

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

ROBERTO ANTÔNIO DA COSTA JERÔNIMO JÚNIOR

SAZONALIDADE DO BALANÇO DE RADIAÇÃO E DO ATENDIMENTO
HÍDRICO EM DIFERENTES CONDIÇÕES MACROCLIMÁTICAS

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO

2018

ROBERTO ANTÔNIO DA COSTA JERÔNIMO JÚNIOR

SAZONALIDADE DO BALANÇO DE RADIAÇÃO E DO ATENDIMENTO
HÍDRICO EM DIFERENTES CONDIÇÕES MACROCLIMÁTICAS

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Florestal.

JERÔNIMO MONTEIRO

ESPÍRITO SANTO

2018

ROBERTO ANTÔNIO DA COSTA JERÔNIMO JÚNIOR

SAZONALIDADE DO BALANÇO DE RADIAÇÃO E DO ATENDIMENTO HÍDRICO
PELA CHUVA EM DIFERENTES CONDIÇÕES MACROCLIMÁTICAS

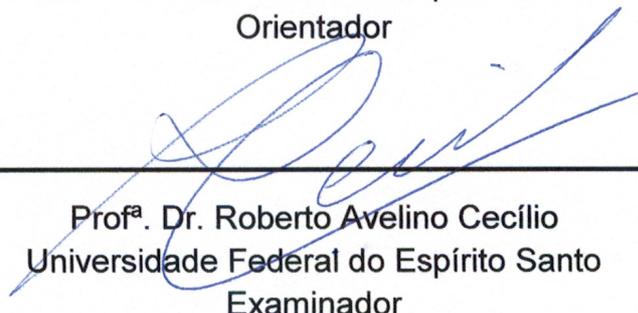
Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da
Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do
título de Engenheiro Florestal.

Aprovada em 9 de julho de 2018

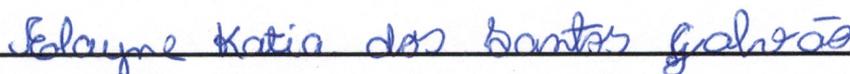
COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. José Eduardo Macedo Pezzopane
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador



Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador



Msc. Elayne Katia dos Santos Galvão
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinadora

*A Deus que sempre zelou por mim durante toda a minha caminhada e sempre se fazendo presente em todos os momentos.
À minha mãe e minha avó, Neysa Costa Ribeiro e Ynê Costa Ribeiro, que me proporcionaram fazer desse sonho uma realidade.*

Dedico

“Tentar e falhar é, pelo menos, aprender.
Não chegar a tentar é sofrer a inestimável
perda do que poderia ter sido.”

Geraldo Eustáquio

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pela vida e oportunidade de iniciar na Universidade Federal Rural do Semiárido e concluir na Universidade Federal do Espírito Santo o curso de Engenharia Florestal.

À minha mãe Neysa Costa Ribeiro que sempre se fez presente, me incentivando a continuar – mesmo nas horas mais difíceis – me dando todo apoio necessário para que eu pudesse apenas me preocupar com meus estudos. A minha família (Maryane-irmã, Tio Márcio, Tio Sérgio, Tia Rafa, Tio Ary e minha mais que amada avó Ynê) que também sempre me deram muito carinho e força. Muito obrigado por vocês fazerem parte da minha vida. A vocês dedico o meu Trabalho de Conclusão de Curso (TCC).

À UFES por ter me proporcionado a realização do curso de Engenharia Florestal e ao CNPq pela concessão da bolsa de iniciação científica.

Ao professor José Eduardo Macedo Pezzopane pela paciência, carinho, compreensão, confiança, orientação e também pelas ‘puxadas de orelha’ que foram decisivas para o meu amadurecimento e crescimento pessoal.

A todos os professores os quais pude aprender muito durante essa caminhada dura que é a graduação, cada um com a sua contribuição.

À amiga, mestre Elayne Katia pela co-orientação e ensinamentos que foram de fundamental importância para minha evolução.

À amiga e companheira de laboratório Vanessa de Oliveira Gomes pelo desenvolvimento conjunto da pesquisa, além dos diversos momentos bons e ruins vividos nesses últimos anos. Você também foi decisiva para que eu atingisse o meu objetivo e te levarei pra sempre no meu coração.

Aos amigos do Laboratório de Ecofisiologia e Meteorologia Florestal – LEMF – Mariana (um anjo), Genilda, Talita, Luciana, João e Carol que sempre me ajudaram durante o desenvolvimento da minha pesquisa, cada um com a sua imensa contribuição. Gratidão é a palavra e digo mais, sentirei falta de todos vocês.

Aos meus amigos de curso, Denise, Cris, Jamile, Italo, Larissa, Tamara, Thais, Rachel, Waleska, Gabriel, Samuel, Lucas, Alisson, Anna Lara, Mariana e muitos outros por todos os momentos que passamos juntos, como as saídas de campo, trabalhos em grupos, festas no chácara, enfim, foi tudo maravilhoso sem sombra de dúvidas.

Aos meus amigos e professores de Mossoró, em especial aos amigos Emanuel Rocha, Nyara Beltrame e Rodolpho Barreto e aos professores Marco Diodato e Rejane Botrel, aonde iniciei o curso de Engenharia Florestal e morei por dois anos. À vocês o meu muito obrigado pela recepção e aprendizado nessa terra tão acolhedora.

Aos meus amigos de faculdade Hygor (mais do que um irmão), Edgar, Marcos, Dani, Ronald, Thiago e muitos outros que dividiram comigo os “melhores e piores” momentos durante essa jornada acadêmica e de aprendizado da vida.

Aos meus amigos de Muqui Roger, Alinny, Fabíola que sempre se fizeram presentes e com os quais compartilhei diversos momentos marcantes durante minha graduação.

Enfim, a todas as pessoas que – direta ou indiretamente – me ajudaram na realização deste trabalho. A todos vocês o meu MUITO OBRIGADO.

RESUMO

O comportamento da disponibilidade energética e o atendimento hídrico pelas chuvas são determinantes na definição da vocação de uma região para a implantação de sistemas de produção vegetal. Nos estudos agrometeorológicos, o conhecimento da sazonalidade macroclimática de uma região é uma ferramenta importante para a definição da aptidão agrícola da mesma. A produtividade das culturas é totalmente dependente da disponibilidade hídrica e energética, principalmente nas fases iniciais de desenvolvimento. Foram aplicadas técnicas, como o balanço de radiação e atendimento hídrico pela chuva, com base em dados meteorológicos de estações automáticas no Brasil e em Portugal sob diferentes condições macroclimáticas devido à existência, no Brasil, de um forte gradiente em função de suas dimensões continentais e, em Portugal, devido a influência do Mar Mediterrâneo. Os objetivos deste estudo são determinar a sazonalidade em diferentes condições macroclimáticas através do uso de variáveis como o atendimento hídrico pelas chuvas e o balanço de radiação. A determinação dessas variáveis será realizada seguindo a metodologia proposta pela FAO para o cálculo do atendimento hídrico pela chuva e o cálculo do balanço de radiação. Os dados climatológicos foram obtidos de séries históricas do ano de 2007 ao ano de 2016 de 18 estações automáticas em diferentes condições macroclimáticas no Brasil (10 estações) e Portugal (8 estações). Foi possível realizar uma abordagem de diversos tipos de climas, definindo a sazonalidade macroclimática do balanço de radiação e do atendimento hídrico pela chuva das diferentes áreas estudadas, sendo esses resultados o ponto chave para a realização do zoneamento do risco climático em diferentes tipos climáticos.

Palavras-chave: Agrometeorologia; Atendimento hídrico pela chuva; Dados meteorológicos; Balanço de radiação; Macroclima.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	vii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS.....	3
1.1.1 Objetivo geral	3
1.1.2 Objetivos específicos	3
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA.....	4
2.1.1 Brasil	4
2.1.2 Portugal	5
2.2 BALANÇO DE RADIAÇÃO	7
2.3 ATENDIMENTO HÍDRICO PELA CHUVA (ER/EP).....	8
3. MATERIAL E MÉTODOS	10
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4.1 BALANÇO DE RADIAÇÃO (R_N).....	17
4.1.1 R_N PARA AS ESTAÇÕES BRASILEIRAS	17
4.1.2 R_N PARA AS ESTAÇÕES PORTUGUESAS	20
4.2 ATENDIMENTO HÍDRICO PELA CHUVA (ER/EP).....	34
4.2.1 ER/EP PARA AS ESTAÇÕES BRASILEIRAS.....	34
4.2.2 ER/EP PARA AS ESTAÇÕES PORTUGUESAS.....	37
5 CONCLUSÕES	28
6 REFERÊNCIAS	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Localização geográfica e altitude das estações automáticas no Brasil (BR) e Portugal (PT).....	19
Tabela 2 - Caracterização das médias anuais de variáveis climatológicas da série histórica de 10 anos (2007-2016) de locais no Brasil e Portugal.....	24

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Classificação climática de Koppen (1936) para as 10 localidades estudadas no Brasil (Manaus - AM, Brasília - DF, Recife - PE, Petrolina - PE, Nova Tebas – PR, Campo Grande – MS, Marambaia – RJ, Teresópolis - RJ, São José dos Ausentes – RS e Santa Maria – RS) e suas respectivas localizações.....15
- Figura 2** - Classificação climática de Koppen (1936) para as 8 localidades estudadas em Portugal (Ponte da Barca, Proença-a-Nova, Abrantes, Moinhola, Viana do Alentejo, Monchique, São Brás de Alportel e Rebordelo) e suas respectivas localizações.....16
- Figura 3** - Localização geográfica das 10 estações automáticas selecionadas no Brasil (Manaus - AM, Brasília - DF, Recife - PE, Petrolina - PE, Nova Tebas – PR, Campo Grande – MS, Marambaia – RJ, Teresópolis - RJ, São José dos Ausentes – RS e Santa Maria – RS) e suas respectivas localização e altitude no território brasileiro.....21
- Figura 4** - Localização geográfica das 8 estações automáticas selecionadas em Portugal (Ponte da Barca, Proença-a-Nova, Abrantes, Moinhola, Viana do Alentejo, Monchique, São Brás de Alportel e Rebordelo) e suas respectivas localização e altitude no território português.....22
- Figura 5** – Balanço de radiação médio diário mensal, em $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, para os 10 locais analisados no Brasil (Manaus - AM, Brasília - DF, Recife - PE, Petrolina - PE, Nova Tebas – PR, Campo Grande – MS, Marambaia – RJ, Teresópolis - RJ, São José dos Ausentes – RS e Santa Maria – RS) entre os anos de 2006 a 2016.....29
- Figura 6** – Balanço de radiação médio diário mensal, em $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, para os 8 locais analisados em Portugal (Ponte da Barca, Proença-a-Nova, Abrantes, Moinhola, Viana do Alentejo, Monchique, São Brás de Alportel e Rebordelo) entre os anos de 2007 a 2016.....31
- Figura 7** – Atendimento hídrico pela chuva para as 10 estações selecionadas no Brasil (Manaus - AM, Brasília - DF, Recife - PE, Petrolina - PE, Nova Tebas – PR, Campo Grande – MS, Marambaia – RJ, Teresópolis - RJ, São José dos Ausentes –

RS	e	Santa	Maria	–
RS)				34
Figura 8 – Atendimento hídrico pela chuva para as 8 estações seleccionadas em Portugal (Ponte da Barca, Proença-a-Nova, Abrantes, Moinhola, Viana do Alentejo, Monchique, São Brás de Alportel e Rebordelo).....				
				37

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento da sazonalidade climática de uma região se torna uma ferramenta interessante para exploração do potencial agrícola da mesma, além de fornecer subsídios importantes para as diferentes atividades humanas (LOBATO, 2005). Atualmente, devido às alterações climáticas terrestres, necessita-se de maiores estudos e desenvolvimento de métodos mais eficientes para a determinação de adversidades climáticas, bem como caracterizar o macroclima de uma região. Dessa forma, análises mais criteriosas do impacto do tempo meteorológico e do clima sobre a agricultura, com embasamento em dados obtidos por meio de longos anos de observações de estações meteorológicas, são importantes em diversos níveis geográficos por seu impacto ambiental, social e econômico (ALBERTO; STRECK, 2006). Dentre eles, a determinação da sazonalidade de diferentes regiões do planeta.

Essa determinação pode ser apoiada por diferentes índices como o atendimento hídrico pelas chuvas, também chamado de índice de penalização. Ele representa a quantidade de água consumida pelo vegetal, sendo determinado pela evapotranspiração real (ET_r) em razão da evapotranspiração potencial (ET_p) e indica o consumo de água pela planta em relação ao consumo máximo da planta sem restrição hídrica. Esse índice é importante para estudos agrometeorológicos, podendo ser utilizado para zoneamento de risco climático em diferentes regiões no Brasil e Portugal.

Para esse tipo de análise, deve-se levar em consideração a produtividade biológica de uma vegetação, a qual é determinada por sua habilidade em capturar e converter a radiação solar (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002). Nesse contexto, o balanço de radiação corresponde à energia disponível para processos físicos e bioquímicos em todo o planeta. De acordo com Fontana et al. (1991), o saldo ou balanço de radiação corresponde ao fluxo de entrada e saída de energia na interface atmosfera-superfície, podendo ser estimado de acordo com a irradiância solar de ondas curtas (refletida e incidente) e a radiação de ondas longas emitidas pela atmosfera e pela superfície terrestre. Esse balanço é a principal fonte de energia a ser repartida no aquecimento do solo, do ar e no processo de evapotranspiração (GOMES et al., 2009).

O balanço de radiação e a disponibilidade de água no solo estão intrinsecamente ligados, uma vez que a quantidade de radiação influencia diretamente nas taxas de evapotranspiração dos vegetais. Sendo assim, torna-se relevante a caracterização do balanço de radiação para poder estimar as taxas de evapotranspiração e comparar diferentes climas do planeta como, neste estudo, no Brasil e Portugal.

O Brasil apresenta uma área de florestas plantadas de, aproximadamente, 7,84 milhões de hectares, sendo responsável por cerca de 91% de toda a madeira produzida no país para fins industriais, correspondendo 6,2% do Produto Interno Bruto – PIB (IBA, 2017). Em Portugal, a produção de madeira contabiliza cerca de 167 milhões de m³, sendo possível verificar um incremento de produção a uma taxa anual de 14 milhões de m³ de madeira, sendo extraído em média 8,97 milhões de m³ anuais (LEITÃO, 2009).

Toda essa cadeia produtiva pode ser diretamente afetada pelas alterações climáticas. Estas levantam importantes desafios ao setor florestal, influenciando diretamente no desempenho futuro, em particular pela sua influência no aumento de incêndios florestais, assim como na incidência de pragas e doenças (LOURO, 2015). Portanto, estudos de caracterização climática de diferentes regiões são de suma importância para a determinação produtiva da mesma. Desta forma, uma análise mais criteriosa de variáveis meteorológicas como o saldo de radiação e chuvas se tornam ferramentas importantes para tomada de decisão, uma vez que a água disponível no solo para as plantas é um fator limitante da produção.

Uma análise conjunta dessas variáveis intimamente ligadas proporcionariam informações valiosas para o zoneamento macroclimático (aptidão agrícola) de diferentes regiões no Brasil e Portugal.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 **Objetivo geral**

Caracterização da disponibilidade energética e do atendimento hídrico pelas chuvas em climas tropicais, subtropicais e mediterrâneos.

1.1.2 **Objetivos específicos**

- Analisar a sazonalidade do saldo de radiação em diferentes condições climáticas no Brasil e em Portugal; e,
- Calcular o balanço hídrico climatológico, para diferentes condições de armazenamento de água no solo (CAD), nos respectivos locais de estudo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

A classificação climática das diferentes regiões do Brasil e Portugal segue a realizada de acordo com Koppen (1936), que define diferentes tipos de clima a partir de valores médios mensais de precipitação e temperatura, baseando-se em uma divisão do clima terrestre em 5 tipos principais, que são representados pelas letras A, B, C, D e E, sendo eles agrupados pelo critério de temperatura (exceto para o B). Estes são subdivididos com letras adicionais para designar os vários subtipos de climas existentes. Dessa forma, os climas do tipo A são os mais quentes; os do tipo B são controlados de acordo com o ressecamento (ou aridez) provocado pela vegetação existente; os climas C e D são os de média latitude e os climas do tipo E são os mais frios. Ainda pode ser inserido um clima H, correspondente para regiões com altitudes acima de 1500 metros de altitude (KOPPEN, 1936).

Vale salientar que, devido ao fato de Brasil e Portugal estarem localizados em hemisférios diferentes, as estações do ano ocorrem em meses invertidos, ou seja, enquanto no Brasil é inverno, em Portugal é verão e vice-versa, devido aos movimentos de inclinação do eixo e translação da Terra (OLIVEIRA, 2014).

2.1.1 Condições climáticas do Brasil

O Brasil, devido as suas dimensões continentais, apresenta uma ampla variação dos índices pluviométricos e sua distribuição ao longo do ano, assim como de climas (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007). De acordo com Alvares et al. (2015), a região norte do país é a que apresenta os maiores valores de precipitação média anual, acima de 1900 mm; a região nordeste do país é a que apresenta os menores índices, inferiores a 1000 mm anuais e mal distribuídos, exceto a região litorânea; a região sudeste apresenta valores entre 1000 e 1600mm com algumas zonas litorâneas que podem ultrapassar os 2200 mm anuais; a região centro oeste apresenta uma ampla variação na precipitação, desde 700 mm mais ao sul da região e chegando a 3100mm mais ao norte da região; e a região sul apresenta uma precipitação média que varia entre 1300 a 2200 mm de chuvas anuais bem distribuídas.

Segundo a classificação de Koppen (1936), o Brasil apresenta os tipos

climáticos como o Af, Am, Aw, As, Bsh, Cwa, Cwb Cwc, Csa, Csb Cfa e Cfb (Figura 1). Alvares et al. (2015) destaca três zonas climáticas para o Brasil (tropical, seca e subtropical úmida) e 12 tipos climáticos sendo caracterizados de acordo com os verões quentes ou temperados, secos ou úmidos e invernos secos ou úmidos.

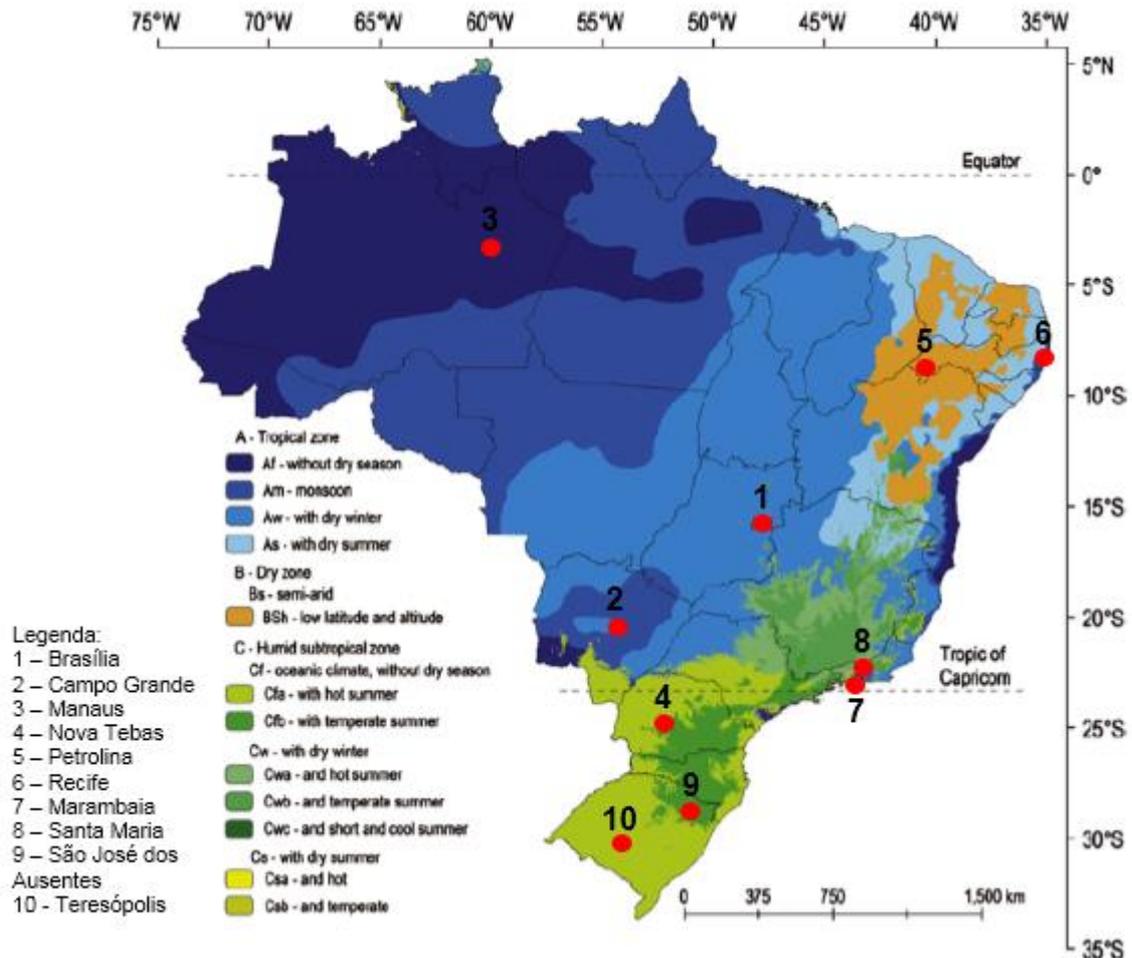


Figura 1. Classificação climática de Köppen (1936) para as 10 localidades estudadas no Brasil. Fonte: adaptado de Alvares et al. (2013).

2.1.2 Condições climáticas de Portugal

De acordo com a classificação de Köppen (1936) (Figura 2), o clima de Portugal continental pode ser dividido em duas regiões: uma de clima temperado com inverno chuvoso e verão seco e quente (Csa) e outra de clima temperado com inverno chuvoso e verão seco e pouco quente (Csb).



Figura 2. Classificação climática de Köppen (1936) para as 8 localidades estudadas em Portugal. Fonte: adaptado de Instituto Português do Mar e da Atmosfera.

Dessa forma, Portugal apresenta climas temperados com verões secos em uma pequena parte a nordeste e quase que totalmente o centro sul do país; clima temperado com verão seco e temperado em quase toda a extensão do litoral oeste continental; e apresenta uma pequena região de clima árido (estepe fria) correspondente ao baixo Alentejo, no distrito de Beja (GONÇALVES, 2016).

Segundo o Instituto Português do Mar e da Atmosfera – IPMA (2018), a precipitação é mais elevada na região centro norte de Portugal, variando de 800 a 2200 mm de média anual, apresentando uma pequena região nordeste com um índice um pouco menor de precipitação (600 a 800 mm); na região centro sul do País a média anual de precipitação é inferior a 600 mm, sendo uma região bem seca. As regiões mais altas do centro sul de Portugal, no distrito de Faro, a precipitação é um pouco mais elevada, variando entre 700 a 1000 mm (GONÇALVES, 2016). Ainda de acordo com o IPMA (2018), as taxas de

evapotranspiração tendem a aumentar da faixa oceânica em direção ao interior do país.

2.2 BALANÇO DE RADIAÇÃO

O cálculo do balanço de radiação é fundamental para a estimativa da quantidade de perda de água por superfícies vegetadas, assim como é de suma importância para o planejamento das atividades agrícolas irrigadas (LEIVAS et al., 2007). O saldo de radiação é estimado através da síntese entre os fluxos de ondas curtas e longas, sendo a radiação de onda curta incidente representada pela radiação solar global (R_s) e a radiação solar refletida pela superfície (R_r); a radiação de onda longa pode ser representada através da radiação emitida pela atmosfera (R_{atm}), radiação emitida pela superfície (R_{emi}) e por R_{atm} que possa a ser refletida pela superfície $R_{atm}(r)$ (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002). O balanço ou saldo de radiação (R_n) tem um papel fundamental nos processos evaporativos pois é uma fonte riquíssima de energia para diversos fenômenos meteorológicos, como ciclones, tornados e furacões (GOMES et al., 2009).

Para a estimativa do balanço de radiação torna-se necessário o conhecimento de dois parâmetros meteorológicos muito importantes: o albedo e a temperatura da superfície. Para estimar o albedo com precisão se faz necessário conhecer a dinâmica da interferência atmosférica, que é muito dependente da temperatura e da umidade (SILVA et al., 2005).

Através do conhecimento do balanço de radiação pode-se inferir sobre a quantidade estimada de troca de energia entre os compartimentos terrestres (TEIXEIRA et al., 2004). Gomes et al (2009) afirmam que uma tonelada de água evaporada para a superfície pode transportar para a atmosfera uma energia de aproximadamente 2,45 bilhões de Joules e, devido a este fato, apresenta um importante papel no transporte de energia entre as distintas regiões do planeta, atuando como um importante moderador das condições de tempo e clima em nosso planeta. Entretanto, esse valor pode variar devido ao tipo de cobertura que apresenta o terreno.

Geralmente, as áreas urbanas absorvem e retêm mais energia do que as superfícies rurais ou de regiões naturalmente vegetadas, pois a sua geometria favorece a absorção de radiação além do fato da presença de grandes áreas

cobertas por concreto ou asfalto caracterizados por albedos e emissividade menores do que as superfícies vegetadas (FERREIRA, 2012). O conhecimento da radiação líquida se torna o componente mais importante do balanço energético de superfície sendo a chave determinante da condição limite para todos os processos que conduzem a uma redistribuição energética na camada atmosférica, em que a topografia influencia no cálculo do balanço de radiação ocasiona o surgimento de diferentes microclimas no terreno (HOCH, 2010).

2.3 ATENDIMENTO HÍDRICO PELA CHUVA (ER/EP)

De acordo com Brunini et al. (2001), a escassez de água no solo é uma das principais causas da diminuição da produção vegetal. Segundo Carlesso (1995), grande parte da água extraída do solo pelas plantas é perdida pelas folhas através das taxas evaporativas da atmosfera, demonstrando a importância de estudos que correlacionam variáveis meteorológicas e a capacidade de armazenamento de água no solo. O estresse hídrico na planta é ocasionado devido a interação entre a disponibilidade de água no solo, fatores fisiológicos do vegetal e climáticos, como a temperatura e o fotoperíodo, afetando o desenvolvimento e a sua produtividade (FARIAS et al., 2007).

A simulação do balanço hídrico nos permite obter diversos parâmetros, dentre eles destaca-se o atendimento hídrico pelas chuvas, que é obtido através da relação entre a evapotranspiração real (ET_r) e a evapotranspiração potencial (ET_p), ou seja, a relação entre a quantidade de água consumida pela planta e aquela quantidade de água que será necessária para garantir a sua produtividade máxima (ASSAD et al., 2003). Tais variáveis nos permitem estipular as melhores épocas de plantio para as culturas. Porém, torna-se necessário saber a oferta e a frequência pluviométrica da região, bem como a intensidade dos períodos secos (veranicos) durante a estação chuvosa. Melhores datas para o plantio podem ser definidas através de simulações do balanço hídrico de cada região, cujos resultados podem ser georreferenciados e espacializados por meio de uma ferramenta conhecida como Sistema de Informações Geográficas (SIG) (ASSAD; SANO, 1998).

Sabe-se que a falta de água reduz significativamente a produção agrícola. Cunha (2001) afirma que, em um cenário climático dessa natureza, o zoneamento

agrícola de risco é uma ferramenta indispensável no auxílio de tomada de decisão devido ao nascimento de um modelo agrícola novo que prega as premissas de competitividade, eficiência e visão do agronegócio.

Dessa forma, a capacidade de água disponível (CAD), que corresponde a lâmina de água presente no intervalo de umidade do solo entre a capacidade de campo (CC%) e o ponto de murcha permanente, é uma importante variável que ajuda nas tomadas de decisão, sendo determinada de acordo com as propriedades físicas, hídricas e químicas do solo. Define-se uma CAD entre 25 e 50 mm para hortaliças; 75 e 100 mm para culturas anuais; 100 a 125 mm para culturas perenes e entre 150 e 300 mm para espécies florestais (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

O zoneamento agrícola de risco nos permite definir regiões de acordo com as aptidões climáticas e melhores épocas para o plantio como uma tentativa de diminuir os efeitos provocados pela desigual distribuição de chuvas, através do conhecimento das variáveis meteorológicas locais (precipitação e evapotranspiração de referência) e de sua espacialização regional através do uso da ferramenta de Sistema de Informações Geográficas (SIG) (TEIXEIRA; AZEVEDO, 1996; ZULLO JÚNIOR et al., 1999; SILVA; AZEVEDO, 2000).

3. MATERIAL E MÉTODOS

No Brasil e em Portugal, os locais selecionados estão descritos na Tabela 1, com suas respectivas latitudes, longitudes e altitudes:

Tabela 1: Localização geográfica e altitude das estações automáticas, sendo 10 no Brasil (BR) e 8 em Portugal (PT).

Estação	Latitude	Longitude (°O)	Altitude (m)
BR - Manaus – AM	03°06' S	60°00'	049
BR - Brasília – DF	15°47' S	47°55'	1161
BR - Recife – PE	08°09' S	34°57'	011
BR - Petrolina – PE	09°23' S	40°31'	272
BR - Nova Tebas - PR	24°26' S	51°57'	656
BR - Campo Grande - MS	20°26' S	54°43'	528
BR - Rio de Janeiro - Marambaia - RJ	23°03' S	43°35'	009
BR - Teresópolis – Prq. Nacional - RJ	22°26' S	42°59'	991
BR - São José dos Ausentes - RS	28°44' S	50°03'	1229
BR - Santa Maria - RS	29°43' S	53°43'	103
PT - Ponte da barca	41°48' N	08°25'	039
PT - Proença-a-Nova	39°44' N	07°55'	502
PT – Abrantes	39°27' N	08°06'	105
PT – Moinhola	38°35' N	08°36'	041
PT - Viana do Alentejo	38°19' N	08°00'	314
PT – Monchique	37°19' N	08°35'	792
PT - São Brás de Alportel	37°09' N	07°53'	334
PT – Rebordelo	41°44' N	07°09'	557

Fonte: Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos - SNIRH (Portugal) e Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (Brasil).

Os dados meteorológicos foram obtidos a partir de séries entre os anos de 2007 a 2016, através de 18 estações automáticas em diferentes condições macroclimáticas no Brasil (Figura 1) e Portugal (Figura 2). As variáveis de umidade relativa (UR%), velocidade do vento, radiação solar global (R_s), precipitação e temperatura máxima, média e mínima, foram obtidas em escala horária. Essa base de dados foi disponibilizada pelos órgãos governamentais Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (Brasil) e Autoridade Nacional da Água (Portugal).

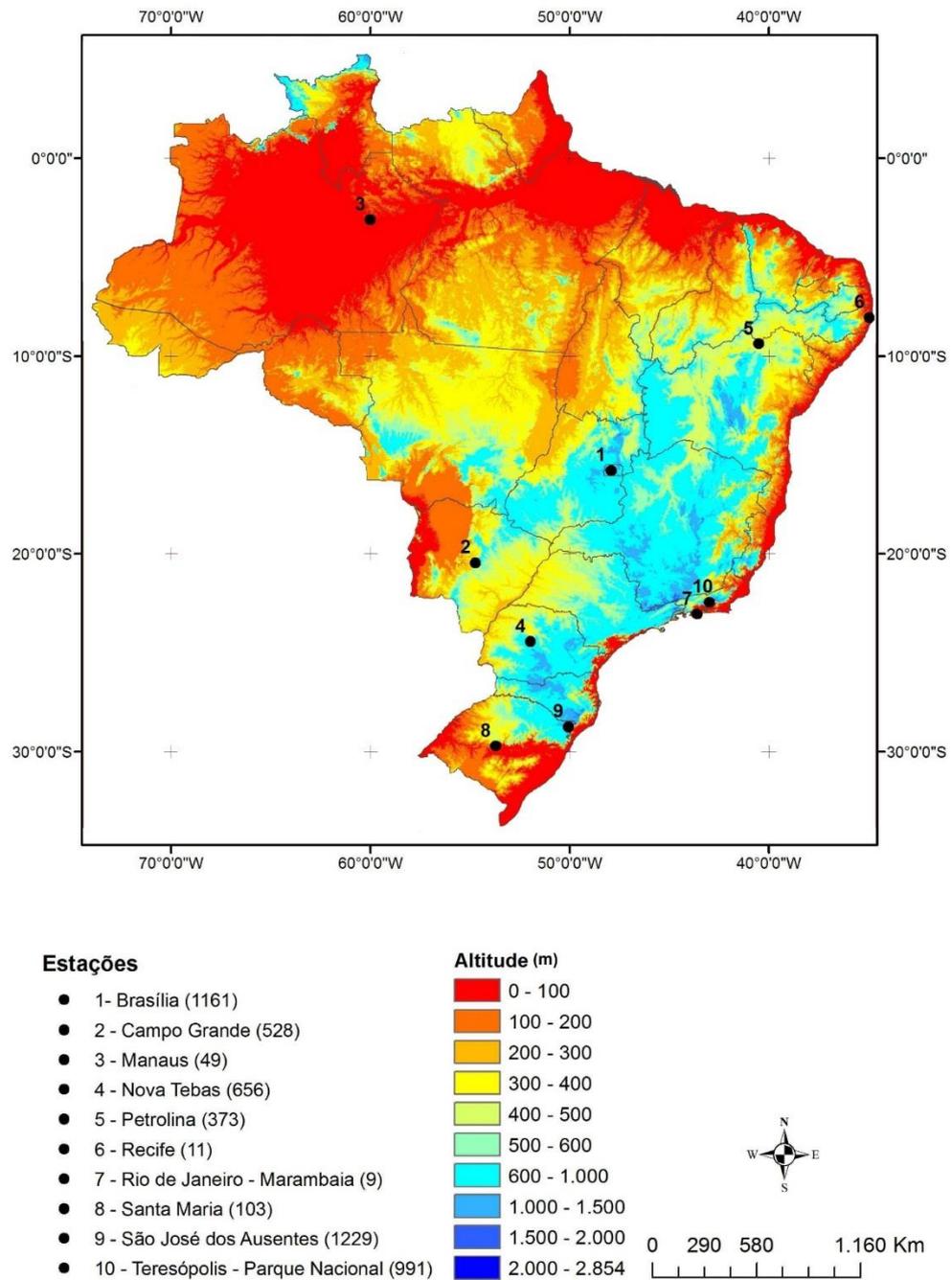


Figura 3. Modelo digital de elevação do terreno indicando a localização geográfica das 10 estações automáticas selecionadas no Brasil e suas respectivas altitudes no território brasileiro. Fonte: o autor.

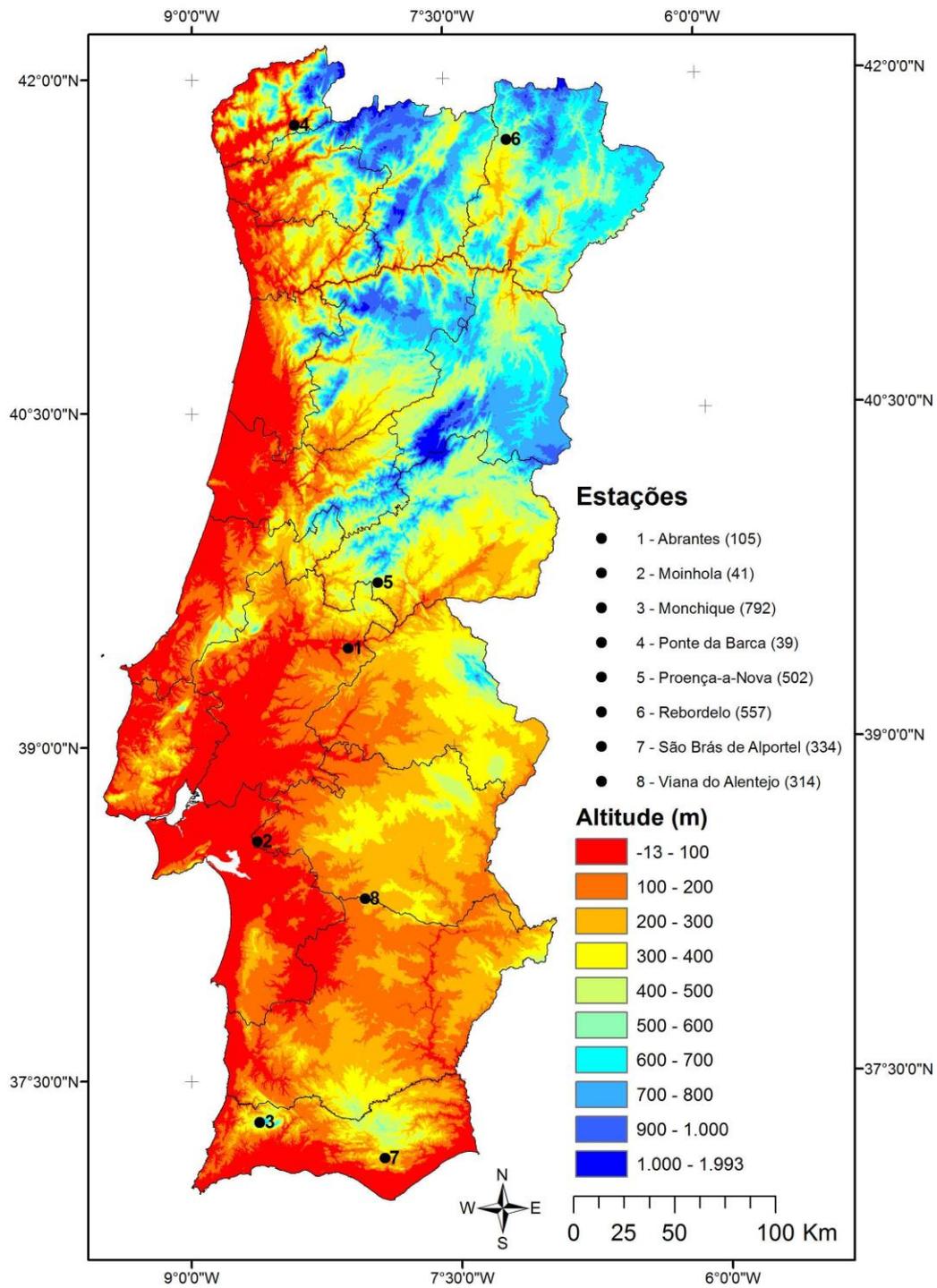


Figura 4. Modelo digital de elevação do terreno indicando a localização geográfica das 8 estações automáticas selecionadas em Portugal e suas respectivas altitudes no território português. Fonte: o autor.

Os locais foram selecionados em ambos países, a fim de se representar os diferenciados tipos climáticos dos mesmos, levando em consideração contrastantes altitudes e latitudes. A definição dessas áreas de estudos possibilitou a abordagem de diversos tipos de climas, pois no Brasil existe um forte gradiente climático em

função de suas dimensões continentais e em Portugal ocorre um tipo de clima bastante peculiar sob influência do mar Mediterrâneo. Assim, é possível entender as diversas condições macroclimáticas e mesoclimáticas, representando inclusive os mais variados biomas presentes nesses dois países.

O processamento dos dados obtidos a partir de estações meteorológicas automáticas foram realizados com o auxílio de planilhas eletrônicas (*software excel*).

3.1 BALANÇO DE RADIAÇÃO (R_n)

Para o cálculo do balanço de radiação fora utilizado o método proposto pela FAO, 1998. De acordo com as seguintes equações:

$$BOC = (1 - \alpha) R_s \quad (1)$$

Sendo:

BOC = radiação solar de ondas curtas ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$);

α = albedo (12%);

R_s = radiação solar global.

$$R_{so} = (0,75 + 2 * 10^{-5} z) * R_s \quad (2)$$

Sendo:

z = altitude em relação ao nível do mar.

$$BOL = \sigma \left[\frac{T_{max,K}^4 + T_{min,K}^4}{2} \right] * (0.34 - 0.14\sqrt{e_a}) * \left(1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right) \quad (3)$$

Sendo:

BOL = balanço de radiação de onda longa ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$);

σ = constante de Stefan-Boltzmann ($4.903 * 10^{-9} \text{ MJ K}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$);

$T_{max,K}$ = temperatura absoluta máxima durante 24 horas ($K = ^\circ\text{C} + 273,16$);

$T_{min,k}$ = temperatura absoluta mínima durante 24 horas ($K = ^\circ\text{C} + 273,16$);

e_a = pressão parcial de vapor (KPa);

R_s/R_{so} = relação da radiação de ondas curtas;

R_s = medida na estação ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$);

R_{so} = calculada de acordo com a equação 2 ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$).

$$R_n = BOC + BOL \quad (4)$$

Sendo:

R_n = balanço de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$);
 BOC = balanço de ondas curtas ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$);
 BOL = balanço de ondas longas ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$).

Após a realização dos cálculos, foi possível obter o valor de R_n para todos os dias. Posteriormente foi realizada a soma de todos os valores diários, obtendo-se o valor mensal. Depois, foi tirada uma média para obtenção do valor médio de radiação para cada mês do ano. Esses valores foram divididos pela quantidade respectiva de dias e, assim, obteve-se o valor médio diário para cada mês.

3.2 ATENDIMENTO HÍDRICO PELAS CHUVAS (ER/EP)

O atendimento hídrico pelas chuvas foi calculado por meio da relação entre a evapotranspiração real e a potencial (ETR/ETP) de acordo com o modelo proposto por Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998). Para avaliação do atendimento hídrico pelas chuvas, foram usadas como base três capacidades de campo (CAD) de 50 (para hortaliças), 100 (para culturas anuais) e 300 mm (para culturas florestais), respectivamente.

$$ETP = \frac{0,408 * s * (Rn - G) + \frac{\gamma * 900 * U_2 * (e_s - e_a)}{T + 273}}{s + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (5)$$

Sendo:

ETP = evapotranspiração potencial;

G = fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$);

γ = constante psicométrica ($0,063 \text{ KPa } ^\circ\text{C}^{-1}$);

T = temperatura média do ar ($^\circ\text{C}$);

U_2 = velocidade do vento a 2 m de altura (m s^{-1});

s (declividade da curva de pressão de vapor) = $(4098 * e_s) / (T + 237,3)^2$ ($\text{KPa } ^\circ\text{C}^{-1}$);

e_s (pressão de saturação de vapor) = $(e_s^{T_{\max}} + e_s^{T_{\min}}) / 2$ (KPa);

$e_s^{T_{\max}} = 0,6108 * e^{[(17,27 * T_{\max}) / (237,3 + T_{\max})]}$;

$e_s^{T_{\min}} = 0,6108 * e^{[(17,27 * T_{\min}) / (237,3 + T_{\min})]}$;

e_a (pressão parcial de vapor) = $(UR_{\text{med}} * e_s) / 100$ (KPa);

$UR_{\text{med}} = (UR_{\text{max}} + UR_{\text{min}}) / 2$ (%);

T = $(T_{\max} + T_{\min}) / 2$ ($^\circ\text{C}$).

$$\textit{Atendimento hídrico pela chuva} = \frac{ETR}{ETP} \quad (6)$$

Sendo:

ETR = evapotranspiração real;

ETP = evapotranspiração potencial.

O balanço hídrico climatológico foi calculado pelo método proposto por Thornthwaite & Mather (1955), segundo Pereira et al. (2002). Após o cálculo foram somados todos os dias de cada mês para a EP e, posteriormente, foi tirado a média. O valor médio mensal para a evapotranspiração potencial foi dividido pelo valor de ER obtido através do uso da planilha de Sentelhas & Rolim (ESALQ/USP) para obtenção do atendimento hídrico pela chuva (ER/EP).

3.3 CARACTERIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS

As variáveis meteorológicas da série histórica de 10 anos (2007-2016) foram agrupadas na Tabela 2 para melhor visualização.

Tabela 2. Caracterização das médias anuais de variáveis climatológicas de série histórica de 10 anos (2007-2016) de locais no Brasil (BR) e Portugal (PT).

Local	Vel. Vento	P	UR	Rs	Temperatura			DPV		
					med	max	min	med	max	min
					m/s	mm	%	MJ/m ²	°C	Kpa
BR - Brasília	2,4	1359	65	19,0	21,6	26,8	17,0	1,0	2,0	0,3
BR - Campo Grande	3,3	1464	66	18,1	23,5	29,3	19,0	1,2	2,3	0,4
BR - Manaus	1,4	2123	76	16,2	27,3	31,3	24,2	1,0	2,1	0,3
BR - Nova Tebas	1,3	1548	73	18,1	20,2	25,5	15,4	0,8	1,7	0,2
BR - Petrolina	3,6	401	52	20,2	26,3	31,3	21,7	1,8	3,1	0,7
BR - Recife	1,7	1922	77	20,6	25,5	29,1	22,2	0,8	1,7	0,2
BR - Marambaia	3,4	1052	78	17,5	22,9	27,2	19,6	0,7	1,7	0,2
BR - Santa Maria	2,1	1802	79	16,0	19,0	24,4	14,4	0,6	1,5	0,1
BR - São José dos Ausentes	5,6	1643	85	16,8	12,9	17,5	9,4	0,3	0,9	0,0
BR - Teresópolis	0,8	2771	85	14,6	17,8	22,2	14,5	0,4	1,1	0,1
PT - Abrantes	1,5	291	74	14,6	15,5	21,6	10,2	0,7	1,7	0,1
PT - Moinhola	0,9	388	78	15,3	15,3	21,7	9,4	0,6	1,6	0,0
PT - Monchique	3,2	838	77	16,6	12,3	15,1	9,7	0,5	0,8	0,2
PT - Ponte da Barca	0,8	571	77	11,7	14,2	19,9	9,2	0,5	1,3	0,1
PT - Proença a Nova	1,4	562	63	15,2	13,9	18,0	10,5	0,8	1,5	0,4
PT - Rebordelo	1,1	451	71	14,3	11,7	16,3	7,5	0,7	1,4	0,2
PT - São Brás de Alportel	0,9	452	71	15,7	15,2	19,4	11,6	0,7	1,5	0,2
PT - Viana do Alentejo	1,7	351	72	15,4	15,6	20,6	11,4	0,7	1,6	0,2

Vel. Vento – Média anual da velocidade do vento em m/s; P – média da Precipitação anual em mm; UR – Umidade relativa média anual; Rs – média da radiação solar anual medida na estação automática; Tmed – Temperatura média anual; Tmax – média da temperatura máxima anual; Tmin – média da temperatura mínima anual; DPVmed – Déficit de pressão de vapor médio anual; DPVmax – média anual máxima do déficit de pressão de vapor; DPVmin – média anual mínima do déficit de pressão de vapor. Fonte: O autor.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 BALANÇO DE RADIAÇÃO (R_n)

4.1.1 R_n para as estações brasileiras

Através da análise dos dados, determinou-se o balanço de radiação para as dez estações brasileiras estudadas (Figura 3). Foi possível observar a grande variabilidade do comportamento de R_n . O Brasil, devido a sua extensa área territorial, apresenta grande heterogeneidade climática, assim como grande variação em suas latitudes. A latitude é uma das principais variáveis climáticas que influencia os comportamentos observados para o saldo de radiação (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

O Brasil apresenta diferentes tipos climáticos, como tropical, subtropical e seco (ALVARES et al., 2015). Regiões de clima subtropical apresentam maior sazonalidade climática, com verões recebendo maiores quantidades de radiação solar (dias mais longos) e invernos recebendo valores bem baixos (dias mais curtos). Este fato pode ser evidenciado ao analisarmos os resultados para Santa Maria, São José dos Ausentes e Nova Tebas, todas localizadas na região Sul do país de clima subtropical. Esses resultados são concordantes com estudos de Lima et al. (1998), que afirmam que a latitude determina a distribuição da radiação solar ao longo do ano bem como a duração do dia. Outro fator que pode explicar esse comportamento é a sazonalidade das estações do ano provocadas pelos movimentos de translação e rotação da Terra (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

Regiões de clima tropical geralmente não apresentam uma diferença entre as estações do ano, com verões e invernos recebendo uma quantidade de radiação solar com pouca variação. Ao compararmos Recife, Manaus e Brasília, todas com clima tropical, observamos que não há um comportamento discrepante da curva do gráfico para o saldo de radiação. Tal observação pode ser explicada devido ao fato dessas localidades apresentarem pequena latitude. De acordo com Pereira; Angelocci; Sentelhas (2002), menores latitudes proporcionariam dias mais longos o ano inteiro, com maior aporte de radiação.

Dentre as regiões analisadas, Manaus e Brasília foram as que receberam maior aporte de radiação solar ao longo do ano, quando somamos todos os meses após os cálculos do balanço de radiação. Porém Brasília, que está localizada em

uma região de latitude mais alta que Manaus, recebeu maior quantidade de radiação e, esperava-se, o contrário. Entretanto, esse comportamento provavelmente ocorreu porque Manaus apresenta uma nebulosidade muito intensa quase que o ano inteiro, fazendo com que chegue uma menor quantidade de radiação na superfície.

O clima de Brasília é sazonal, apresentando um período chuvoso e quente (outubro a abril) e outro frio e seco (maio a setembro) (OLIVEIRA, 2005), o que provavelmente contribui para um maior aporte de radiação para essa região devido à ausência de nuvens e a altitude elevada. A presença de nuvens, partículas e gases atmosféricos reirradia a energia para o espaço (HOLANDA, 2015) e este fato pode explicar os valores inferiores de R_n para Manaus. Outros autores, como Pereira et al. (2002), afirmam que quanto mais limpo o céu estiver, menor será a influência dessa atmosfera no processo de difusão da radiação solar, chegando uma maior quantidade de radiação na superfície terrestre.

Outro fator demonstrado é a influência da altitude no R_n . Marambaia e Teresópolis, com latitudes de 23°S e 22°S, respectivamente, apresentam comportamento distinto do R_n . Enquanto Marambaia apresenta meses de verão chegando maior quantidade de radiação e meses de inverno chegando uma quantidade menor, Teresópolis não seguiu a mesma tendência. Tal fato pode ser explicado pela diferença do balanço de ondas longas (BOL), pois como Marambaia está localizada próximo ao nível do mar e no inverno não ter a interferência de nuvens (inverno bem seco), proporciona um BOL mais negativo. Desse modo, essa energia emitida pela superfície é dissipada para a atmosfera, não sendo reirradiada pelas nuvens de volta para a superfície, culminando em um menor valor de R_n , como observado.

Já Teresópolis, que se localiza a 991 metros acima do nível do mar e sofre influência dos ventos úmidos vindos do oceano que proporcionam a formação de densas nuvens. Conseqüentemente, um aporte maior de nuvens proporcionará valores de BOL menos negativos, contribuindo para maiores valores de R_n mesmo nos meses de inverno, com dias mais curtos, pois essas nuvens irão refletir essa radiação de volta para a superfície. Sendo a troca de radiação entre esses dois compartimentos menor, logo menor BOL e maior R_n (Figura 3). Milanesi (2011), afirma que chuvas orográficas são características do litoral da região sudeste devido a presença da Serra do Mar e atuação de ventos alísios.

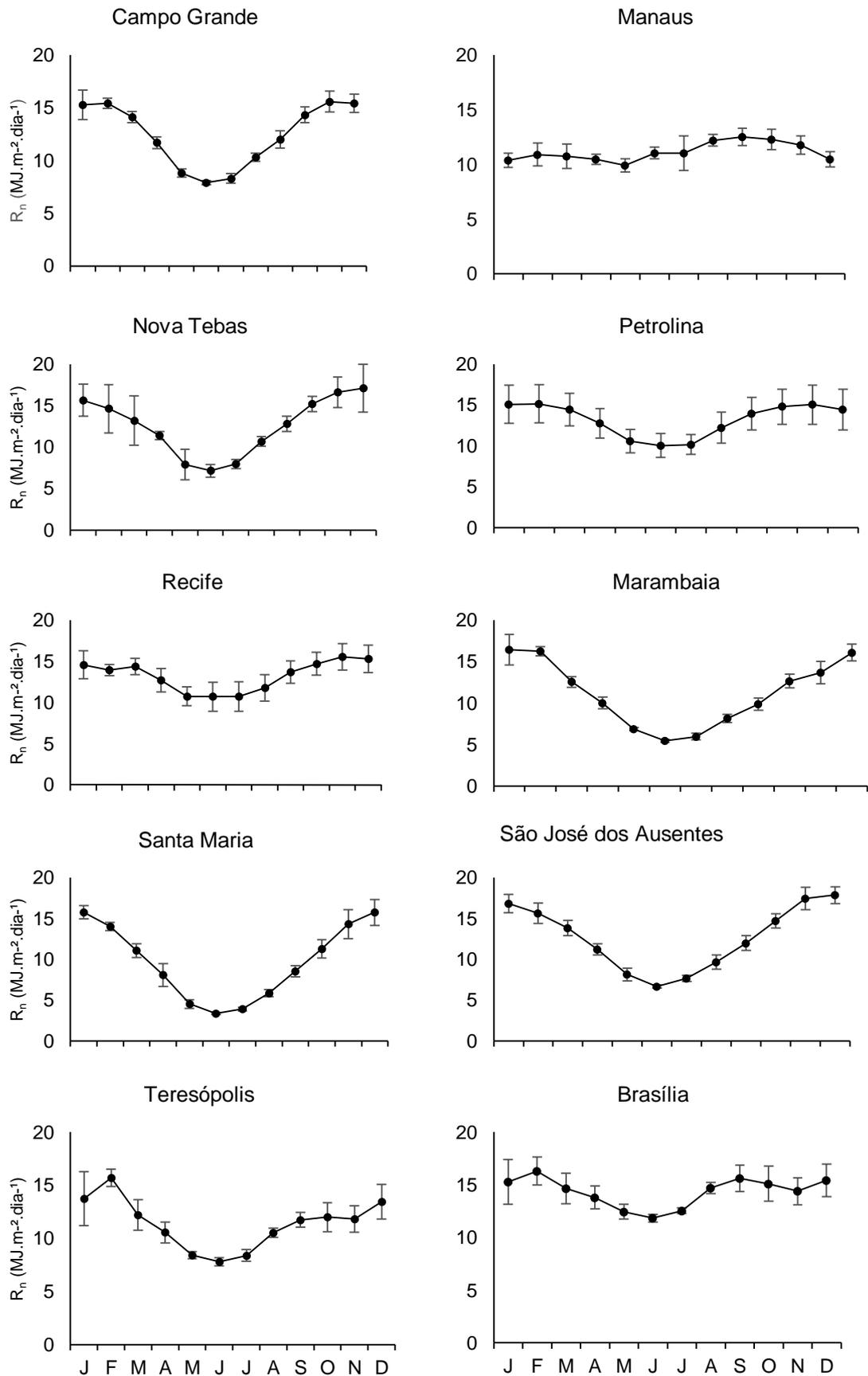


Figura 3. Balanço de radiação (R_n) médio diário mensal para 10 locais no Brasil (Manaus - AM, Brasília - DF, Recife - PE, Petrolina - PE, Nova Tebas - PR, Campo Grande - MS, Marambaia - RJ, Teresópolis - RJ, São José dos Ausentes - RS e Santa Maria - RS) entre os anos de 2007 a 2016.

4.1.2 R_n para as estações portuguesas

Através da análise dos dados meteorológicos foi possível determinar o balanço de radiação para as oito regiões portuguesas estudadas (Figura 4). Foi observado um comportamento inverso quando comparado com o Brasil devido à Portugal está localizado no hemisfério Norte do globo, com latitudes elevadas, as estações do ano são invertidas, ou seja, enquanto é verão no hemisfério sul, é inverno no hemisfério norte. De acordo com Pereira; Angelocci; Sentelhas (2002), o movimento de translação do planeta, associado com a inclinação do eixo terrestre ao plano da elíptica, observa-se uma variação no espaço e no tempo do ângulo de incidência dos raios solares na superfície, que influenciará o fotoperíodo. Devido a este fato, as curvas do gráfico de R_n se mostram invertidas em relação às brasileiras.

O local em Portugal que recebeu maior incidência de radiação solar foi Monchique, localizada no sul do país, próximo ao Mar Mediterrâneo. As demais localidades portuguesas não apresentaram grande variação para o R_n ao longo do período estudado, provavelmente pelo fato da dimensão do país ser pequena, não apresentando grandes variações de latitude, que, de acordo com Pereira et al. (2002) é limitante quanto ao aporte de radiação solar. Lima et al. (1998), afirmam que a latitude determina a distribuição da radiação solar ao longo do ano.

Os valores de R_n para regiões portuguesas foi bem inferior quando comparadas com as estações brasileiras. Isso é devido, principalmente, por Portugal estar localizado em uma região de altas latitudes, que culminam em um menor aporte de radiação solar ao longo do ano. Pereira; Angelocci; Sentelhas (2002), afirmam que a produtividade das culturas são altamente dependentes da energia disponível na região associada com a temperatura e fotoperíodo, pois todos esses fatores irão afetar a bioquímica da fotossíntese.

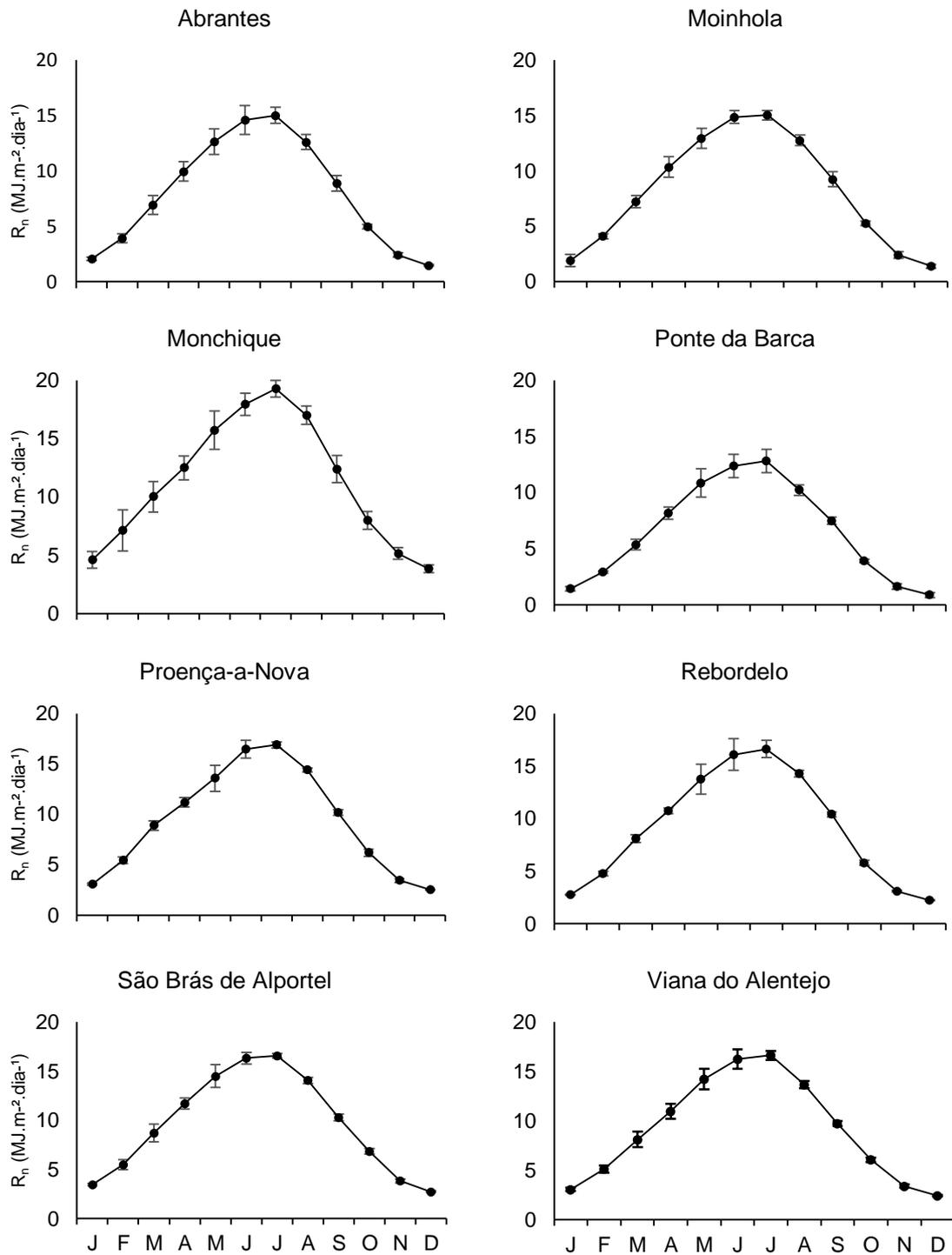


Figura 4. Balanço de radiação (R_n) médio diário mensal para 8 locais em Portugal (Ponte da Barca, Proença-a-Nova, Abrantes, Moinhola, Viana do Alentejo, Monchique, São Brás de Alportel e Rebordelo) entre os anos de 2007 a 2016.

4.2 ATENDIMENTO HÍDRICO PELAS CHUVAS (ER/EP)

4.2.1 ER/EP para as estações brasileiras

Analisando-se os resultados para o atendimento hídrico pela chuva (ER/EP) para as localidades brasileiras estudadas, levando em consideração as três capacidades de campo (CAD) de 50, 100 e 300mm, foi possível observar discrepância quanto ao comportamento da curva quando comparamos todas as regiões analisadas (Figura 5). Isso pode ser devido aos diferentes tipos de climas existentes no país (desde muito secos a muito úmidos), bem como à sazonalidade pluviométrica ao longo do ano (ALVARES et al., 2015).

As regiões localizadas no clima subtropical, como São José dos Ausentes, Santa Maria e Nova Tebas, apresentam chuvas bem distribuídas, sem nenhum mês com restrição hídrica para nenhuma das três CAD's estudadas, exceto Nova Tebas que apresentou uma pequena limitação hídrica para os meses de agosto e setembro. Essa observação poderia ser explicada pelo elevado índice de precipitação anual e distribuição da chuva observado nessas três localidades durante os dez anos analisados, de acordo com dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2007-2016).

A região de Brasília não apresentou déficit hídrico para os meses de Janeiro a Maio e Outubro a Dezembro para as três CAD's analisadas. Porém, de Junho a Setembro apresentou uma queda acentuada do ER/EP. De acordo com Maciel (2002), o clima dessa região apresenta verão chuvoso e inverno extremamente seco, com chuvas bem escassas e pouco volumosas. Tais observações, aliadas com a grande incidência de radiação e o volume de chuva escasso no inverno, proporcionaram meses de extrema penalização hídrica.

Petrolina foi a região mais penalizada hidricamente entre todas as regiões estudadas no Brasil, onde todos os meses apresentaram um severo déficit hídrico para as três CAD's analisadas. Provavelmente o fator limitante foi sua localização no clima Semiárido, que é caracterizado por baixos níveis de precipitação e alta demanda evapotranspirativa e de radiação, o que aumenta a necessidade por água e a quantidade de água advinda da precipitação não é suficiente para recuperar as CAD's. Teixeira (2010) corrobora com os resultados observados, pois afirma que a

abundância de radiação incidente e a falta de chuva ao longo do ano contribuem para elevados valores de déficit hídrico, que estão relacionados com a precipitação e a evapotranspiração.

Quando compara-se Recife e Petrolina, ambas em Pernambuco e a uma mesma latitude, observa-se valores diferentes para o ER/EP. Enquanto Recife apresentou um déficit hídrico de Outubro a Janeiro, Petrolina foi penalizada para todos os meses do ano. A interceptação da umidade pelo Planalto da Borborema na porção barlavento, que ocasiona maiores volumes de chuva nessa região, faz com que o vento chegue praticamente sem umidade na porção sotavento, aonde está localizada Petrolina (RODAL et al., 2005). Rodal et al. (2005) afirma que a precipitação vai diminuindo quando se caminha para oeste, variando entre 2000 mm de chuva na porção mais próxima ao Atlântico até 500 mm na depressão semiárida.

Petrolina também apresentou o menor valor para precipitação média anual dentre todas as regiões estudadas, assim como os maiores valores de velocidade média do vento e DPV médio (Tabela 2), sendo todas essas variáveis responsáveis pelo severo déficit hídrico, por influenciarem diretamente na capacidade evapotranspirativa da região.

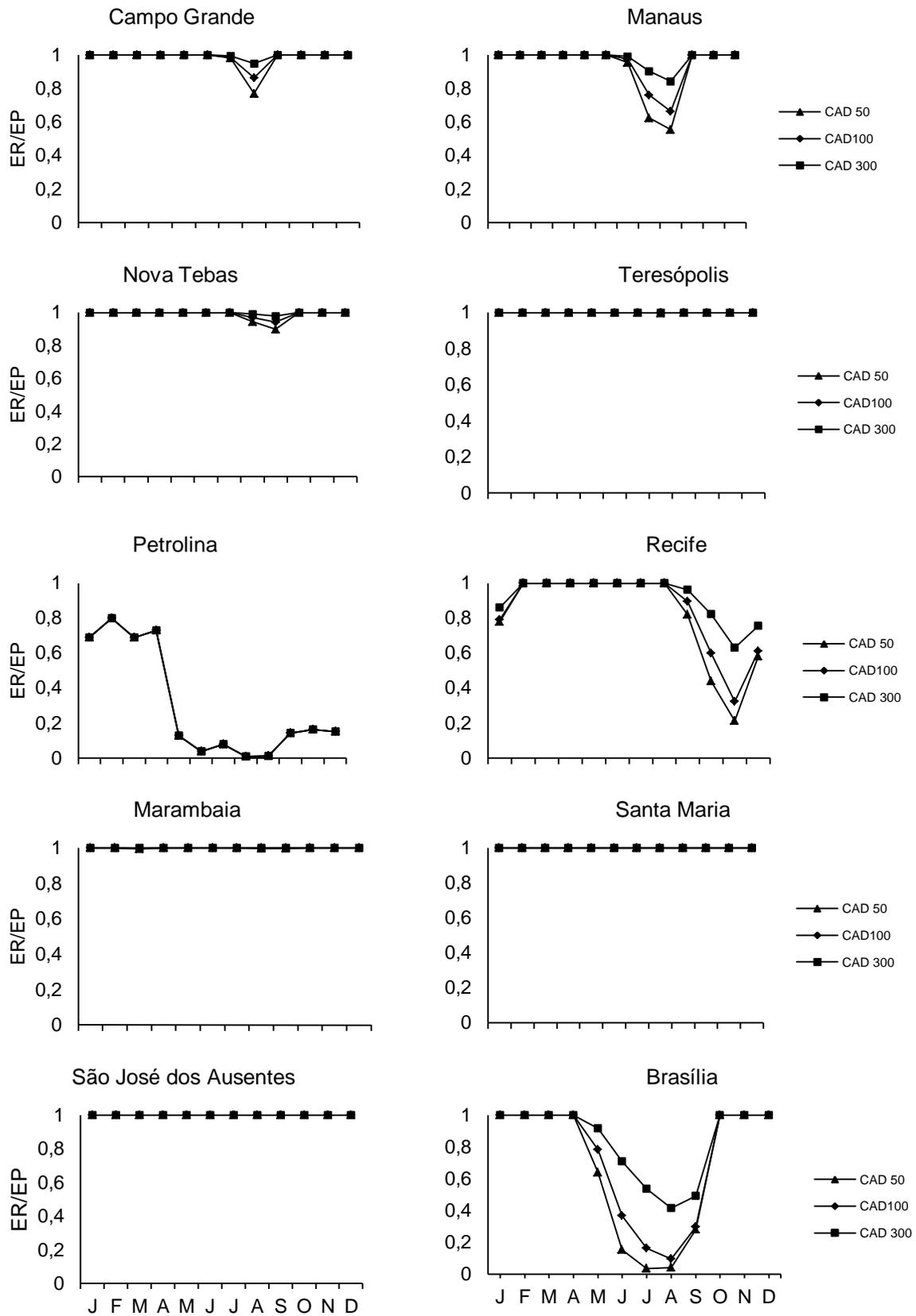


Figura 5. Atendimento hídrico pela chuva (ER/EP) para as 10 regiões estudadas no Brasil (Manaus - AM, Brasília - DF, Recife - PE, Petrolina - PE, Nova Tebas - PR, Campo Grande - MS, Marambaia - RJ, Teresópolis - RJ, São José dos Ausentes - RS e Santa Maria - RS).

4.2.2 ER/EP para as estações portuguesas

Analisando-se os resultados para o atendimento hídrico pela chuva para as oito regiões portuguesas estudadas, levando em consideração as três capacidades de campo (CAD) de 50, 100 e 300 mm, foi possível observar uma similaridade quanto ao comportamento da curva para todas as localidades, caindo drasticamente nos meses mais quentes de verão (Figura 6). Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de Portugal sofrer forte influência do clima Mediterrâneo, que é caracterizado por verões quentes e secos e invernos frios e úmidos (IPMA, 2018).

Situada na região central do país e na sub-região do médio Tejo, Abrantes não apresentou restrição hídrica para os meses de Janeiro, Fevereiro, Novembro e Dezembro para nenhuma das três CAD's estudadas. Porém, ocorreu a penalização hídrica para as diferentes CAD's nos meses mais secos. Conceição et al. (2014) observou o mesmo comportamento em seu estudo, onde a relação ER/EP decresceram entre os meses de maio (0,5) até junho (0,2) assim como da água utilizável no solo. Tais resultados corroboram com os valores observados no presente estudo.

As regiões de Monchique, situada a 792m de altitude, e Ponte da Barca foram as que apresentaram uma menor quantidade de meses sem déficit hídrico. Monchique apresenta elevados índices de precipitação, variando de 800 a 1000 mm (GONÇALVES, 2016) e invernos frios e úmidos com verões quentes e secos (IPMA, 2018). Ponte da Barca recebe elevadas descargas pluviométricas, que variam entre 1800 a 2200 mm anuais (GONÇALVES, 2016). Kuinchtner (2002), estudando a distribuição geográfica das chuvas no estado do Rio Grande do Sul, afirma que maiores valores de precipitação são observados quando se aumenta a altitude. Tais descargas contribuem para uma mais rápida recarga de água no solo para as diferentes CAD's, no início do período chuvoso, contribuindo para menores meses com restrição hídrica.

As regiões de Viana do Alentejo e Moinhola apresentaram um comportamento bem parecido para a relação ER/EP para as diferentes CAD's. Pode-se explicar essa observação pelo fato de ambas as regiões estarem localizadas próximas geograficamente e por receberem precipitações médias anuais que variam entre 500 a 700 mm (GONÇALVES, 2016), sendo a precipitação um fator limitante para relação ER/EP. Ferreira et al. (2004) mostraram que a evapotranspiração (ER/EP)

na região de Lisboa pode aproximar-se de 1,0 durante as primeiras chuvas e, após dois meses de seca, foi sempre inferior a 0,4. Tais resultados se aproximam com os valores observados no presente estudo.

De todas as regiões estudadas, São Brás de Alportel, vila pertencente do distrito de Faro, localizada mais ao sul o País na sub-região de Algarve, foi a que apresentou maior intervalo de meses com penalização hídrica (Figura 6). A vila localiza-se em uma das regiões mais secas de Portugal e que apresenta as maiores temperaturas médias anuais (GONÇALVES, 2016). Todos esses fatores aliados, contribuem para os resultados observados.

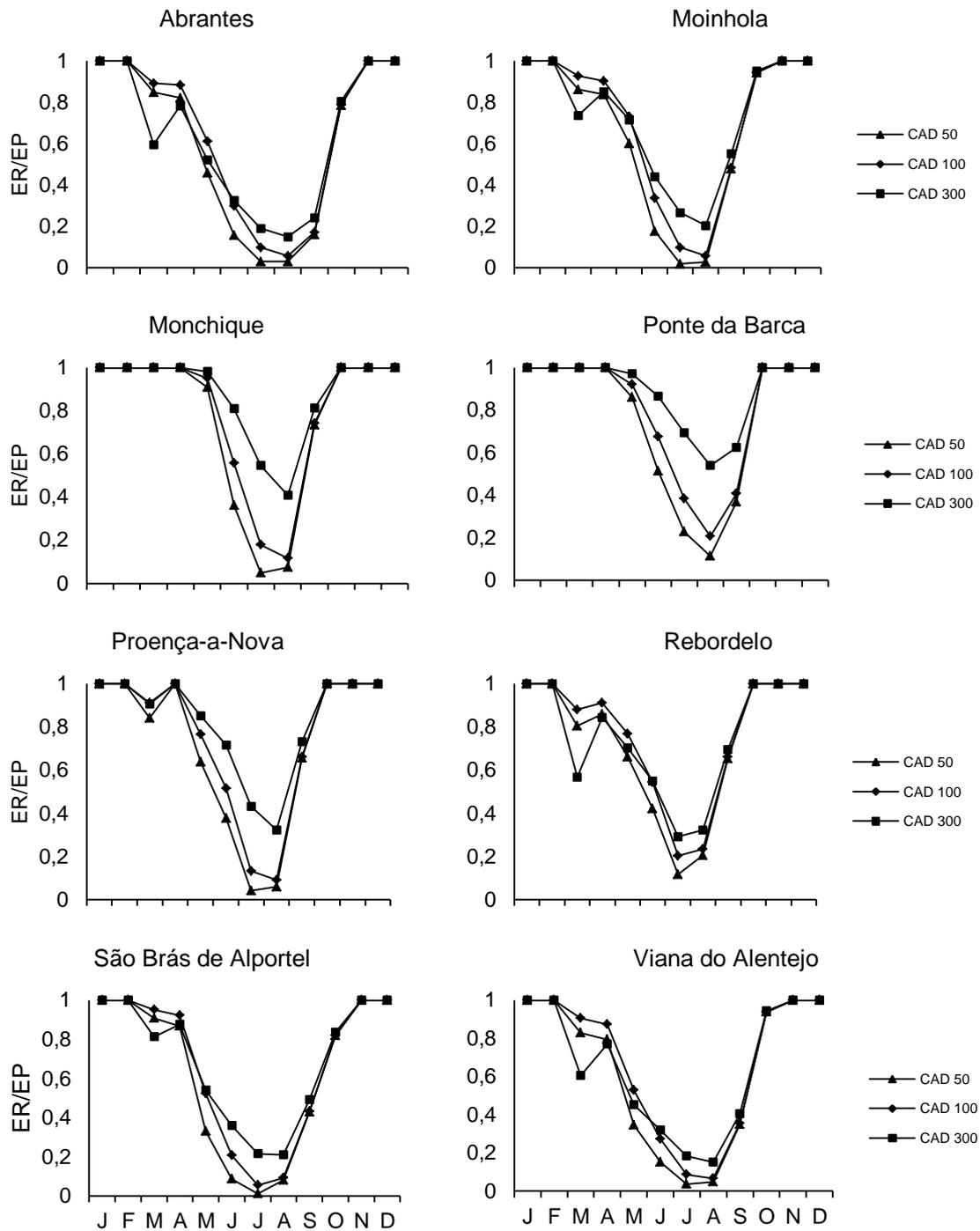


Figura 6. Atendimento hídrico pela chuva (ER/EP) para as 8 regiões estudadas em Portugal (Ponte da Barca, Proença-a-Nova, Abrantes, Moinhola, Viana do Alentejo, Monchique, São Brás de Alportel e Rebordelo).

5 CONCLUSÕES

Utilizando técnicas agrometeorológicas, obteve-se êxito na caracterização da disponibilidade energética e do atendimento hídrico pelas chuvas em climas tropicais, subtropicais e mediterrâneos. E assim, foi possível determinar o balanço de radiação e o índice de penalização pela chuva para as 18 localidades estudadas, sendo 10 no Brasil e 8 em Portugal.

Após a caracterização da sazonalidade macroclimática das diferentes localidades estudadas, conclui-se que:

- As localidades brasileiras estudadas recebem uma maior quantidade de radiação solar quando comparadas com as regiões portuguesas;
- Portugal apresenta maiores restrições quanto ao atendimento hídrico pela chuva;
- Petrolina é a região mais penalizada entre as 10 localidades brasileiras, quanto a ocorrência do déficit hídrico, para as três CAD's estudadas;
- São Brás de Alportel é a região portuguesa mais penalizada quanto a ocorrência de déficit hídrico, para as três CAD's estudadas;
- Brasília foi o local com maior aporte de radiação solar dentre os 10 locais estudados no Brasil.

6 REFERÊNCIAS

- ALBERTO, C. M.; STRECK, N. A. Estudo numérico do impacto da mudança climática sobre o rendimento de trigo, soja e milho. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.41, n.9, p.1351-1359, set. 2006.
- ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements-FAO. **Irrigation and drainage paper**. 56 FAO, Rome, 300 (1998), p. D05109.
- ALVARES, C. A. et al. Koppen's classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n°. 6, p.711–728, 2015.
- ASSAD, E. D. et al. Avaliação de métodos geostatísticos na espacialização de índices agrometeorológicos para definir riscos climáticos⁽¹⁾. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 161-171, fev. 2003.
- ASSAD, E. D. et al. Uso de modelos numéricos de terreno na espacialização de épocas de plantio. In: ASSAD, E.D., SANO, E.E. **Sistemas de Informações Geográficas**. Aplicações na agricultura. Brasília: EMBRAPA-SPI/Embrapa Cerrados, 1998. p.311-327.
- BRUNINI, O. et al. Riscos climáticos para a cultura de milho no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia** (Passo Fundo), v.9, n.3, (Nº Especial: Zoneamento Agrícola), p.519-526, 2001.
- CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus extrível e a produtividade das culturas. **Revista Ciência Rural** (Santa Maria), v.25, n.1, p.183-188, 1995.
- CONCEIÇÃO, N. et al. Evapotranspiração real em ano hidrológico de seca meteorológica num olival tradicional de sequeiro em Ferreira do Alentejo. Departamento de Ciências e Engenharia dos Biosistemas, Universidade de Lisboa. 2014.
- CUNHA, G. R. da; ASSAD, E.D. Uma visão geral do número especial da RBA sobre zoneamento agrícola no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Passo Fundo, v.9, n.3, (Nº Especial: Zoneamento Agrícola), p.377-385, 2001.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Roma: FAO, 1979. 193p. (Irrigation and Drainage Paper 33).
- FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. Circular técnica 48. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: EMBRAPA soja.
- FERREIRA, M. J. et al. **Theor Appl Climatol** (2012) 107: 229. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0480-2>.
- FERREIRA, M.I. et al. Estudo experimental da evolução do coeficiente de secura entre regas sucessivas. Aplicação na estimação diária da evapotranspiração real. In:

Modelação Matemática em Hidráulica e Recursos Hídricos (Proceed. 4º Simpósio Luso-Brasileiro em Hidráulica e Recursos Hídricos), APRH, Lisboa, p. 109-120, 2004.

FONTANA, D. C. et al. Balanço de radiação da soja em região subtropical do Brasil. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 26(3):411-418, mar. 1991.

GOMES, H. F. B. et al. Balanço de radiação em diferentes biomas no estado de São Paulo mediante imagens Landsat 5. **Geociências**, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 153-164, 2009.

GONÇALVES, D. et al. **A geografia e o clima das montanhas ibéricas**. 2016.

HOCH, S. W; C. WHITEMAN, 2010: Topographic effects on the surface radiation balance in and around Arizona's Meteor Crater. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 49, 1114–1128, doi:10.1175/2010JAMC2353.1.

HOLANDA, B. A. **Absorção de radiação por aerossóis na Amazônia**. 91 f. 2015. Dissertação (mestrado em física) – Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

IBÁ Relatório. Indústria Brasileira de Árvores. São Paulo, 2017.

INMET, In. Instituto nacional de meteorologia. 2007 - 2016.

INSTITUTO PORTUGUÊS DO MAR E DA ATMOSFERA. **Normais Climatológicas. IPMA**. 2018. Disponível em: < <https://www.ipma.pt/pt/educativa/tempo.clima/> > Acesso em: 20 de Junho de 2018.

KUINCHTNER, A.; BURIOL, G. A. Distribuição e causas da ocorrência de altos valores pluviométricos na região de Soledade, RS. **Disciplinarium Scientia**. Série: ciências exatas, Santa Maria, v.3, n.1, p. 1-10, 2002.

LEIVAS et al. Estimativa do balanço de radiação na superfície a partir de imagens do satélite ASTER. **Anais...** XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 255-262.

LIMA, M. G. de; RIBEIRO, V. Q. Equações de estimativa da temperatura do ar para o estado do Piauí. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 221-227, 1998.

LOBATO, E. J. V. **Estação evaporimétrica de Goiânia: normais climatológicas (1975-2004)**. Goiânia: EAEA, Setor de Engenharia Rural, 2005.

LOURO, G. A economia da floresta e do sector florestal em Portugal. **Academia das ciências de Lisboa**. 2015.

MACIEL, A. A. **Projeto bioclimático em Brasília: Estudo de caso em edifício de escritórios**. Florianópolis, 2002. 138f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) -

Curso de Pós- Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: oficina de texto, 2007. 206 p.

MILANESI, M. A.; GALVANI, E. Efeito orográfico na ilha de são sebastião (ilhabela – SP). **Revista Brasileira de Climatologia**. p. 68-79. 2011.

LEITÃO, N. **Os números da floresta Portuguesa**. 2009. Disponível em: < <http://naturlink.pt/article.aspx?menuid=3&cid=690&bl=1&viewall=true> > Acesso em: 20 de junho de 2018.

NEU, V. **Influência da cobertura vegetal na ciclagem de nutrientes via solução do solo na região de Manaus – AM**. 110 f. 2005. Dissertação (mestrado em ecologia de agroecossistemas. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005.

OLIVEIRA, E. L. **Fenologia, Demografia Foliar e Características Foliaves de Espécies Lenhosas em um Cerrado Sentido Restrito no Distrito Federal e suas Relações com as Condições Climáticas**. 155 f. 2005. Tese (doutorado em ecologia). Departamento de ecologia. Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

OLIVEIRA, E. V. de. **Meteorologia Aplicada**. Recife: IFPE, 2014.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 415p.

RODAL et al. Flora de um Brejo de Altitude na escarpa oriental do planalto da Borborema, PE, Brasil¹. **Acta bot. bras.** 19(4): 843-858. 2005.

SENTELHAS & ROLIM. Planilha eletrônica. Disponível em: www.esalq.usp.br/departamentos/leb/bhbrasil/Pernambuco/Floresta.xls

SILVA, B. B. da; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. de. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens landsat 5 – tm. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Santa Maria, v.20, n.2, 243-252, 2005.

SILVA, G. B. da, AZEVEDO, P. V. de Potencial edafoclimático da “Chapada Diamantina” no estado da Bahia para o cultivo de Cítrus. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.8, n.1, p.133-139, 2000.

TEIXEIRA, P.R.; CERQUEIRA, R.C.C.M.; SOUSA, W. J. de; BORBA, J.C.C.; SÁ, M.O.; QUERINO, C.A.S.; MEIXNER, F. X.; MOURA, M.A.L. Estudo comparativo dos componentes do balanço de radiação para um dia de céu claro e outro de céu parcialmente nublado nublado na Amazônia. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza-CE, 2004, pp. 698-707.

TEIXEIRA, A. H. de C. **Informações agrometeorológicas do polo Petrolina, PE/Juazeiro - 1963 a 2009**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010.

TEIXEIRA, A. H. de C., AZEVEDO, P. V. de Zoneamento agroclimático para a videira européia no estado de Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.4, n.1, p.139-145, 1996.

ZULLO JÚNIOR, J. et al. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) de sequeiro no estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11., 1999, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, UFSC, 1999. CD-ROM.