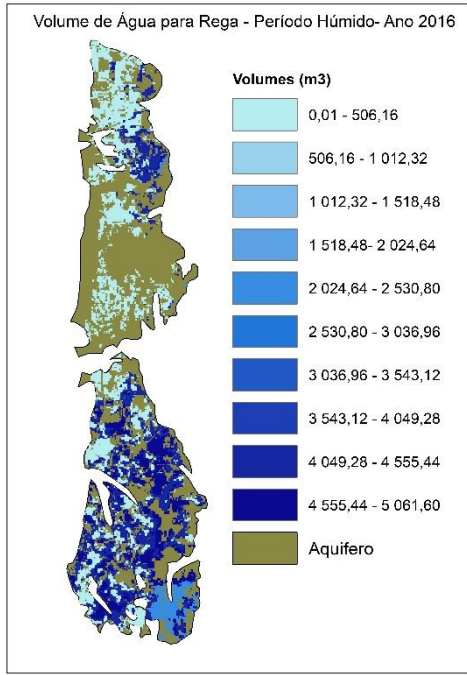
Evolução Espacial Anual dos Volumes de Água para Rega em toda a Área do Aquífero – Período Húmido (Valores Diários):



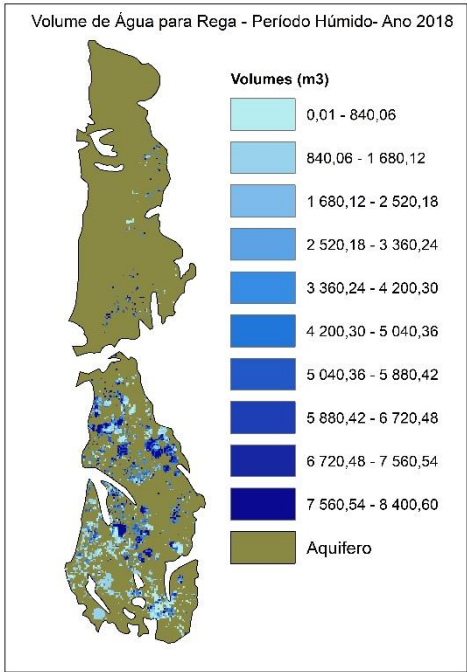








~



Anexo 14:

Evolução Espacial Mensal dos Volumes de Água para Rega em toda a Área do Aquífero – Ano 2018 (Valores Diários):

