

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

VANESSA DE OLIVEIRA GOMES

SAZONALIDADE DE UNIDADE TÉRMICA E DA PRODUTIVIDADE
POTENCIAL EM DIFERENTES CONDIÇÕES MACROCLIMÁTICAS NO

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO

2018

VANESSA DE OLIVEIRA GOMES

SAZONALIDADE DE UNIDADE TÉRMICA E DA PRODUTIVIDADE
POTENCIAL EM DIFERENTES CONDIÇÕES MACROCLIMÁTICAS NO

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

JERÔNIMO MONTEIRO

ESPÍRITO SANTO

2018

VANESSA DE OLIVEIRA GOMES

SAZONALIDADE DE UNIDADE TÉRMICA E DA PRODUTIVIDADE POTENCIAL
BRUTA EM DIFERENTES CONDIÇÕES MACROCLIMÁTICAS

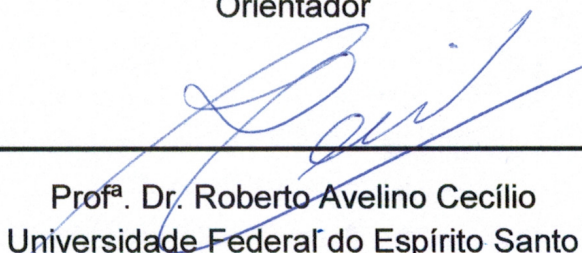
Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da
Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do
título de Engenheiro Florestal.

Aprovada em 9 de julho de 2018

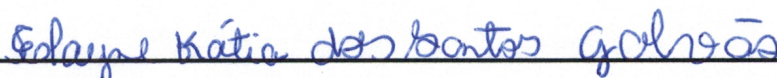
COMISSÃO EXAMINADORA



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

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre estar ao meu lado em tudo, por abençoar toda minha família, me conceder saúde e alegria em todos os momentos de minha vida e por nunca me faltar nada.

À toda minha família, em especial meus pais Neide e Jonas, minha irmã Mirielly e meu cunhado Augusto por todo o apoio, amor e sacrifício que fizeram por mim, para que eu chegasse a este momento. E ao meu namorado Vitor que trouxe o melhor de mim, agradeço por todo o apoio, confiança e amor.

A todos meus professores pelos ensinamentos na graduação, em especial meu professor orientador Pezzopane que me ajudou a crescer e amadurecer, sempre esteve presente em meus trabalhos de iniciação científica, inclusive neste trabalho de conclusão. Agradeço também a minha equipe de laboratório durante os 3 anos de trabalho (Mariana, Genilda, Rachel, Jonas, Rogério, Talita, João Vitor, Elayne e Luciana) que sempre me ajudaram quando precisei.

Aos meus amigos da Universidade, a turma de 2014 em especial, Álison, Samuel, Anna Lara, Mariana, Larissa e Lucas, os agregados, Roberto, Jamile, Ítalo, Bianca, Ricardo e Thales. Agradeço a minha equipe da Floema pelo trabalho de dois anos, no qual ainda estamos colhendo frutos, pelo apoio, crescimento e amizade de todos. E claro minhas companhias de casa, amigos da farmácia Taysa, João e Brenda, em especial minha companheira de apartamento Taysa por sempre estar comigo e me escutar nos momentos difíceis.

RESUMO

Modelos que estimam a produtividade são importantes ferramentas para prever a produção das culturas em diferentes condições climáticas, bem como os aspectos econômicos. Entre os modelos que simulam a produtividade, destacam-se o método de Zona Agroecológica (ZAE) e o modelo do acúmulo de graus-dia. Com o ZAE estima-se a produtividade potencial de uma cultura padrão adaptada ao ambiente sem que haja limitações. O modelo do acúmulo de graus-dia auxilia na seleção de espécies conforme região de melhor adaptação, permitindo planejar as atividades de manejo, bem como indicar o potencial climático da região. O objetivo foi realizar a caracterização agroclimática em condições tropicais, subtropicais e mediterrâneas, empregando modelos de produtividade potencial de produção de massa seca e unidades térmicas. O estudo foi realizado com uma base de dados meteorológicos de séries históricas entre os anos de 2007 a 2016. Utilizou-se dados de 18 estações automáticas de diferentes condições macroclimáticas no Brasil e Portugal. Sendo, 10 estações do Brasil e 8 de Portugal. Após aquisição do banco de dados horários, os mesmos foram organizados e processados utilizando o *software Excel*. Foram determinados, médias e desvio padrão para períodos mensais, sazonais e anuais, de elementos climáticos, em especial a radiação solar e a temperatura do ar. Para o cálculo do acúmulo de graus-dia, foram utilizadas as temperaturas bases, 5 e 10°C para as épocas de inverno e 10 e 15°C para épocas de verão. Na disposição dos resultados adotou-se o critério de condições climáticas, clima tropical e subtropical para o Brasil e clima mediterrâneo para Portugal, seguindo a classificação de Köppen. Foi calculado a PPB_p e GDA para ambos os grupos de plantas C3, dividindo o ano em período de inverno e verão para condições subtropicais e mediterrâneas e, para clima tropical foi calculado apenas para plantas C3 de verão ao longo do ano. Em termos comparativos, Brasil não apresentou um padrão na produtividade e acúmulo de graus-dia como em Portugal. Este comportamento da produtividade pode ser explicado devido a menor dimensão do país, pouca variação climática e com estações bem definidas, estabelecendo vantagem para plantas C3 de inverno no país. Plantas C3 de inverno são mais adequadas para as regiões de Portugal e plantas C3 de verão para regiões do Brasil. Para plantas C3 de inverno não foi possível calcular a produtividade e o acúmulo de graus-dia em algumas regiões brasileiras, devido à falta de condições de crescimento para este grupo de plantas. Através da utilização de

modelos agrometeorológicos, foi possível caracterizar a sazonalidade da produtividade potencial e o acúmulo de graus-dia das regiões analisadas. Os locais do Brasil apresentaram maior sazonalidade da produtividade e acúmulo de graus-dia, comparadas a Portugal, que, independentemente da localização, quanto maior a altitude, menor foi a produtividade potencial e acúmulo de graus-dia da região. A influência da altitude foi o principal fator de divergência das regiões analisadas em relação a produtividade e o acúmulo de graus-dia, mesmo em cidades situadas em regiões próximas.

Palavras-chave: Brasil; Portugal; plantas C3; produtividade potencial; graus-dia;

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	VII
LISTA DE FIGURAS	VIII
1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1. Objetivos	11
1.1.1 Objetivo geral.....	11
1.1.2 Objetivos específicos.....	11
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	12
2.1 Elementos meteorológicos	12
2.2 Caracterização climática	14
2.2.1 Brasil.....	14
2.2.2 Portugal	14
2.3 Produtividade potencial de produção de massa seca - método das zonas agroecológicas da FAO.....	15
2.4 Disponibilidade energética para crescimento e desenvolvimento de plantas com base em unidade térmica	16
3. METODOLOGIA	19
4. RESULTADO E DISCUSSÃO	27
5. CONCLUSÕES.....	43
6. REFERÊNCIAS	44
APÊNDICE A – Radiação Solar no Topo da Atmosfera mensal.	50
APÊNDICE B – Temperatura média (°C) mensal.....	51
APÊNDICE C – Média das temperaturas (°C) máximas mensais.	52
APÊNDICE D – Média das temperaturas (°C) mínimas mensais.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Localização das estações automáticas selecionadas, altitude e classificação climática segundo, de 10 municípios do Brasil (BR) e 8 regiões de Portugal (PT).21

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).21

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Taxa de desenvolvimento relativo e temperatura base inferior (Tb) e superior (TB) para o desenvolvimento vegetal.17
- Figura 2** - Modelo digital de elevação do Brasil, com 10 classes de elevação em metros, representando a localização das estações automáticas brasileiras selecionadas e suas respectivas altitudes.19
- Figura 3** - Modelo digital de elevação de Portugal, com 10 classes de elevação em metros, representando a localização das estações automáticas de Portugal selecionadas e suas respectivas altitudes.20
- Figura 4** - Média mensal da produtividade bruta de matéria seca em $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mês}^{-1}$ referente a série histórica de 2007 a 2016, para plantas C3 de verão ao longo do ano nas respectivas cidades brasileiras de Brasília do Distrito Federal, Campo Grande do estado do Mato Grosso do Sul, Manaus de estado do Amazonas, Petrolina e Recife de Pernambuco, e Rio de Janeiro - Marambaia do estado do Rio de Janeiro.29
- Figura 5** - Média mensal da produtividade bruta de matéria seca em $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mês}^{-1}$ referente a série histórica de 2007 a 2016, para plantas C3 de verão e C3 de inverno nas respectivas cidades brasileiras de Nova Tebas no estado do Paraná, Santa Maria e São José dos Ausentes no estado do Rio Grande do Sul e Teresópolis no estado do Rio de Janeiro.30
- Figura 6** - Média mensal da produtividade bruta de matéria seca em $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mês}^{-1}$ referente a série histórica de 2007 a 2016, para plantas C3 de verão nas respectivas regiões de Portugal: Abrantes, Moinhola, Monchique, Ponte da Barca, Proença-a-nova, Rebordelo, São Brás de Alportel e Viana do Alentejo.32
- Figura 7** - Média mensal da produtividade bruta de matéria seca em $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mês}^{-1}$ referente a série histórica de 2007 a 2016, para plantas C3 de inverno nas respectivas regiões de Abrantes, Moinhola, Monchique, Ponte da Barca, Proença-a-Nova, Rebordelo, São Brás de Alportel e Viana do Alentejo.33
- Figura 8** - Média mensal de graus-dia acumulados em $^{\circ}\text{C} \cdot \text{dia}$ referente a série histórica de 2007 a 2016, com temperatura base de 10 e 15°C ao longo do ano, nas respectivas cidades brasileiras do Distrito Federal, Campo Grande do estado do Mato Grosso do Sul, Manaus de estado do Amazonas, Petrolina e Recife de Pernambuco, e Rio de Janeiro – Marambaia do estado do Rio de Janeiro.....35
- Figura 9** - Média mensal de graus-dia acumulados em $^{\circ}\text{C} \cdot \text{dia}$ referente a série histórica de 2007 a 2016, com temperatura base de 5 e 10°C para as épocas de inverno e Tb de 10 e 15°C para épocas de verão, nas respectivas cidades brasileiras de Nova Tebas no estado do Paraná, Santa Maria e São José dos Ausentes no estado do Rio Grande do Sul e Teresópolis no estado do Rio de Janeiro.....36

Figura 10 - Média mensal de graus-dia acumulados em °C.dia referente a série histórica de 2007 a 2016, com temperatura base de 5 e 10°C para as épocas de inverno, nas respectivas cidades regiões de Portugal: Abrantes, Moinhola, Monchique, Ponte da Barca, Proença-a-nova, Rebordelo, São Brás de Alportel e Viana do Alentejo.39

Figura 11 - Média mensal de graus-dia acumulados em °C.dia referente a série histórica de 2007 a 2016, com temperatura base de 10 e 15°C para as épocas de verão, nas respectivas cidades regiões de Portugal: Abrantes, Moinhola, Monchique, Ponte da Barca, Proença-a-nova, Rebordelo, São Brás de Alportel e Viana do Alentejo.40

1. INTRODUÇÃO

Para a produção agrícola e florestal, o clima é determinante, visto o efeito deste sobre o crescimento e produção das culturas, bem como na qualidade dos produtos decorrente das atividades agrícolas (WAGNER et al., 2011; KUMAR et al., 2014). Nesse contexto, a variabilidade climática tem um grande impacto nas atividades da agricultura, plantio das espécies, tratos culturais e colheita (SÁ JUNIOR et al., 2012), especialmente a variação de temperatura, que é diretamente influenciada pela radiação solar incidente.

A radiação solar é uma variável essencial no crescimento vegetativo, pois é a fonte de energia para a fotossíntese (OLIVEIRA et al., 2012a). Através da radiação solar é possível conhecer as condições térmicas do ambiente. O conhecimento de durações térmicas permite entender os estados fenológicos, caracterizados como os diferentes estágios de desenvolvimento da planta (LOPES, 2008). Dessa forma, a utilização de variáveis meteorológicas possibilita analisar a duração dessa fenologia de forma mais precisa, por exemplo através da aplicação da modelagem.

O uso de variáveis meteorológicas em modelos para estimar a produtividade permite o acompanhamento dos efeitos do clima ao longo do ciclo da cultura, possibilitando avaliar restrições da cultura sobre o clima e obter estratégias para o incremento da produção (GILBERT et al., 2006; TEJERA et al., 2007). Segundo Silva et al., (2009) modelos que estimam a produtividade são importantes ferramentas para prever a produção das culturas em diferentes condições climáticas, bem como, os aspectos econômicos.

Entre os modelos que simulam a produtividade, destacam-se o método de Zona Agroecológica (ZAE) e os de unidade térmica (graus-dia). Com o ZAE estima-se a produtividade potencial de uma cultura padrão adaptada ao ambiente sem que haja limitações, como a falta de água, nutrientes ou ataque por doenças e pragas (FISCHER et al., 2002; DOORENBOS; KASSAM, 1994; CARDOSO; FARIA; FOLEGATTI, 2004). Isso torna o modelo muito preciso para estimar a produtividade potencial das culturas envolvendo dados meteorológicos (TUBIELLO et al., 2007).

O método de graus-dia acumulados do local, auxilia na seleção de espécies conforme região de melhor adaptação. Essa ferramenta é importante para a avaliação da duração do ciclo fenológico das culturas, uma vez que podem ocorrer variações em função das condições meteorológicas existentes. Além disso, o acúmulo de graus-

dia permite planejar as atividades de manejo, seja agrícola ou florestal, bem como, permite indicar o potencial climático da região, visando maior produção da cultura implementada (OLIVEIRA et al., 2012a).

Desse modo, a utilização de modelos de simulação na agricultura proporciona economia de tempo, trabalho e quantidade de recursos necessários, possibilita realizar práticas na redução dos riscos ambientais e atuam como importantes ferramentas para tomada de decisão, para garantir sucesso da indústria agrícola (GOUVÊA, 2009; EVERINGHAM; SMYTH; INMAN-BAMBER, 2009; OLIVEIRA, 2012b). Para isso, selecionar espécies de acordo com a região de melhor adaptação garante rendimento máximo das culturas, devido à dependência das condições climáticas do local no qual são inseridas (EVANS; FISCHER, 1999). Visto a importância da aplicação da modelagem na simulação da produtividade e a ausência de trabalhos deste escopo, tanto no Brasil como em Portugal, há uma necessidade destes estudos em macroescala que caracterizem a produtividade vegetal de ambas as regiões.

1.1. Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Realizar a caracterização agroclimática em condições tropicais, subtropicais e mediterrâneas, empregando modelos de produtividade potencial de produção de massa seca e unidades térmicas.

1.1.2 Objetivos específicos

Estimar a produção de massa seca, com base no método das zonas agroecológicas da FAO, em diferentes condições climáticas no Brasil e em Portugal;

Caracterizar a disponibilidade energética para crescimento e desenvolvimento de plantas com base em acúmulo de graus-dia, no Brasil e em Portugal.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Elementos meteorológicos

As atividades humanas, especialmente a agricultura, vem sendo influenciada pelas condições climáticas. Logo, conhecer a dinâmica dos elementos meteorológicos auxilia no planejamento das ações necessárias, garantindo melhoria da produção das culturas. Entretanto, é importante ressaltar que nem todas as áreas de plantio são adequadas à produção de determinadas espécies (BRAIDO; TOMMASELLI, 2010). Segundo Diniz (1984), não existem áreas que sejam exclusivas para determinada cultura, porém existem zonas mais favoráveis que inclusive podem limitar a produção de outras plantas.

De acordo com Marquínez, Lastra e Garcia (2003), a altitude e as coordenadas geográficas caracterizam a região, assim como a quantificação da precipitação, temperatura do ar, radiação solar e evapotranspiração. E calcular médias, máximas e mínimas destas variáveis auxilia na caracterização de um local. A Organização Meteorológica Mundial – OMM (1975) afirma que são necessários cerca de 30 anos de dados climáticos para se confiar na caracterização climática de uma região.

Quando se trata das condições climáticas de uma região, acredita-se que seja o fator com maiores desafios em relação ao manejo correto de uma cultura, visto que outros fatores que influenciam na produção já possuem estudos com razoáveis resultados de pesquisas (BRAIDO; TOMMASELLI, 2010). Em relação à produção de alimentos, o clima contribui diretamente no desempenho das safras. Com isso, para que se tenha crescimento e desenvolvimento das plantas, é indispensável que os aspectos do clima, especificamente temperatura média, precipitação e radiação solar, atendam às exigências da cultura implementada (FANCELLI; DOURADO-NETO, 2000).

A variável meteorológica que mais influência no desenvolvimento e crescimento vegetativo é a temperatura do ar (BRUNINI, 1998). Além de ser considerada independente, a temperatura do ar é aplicada em modelos de previsão da variação temporal do acúmulo de fitomassa seca em variadas culturas. Isso ocorre devido à facilidade de obtenção dos dados, bem como a relação com a quantidade de radiação fotossintenticamente ativa que determinada planta necessita para completar todo seu ciclo. A temperatura do ar é de suma importância na produção das culturas, visto sua

atuação sobre os processos de fotossíntese, respiração e transpiração (ASSIS et al., 2006).

Cada cultura possui faixas limites de temperatura, na qual determina a sazonalidade e possíveis produtividades (LUCCHESI, 1987; PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002). Através de estudos destas faixas de temperatura, é possível determinar épocas de colheitas, semeadura, aplicar práticas de manejo adequadas, além da escolha das cultivares. Segundo Mendonça e Anii Oliveira (2017), a escolha do local é muito importante para o desenvolvimento das culturas, sendo o macroclima a maior unidade climática, que compreende áreas muito extensas da superfície terrestre.

Outro elemento meteorológico importante para o desenvolvimento vegetal é a precipitação, visto seu efeito nas condições ambientais, atua no balanço hídrico e influencia diretamente na temperatura do ar e solo, umidade relativa e radiação solar. Em conjunto, estas variáveis atuam na produção das culturas como condições básicas para seu desenvolvimento dentro do microclima onde estão inseridas (EMBRAPA, 2002).

Segundo Caron et al, (2003) a radiação solar global também possui importância significativa no desenvolvimento das plantas, a quantidade e qualidade de radiação que atinge a vegetação limita o acúmulo de fitomassa da planta. Além disso, a radiação solar global é um elemento meteorológico importante na realização de zoneamentos agroclimáticos e muito utilizados em modelos de crescimento e produção de culturas (FONTANA; OLIVEIRA, 1996).

Os problemas relacionados a eventos climáticos interferem na agricultura, em especial nos países em desenvolvimento, que sofrem maiores consequências, justamente pela dependência desse meio na economia e sobre a vidas de seus habitantes (BRAIDO; TOMMASELLI, 2010). Em suma, a sazonalidade de uma região está diretamente associada às suas características meteorológicas, a qual caracteriza climaticamente o local (BLAIN e BRUNINI, 2007).

2.2 Caracterização climática

2.2.1 Brasil

O Brasil está situado na América do Sul, onde as terras são distribuídas em diferentes latitudes e inúmeras formas de relevo, proporcionando desenvolvimento de diferentes regimes climáticos que colaboram para uma heterogeneidade climática da região (REBOITA et al., 2010).

A região do Nordeste do Brasil apresenta alta variedade climática, caracterizada pelo elevado potencial de evaporação da água, devido às altas temperaturas e radiação solar incidente (MARENGO, 2010). A região amazônica é outra região importante para se caracterizar o território brasileiro, a qual garante um importante mecanismo de aquecimento da atmosfera tropical, devido a sua intensidade em função da alta disponibilidade de energia solar, através do balanço de energia (R_n). A região possui precipitação média de aproximadamente 2300 mm por ano, apesar de que algumas regiões nas fronteiras entre Colômbia e a Venezuela atingem cerca de 3500 mm por ano (FISCH; MARENGO; NOBRE, 1998).

Os locais de clima mais ameno no Brasil encontram-se nas regiões Sul do país, onde apresentam latitudes e altitudes elevadas e características subtropicais (ROSIER, 2003). A região Sul, possui áreas de altitudes elevadas e é uma das principais regiões agrícolas do país, com produção de grãos e frutíferas de clima subtropical, além de florestas, no Norte do Paraná e na metade do Sul do Rio Grande do Sul (WREGGE et al., 2011).

2.2.2 Portugal

Portugal está inserido na Península Ibérica, onde predomina-se dois tipos de clima, o clima oceânico e o clima mediterrâneo (AEMET; IM, 2011). Ainda de acordo com o autor, além da influência do mar, a variação da latitude é outro fator que afeta o clima da Península Ibérica, garantindo características mediterrâneas à Portugal. Todavia, em uma faixa de transição, como a mediterrânica, variações relativamente pequenas de latitude já podem gerar grandes modificações climáticas (RODRIGUES, 2016).

O território de Portugal tem um clima mediterrâneo ameno, com verões quentes e secos e intensa sazonalidade. Apresenta as quatro estações do ano bem definidas e as diferenças climáticas ocorrem conforme a variação de relevo, proximidade com

o mar e predomínio de ventos. As regiões Norte e Nordeste apresentam alta umidade e elevada precipitação, com uma média anual de precipitação acumulada superior a 3000 mm, além de temperaturas suaves no inverno e no verão. Já o Sul é uma região com pouca precipitação, os invernos também são suaves e os verões são quentes (AEMET; IM, 2011; DE LIMA; ESPÍRITO SANTO; DE LIMA, 2013).

2.3 Produtividade potencial de produção de massa seca - método das zonas agroecológicas da FAO

O método da Zona Agroecológica (ZAE), modelo FAO, estima a Produtividade Potencial Bruta Padrão de uma cultura bem adaptada ao ambiente de crescimento, em condições ideais, assumindo-se que a cultura obtém seu rendimento máximo. Entende-se por rendimento máximo aquele obtido por uma variedade altamente produtiva e adaptada ao ambiente inserido, sem que haja limitações de fertilização ou danos significativos causados por doenças e pragas. (CARDOSO; FARIA; FOLEGATTI, 2004; FISCHER et al., 2002; DOORENBOS; KASSAM, 1994).

Nesse contexto, utiliza-se características da espécie, temperatura e radiação solar disponível na região (DOORENBOS; KASSAM, 1994), ou seja, o modelo necessita de dados meteorológicos e da cultura. É um modelo com baixa exigência de dados de entrada e apresenta resultados consistentes, próximos a realidade, rápidos e de baixo custo. O modelo tem sido bastante utilizado, devido à sua simplicidade e bom desempenho (OLIVEIRA et al., 2012b).

A aplicação de modelos que simulam a produção na agricultura possibilita uma economia de trabalho e recursos, promovendo a otimização do tempo. Tais modelos, podem ser um importante incentivo para a definição de políticas públicas de tomada de decisão. Os resultados das simulações propiciam recomendações na redução dos riscos ambientais e custos de produção e, com isso, resultam em maior sustentabilidade do planejamento agrícola (GOUVÊA et al., 2009).

Gouvêa et al., (2009) utilizaram o método ZAE na determinação dos riscos climáticos na produtividade da cana-de açúcar no estado de São Paulo. Apesar do método ser considerado uma forma precisa de estimar produtividade (TUBIELLO et al., 2007), pode ser penalizado pelo déficit hídrico (GOUVÊA et al., 2009). Nesse sentido, as condições climáticas são importantes no crescimento das culturas e, conseqüentemente, na sua produtividade, seja agrícola ou florestal. Entretanto, as

características agroclimáticas de variadas regiões podem influenciar de diferentes formas na produtividade (FIGUEREDO JÚNIOR, 2004).

Segundo Firincioglu et al, (2010) o aumento da produtividade de uma cultura depende de suas características morfológicas e de sua capacidade de adaptação ao ambiente em que está inserida, favorecida pela disponibilidade de água, radiação solar e disponibilidades de nutrientes. É importante ressaltar que a radiação incidente disponível é um fator no qual depende principalmente da região, em especial sua posição geográfica, latitude, longitude e altitude (GARDNER; PEARCE; MITHCELL, 1985).

Segundo Pereira, Angelocci e Sentelhas, (2002) a produção bruta de matéria seca varia com o tipo de fixação de carbono da espécie, com a temperatura e adaptação climática. E para simplificação da estimativa da produtividade, divide-se em três grupos as espécies de interesse agrícola. O grupo I são as plantas C3 de inverno, que tem como exemplos alfafa, feijão, trigo, ervilha, batata, repolho e etc. O grupo II são as plantas C3 de verão, os exemplos são algodão, amendoim, arroz, girassol, tomate, soja, citrus e etc. E por último, as plantas C4, milho, sorgo, cana-de-açúcar, capins e etc.

2.4 Disponibilidade energética para crescimento e desenvolvimento de plantas com base em unidade térmica

O conceito de unidades de calor ou tempo térmico surgiu desde 1730, realizado por Reaumur na França, nos primeiros estudos relacionando clima e planta. Desde então, métodos de unidade de calor têm sido usados com sucesso nas ciências agrárias, em especial no desenvolvimento das culturas (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002). A unidade térmica graus-dia obtém relações entre clima-planta, que é o acúmulo diário da energia do dia. Com isso, ao invés de utilizar número de dias ou épocas do ano para caracterizar o ciclo de vida das plantas, utiliza-se a soma térmica de graus-dia, melhorando na previsão de eventos fenológicos (MCMASTER; WILHELM, 1997). O método tem-se mostrado aceitável para o planejamento e previsão de datas de plantio e colheita das espécies (LINDSEY; NEWMAN, 1956).

O método foi apresentado por Ometto (1981), onde existe a temperatura base inferior (T_b), que é o calor de energia mínima para acionar dispositivos metabólicos das plantas, ponto abaixo da qual o desenvolvimento da planta é nulo/interrompido (Figura 1). O maior valor de temperatura, ou seja, o nível energético máximo, chamado de temperatura base superior (TB), a planta estanca suas atividades metabólicas, pois não consegue se desenvolver, ou se desenvolve pouco (LIMA; SILVA, 2008; MCMASTER; WILHELM, 1997).

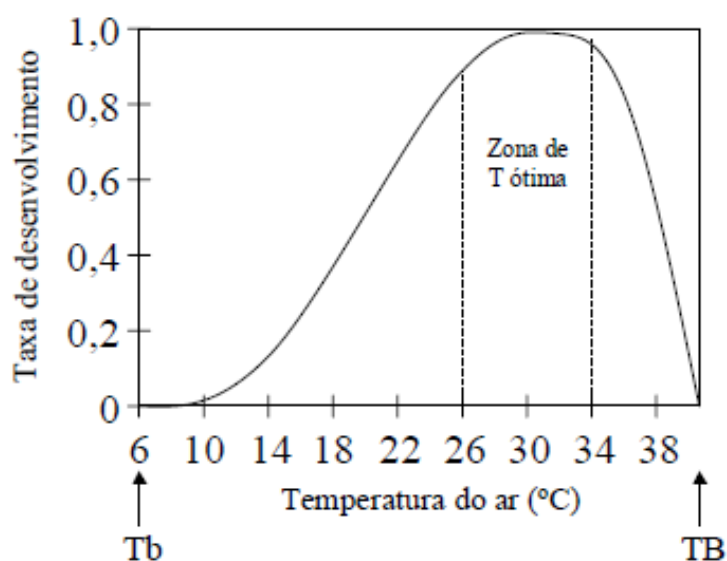


Figura 1 - Taxa de desenvolvimento relativo e temperatura base inferior (T_b) e superior (TB) para o desenvolvimento vegetal.

Fonte: Pereira, Angelocci e Sentelhas (2002).

Segundo Renato et al, (2013) em cenários de mudanças climáticas, o uso de graus-dia estima produtividade de plantas, por controlar o ciclo e desenvolvimento da cultura. Os autores Monteith e Elston (1996) informam que 0°C é a temperatura base para espécies C3 de regiões temperadas e 10°C para espécies C4 e plantas C3 de regiões tropicais. McMaster e Smika (1988) utilizaram temperatura base de 0°C para trigo e Cross e Zuber (1972) utilizaram 10°C para o milho.

Mcmaster e Wilhelm (1997) afirmam que o intervalo entre a temperatura inferior e superior é chamado de “quantum”, período do dia que ocorre estímulos dos processos metabólicos. Portanto, quando a temperatura do ar estiver abaixo de T_b ou acima de TB são retirados do cálculo de graus-dia, por apresentarem valores insuficientes, no caso da temperatura inferior, e excessivo, no caso da temperatura superior.

Barbano et al, (2001) e Souza et al, (2009) afirmam que existe uma faixa satisfatória de temperatura para o desenvolvimento adequado do vegetal, uma temperatura máxima acima da qual a taxa respiratória supera a taxa de produção de fotoassimilados e uma temperatura mínima abaixo da qual interrompem as suas atividades fisiológicas. Segundo Taiz e Zeiger (2004), algumas reações bioquímicas aceleram quando a planta não permanece em uma faixa de temperatura adequada para o funcionamento das enzimas. Para cada espécie vegetal ou variedade existe a temperatura basal, a qual varia em função da idade da planta ou fase fenológica, considerando temperaturas do período do dia e noite no desenvolvimento do vegetal (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

Muitos estudos associam o conceito de unidade térmica ou tempo térmico com os processos fisiológicos de variadas culturas, contribuindo assim para indicação de possíveis locais de plantio (PEZZOPANE et al., 2008; ROBERTO et al., 2004; SOUZA et al., 2009; STENZEL et al., 2006). Nesse contexto, a ferramenta do acúmulo de graus-dia contribui para indicação do potencial climático de uma região para implantação de determinada espécie no local, devido a cada espécie vegetal apresentar uma temperatura-base para diferentes fases fenológicas ou adotar um único valor para todo ciclo da cultura (SOUZA et al., 2009; PEZZOPANE et al., 2008).

3. METODOLOGIA

O estudo foi realizado com uma base de dados meteorológicos de séries históricas entre os anos de 2007 a 2016. Utilizou-se dados horário de radiação e temperatura de 18 estações automáticas de diferentes condições macroclimáticas no Brasil e Portugal, sendo, 10 no Brasil (Figura 2) e 8 em Portugal (Figura 3). O banco de dados foi disponibilizado pelos órgãos governamentais, Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (Brasil) e Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos – SNIRH (Portugal).

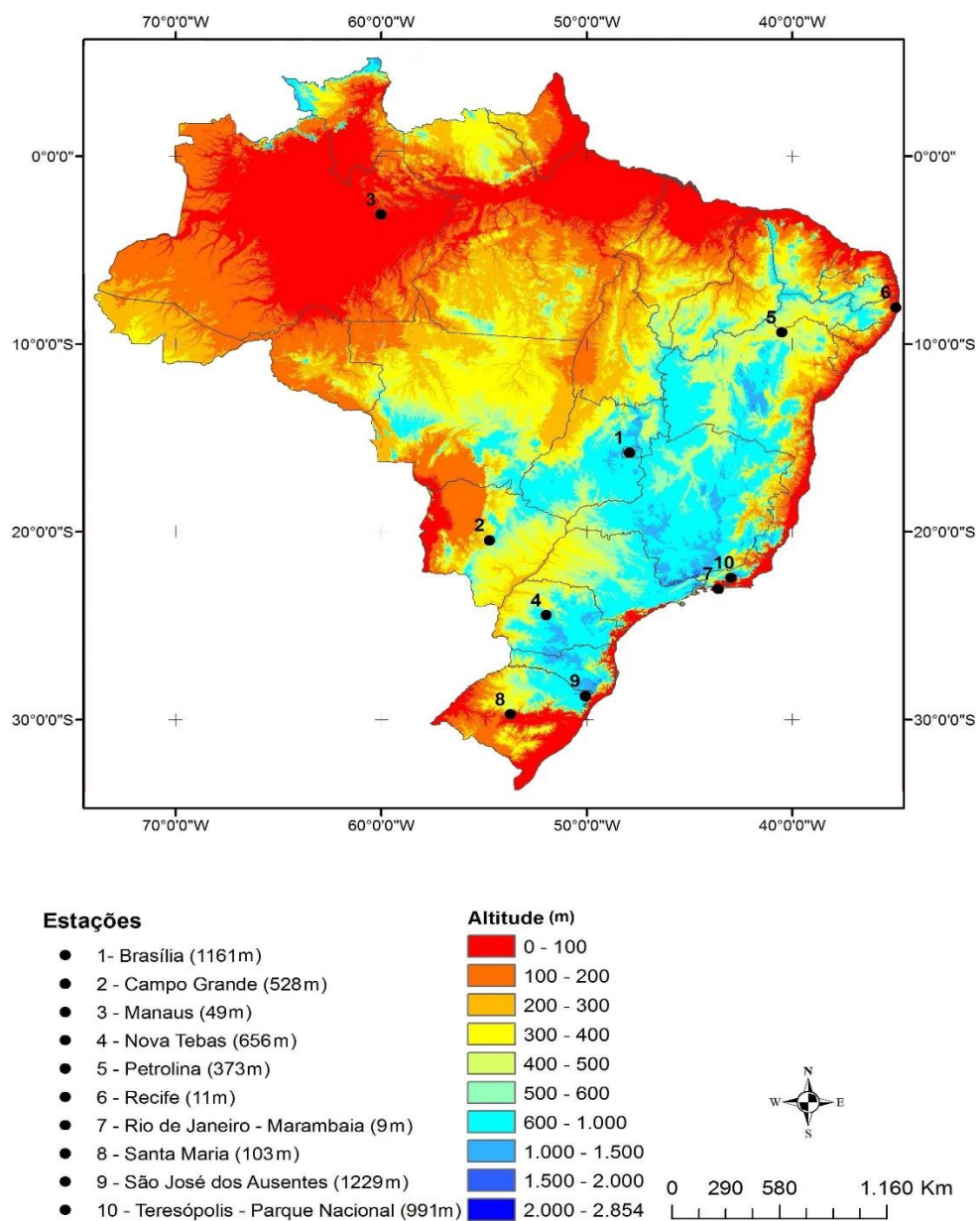


Figura 2 - Modelo digital de elevação do Brasil, com 10 classes de elevação em metros, representando a localização das estações automáticas brasileiras selecionadas e suas respectivas altitudes.

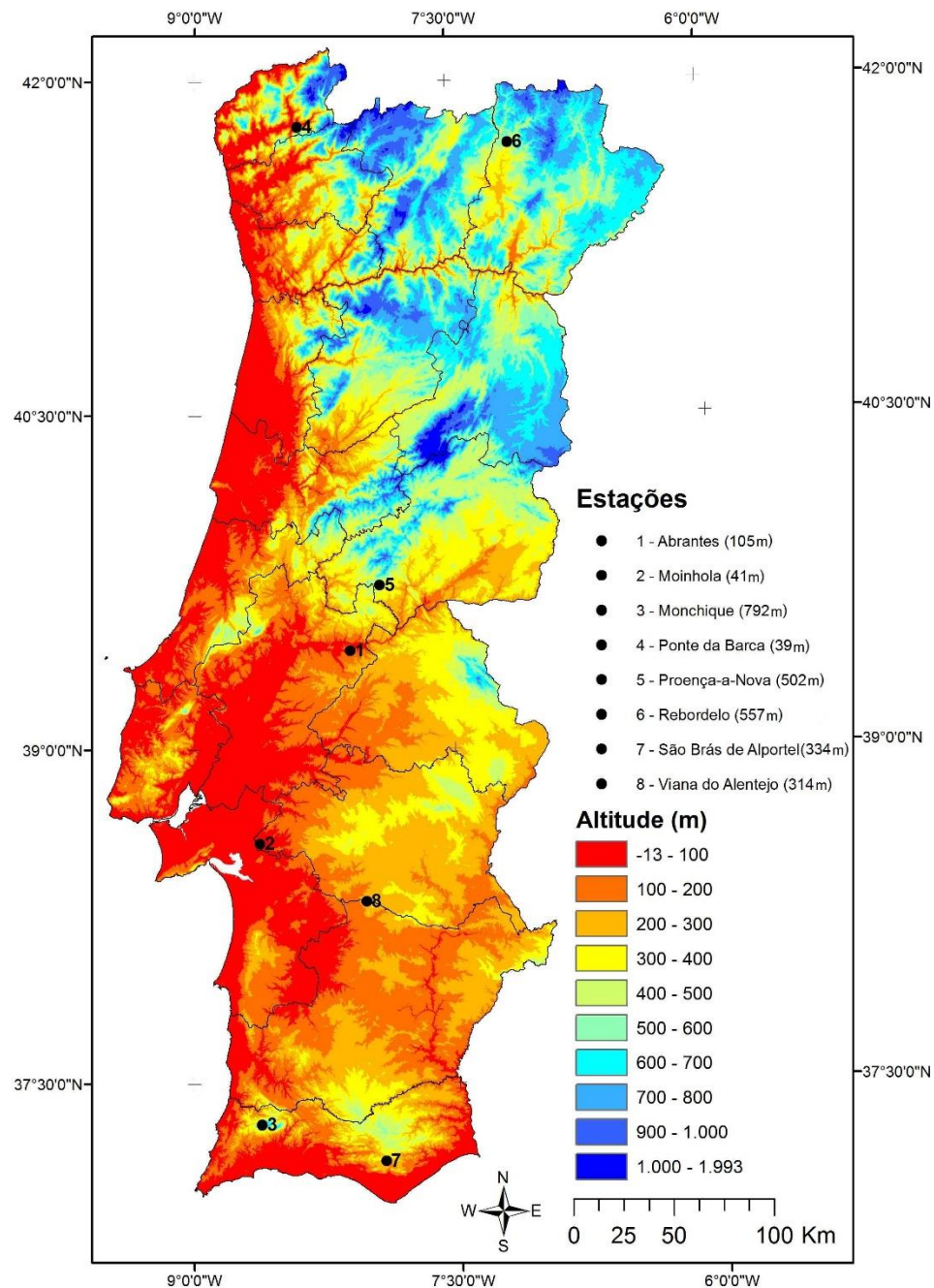


Figura 3 - Modelo digital de elevação de Portugal, com 10 classes de elevação em metros, representando a localização das estações automáticas de Portugal selecionadas e suas respectivas altitudes.

Os locais foram distribuídos em ambos países, procurando representar diferentes condições climáticas, altitude e latitude (Tabela 1). A definição dessas áreas de estudos visou atingir uma abordagem de diversos tipos de climas, devido ao Brasil apresentar um forte gradiente em função de suas dimensões e em Portugal onde ocorre um tipo de clima bastante peculiar sob influência do Mediterrâneo. Com isso, possibilitando atender as diversas condições macroclimáticas e mesoclimáticas,

representando inclusive os diversos biomas existentes em cada um dos países estudados.

Tabela 1 - Localização das estações automáticas selecionadas, altitude e classificação climática segundo, de 10 municípios do Brasil (BR) e 8 regiões de Portugal (PT).

Estação	Latitude (°S)	Longitude (°O)	Altitude (m)	Classificação climática
BR Brasília - DF	15°47'	47°55'	1161	Aw
BR Campo Grande - MS	20°26'	54°43'	528	Aw
BR Manaus - AM	3°6'	60°00'	049	Am
BR Nova Tebas - PR	24°26'	51°57'	656	Cfa
BR Petrolina - PE	9°23'	40°31'	272	BSh
BR Recife - PE	8°9'	34°57'	011	Am
BR Marambaia - RJ	23°3'	43°35'	009	Aw
BR São José dos Ausentes - RS	28°44'	50°03'	1229	Cfb
BR Santa Maria - RS	29°43'	53°43'	103	Cfa
BR Teresópolis - RJ	22°26'	42°59'	991	Cfb
PT Abrantes	39°27'	08°06'	105	Csa
PT Monchique	37°19'	08°35'	792	Csb
PT Moinhola	38°35'	08°36'	041	Csa
PT Ponte da barca	41°48'	08°25'	39	Csb
PT Proença-a-Nova	39°44'	07°55'	502	Csa
PT Rebordelo	41°44'	07°09'	557	Csb
PT São Brás de Alportel	37°9'	07°53'	334	Csa
PT Viana do Alentejo	38°19'	08°00'	314	Csa

Am = clima de monção; Aw = clima tropical com estação seca no inverno; BSh = clima das estepes quentes de baixa latitude e altitude; Cfa = clima temperado húmido com Verão quente; – Cfb = clima temperado húmido com Verão temperado; Csa = clima temperado húmido com Verão seco e quente; Csb = clima temperado húmido com Verão seco e temperado;

Fonte: Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos – SNIRH (Portugal), Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (Brasil) e Koppen (1936)

Após aquisição do banco de dados horários, os mesmos foram organizados e processados utilizando o *software Excel*, acumulando-os por dia e posteriormente por mês. Para melhor caracterização da sazonalidade dos elementos meteorológicos nas regiões estabelecidas (Tabela 2), foram determinados, médias e desvio padrão para períodos mensais, sazonais e anuais, de acordo com os recursos naturais disponíveis (clima), em especial a radiação solar e a temperatura do ar.

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 Rio de Janeiro	3,4	955	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; Temperatura min - média anual; Temperatura max - média da temperatura máxima anual; Temperatura min - 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: A autora.

Para a estimativa da produtividade potencial de produção de massa seca, utilizou-se o método da Zona Agroecológica (ZAE) proposto por Doorenbos e Kassam (1994). O modelo adotado pela FAO é baseado na radiação solar incidente corrigida (R_{so}), proposto por Allen et al, (1998), que considera a produção potencial bruta de matéria seca de uma cultura padrão (PPB_p), tendo a radiação solar, o fotoperíodo e a temperatura como fatores limitantes. A determinação da PPB_p é feita pela soma das produtividades potenciais padrão para período de céu limpo (PPB_c) e de céu nublado (PPB_n), segundo a seguinte fórmula (Equação 1):

$$PPB_p = PPB_n + PPB_c \quad (1)$$

Nas equações 2 e 3 foi adaptado a variável R_s/R_{so} para o cálculo de PPB_p e PPB_c , de acordo com a FAO 56. Originalmente ambas as fórmulas utilizam o fotoperíodo ou a evapotranspiração no lugar da variável radiação relativa de ondas curtas. Está adaptação é devido ao banco de dados utilizados neste trabalho, para maior facilidade dos cálculos de produtividade.

Foi calculado a produtividade potencial bruta de dois grupos de plantas com diferentes mecanismos de concentração de CO_2 , grupo I de plantas C_3 de inverno e grupo II de plantas C_3 de verão. Assim, para as duas variáveis, PPB_n e PPB_c , ambas dadas em $kg.ha^{-1}.d^{-1}$, de acordo com a temperatura de cada local, utilizou-se as fórmulas a seguir (Equação 2 e 3).

$$PPB_n = (31,7 + 0,219 Ro) cTn \left(1 - \frac{R_s}{R_{so}}\right) \quad (2)$$

$$PPB_c = (107,2 + 0,36 Ro) cTc \frac{R_s}{R_{so}} \quad (3)$$

Em que:

Ro = Radiação solar incidente em uma superfície horizontal paralela ao plano do horizonte local, no topo da atmosfera ($MJ.m^{-2}.d^{-1}$);

cTn = Correção devido à temperatura, para cada grupo, relativa ao período nublado;

cTc = Correção devido à temperatura, para cada grupo, relativa ao período sem nuvens;

R_s/R_{so} = Radiação relativa de ondas curtas (limitada para $\leq 1,0$).

R_s = radiação solar incidente ($MJ m^{-2} dia^{-1}$);

R_{so} = radiação solar em céu sem nuvens ($MJ m^{-2} dia^{-1}$), calculada por meio da seguinte fórmula (Equação 4):

$$R_{so} = (0,75 + 2.10^{-5}Z)R_a \quad (4)$$

Em que:

Z = altitude do local (m)

R_a = radiação solar no topo da atmosfera ($MJ m^{-2} dia^{-1}$).

De acordo com Pereira, Angelocci e Sentelhas (2002) originalmente os fatores de correção cTc e cTn são dados tabelados, com valores discretos de temperatura, a intervalos de 5°C. Ainda de acordo com os autores, para a determinação desses fatores dividiu-se os grupos de plantas de interesse agrícola, de forma a simplificar a estimativa da produtividade.

Para o grupo I com temperatura entre 15 e 20°C utilizou as equações 5 e 6:

$$cTn = 0,7 + 0,035T - 0,001T^2 \quad (5)$$

$$cTc = 0,25 + 0,0875T - 0,0025T^2 \quad (6)$$

E com $T < 15^\circ\text{C}$ ou $T > 20^\circ\text{C}$ utilizou as seguintes equações 7 e 8:

$$cTn = 0,25 + 0,0865T - 0,0025T^2 \quad (7)$$

$$cTc = -0,5 + 0,175T - 0,005T^2 \quad (8)$$

Para o grupo II com temperatura entre 16,5°C e 37°C utilizou as equações 9 e 10:

$$cTn = 0,583 + 0,014T + 0,0013T^2 - 0,000037T^3 \quad (9)$$

$$cTc = -0,0425 + 0,035T + 0,00325T^2 - 0,0000925T^3 \quad (10)$$

E com $T < 16,5^\circ\text{C}$ ou $T > 37^\circ\text{C}$ utilizou as seguintes equações 11 e 12:

$$cTn = -0,0425 + 0,035T + 0,00325T^2 - 0,0000925T^3 \quad (11)$$

$$cTc = -1,085 + 0,07T + 0,0065T^2 - 0,000185T^3 \quad (12)$$

Em que:

T = Temperatura média (°C).

Para a caracterização da disponibilidade energética de crescimento e desenvolvimento, com base em unidade térmica, foi realizado o cálculo de graus-dia. O cálculo de graus-dia possui três alternativas simplificadas, se a temperatura mínima (T_{min}) for maior que T_b , o valor diário de graus-dia (GDi) foi dado pela seguinte equação proposta por Ometto, (1981) (Equação 13):

$$GDi = T_{med_i} - T_b \quad (13)$$

Em que:

GD_i = Graus-dia ou unidade térmica ($^{\circ}\text{C}.\text{dia}$);

$T_{\text{méd}_i}$ = Temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$);

T_b = Temperatura base inferior ($^{\circ}\text{C}$).

Quando T_b era igual ou maior que a temperatura mínima ($T_{\text{mín}}$), e menor que a temperatura máxima ($T_{\text{máx}}$), utilizou-se a seguinte equação (Equação 14):

$$GD_i = \frac{(T_{\text{máx}_i} - T_b)^2}{2(T_{\text{máx}_i} - T_{\text{mín}_i})} \quad (14)$$

Por fim, quando o valor de T_b era maior que a temperatura máxima ($T_{\text{máx}}$), o valor de $GD_i = 0$ (zero). Assim, cada grau de temperatura acima da T_b tem-se $^{\circ}\text{G.d}$. Para a cultura atingir a fase fenológica ou maturação é preciso que acumule a constante térmica, dada pelo somatório de GD_i acumulados (GDA), no caso deste trabalho utilizou-se o acúmulo de graus-dia no mês (Equação 15):

$$\text{Constante Térmica} = GDA = \sum_{i=1}^n GD_i \quad (15)$$

Em que:

GDA = Graus dias acumulados ($^{\circ}\text{G.d}$);

n = Número de dias da fase ou ciclo.

Para o cálculo do acúmulo de graus-dia, foram utilizadas as temperaturas bases, 5 e 10°C para as épocas de inverno e 10 e 15°C para épocas de verão. A escolhas destas temperaturas base foram devido a forma de disposição dos dados e em função do estudo em macroescala de diversas regiões do Brasil e Portugal, para manter um padrão na disposição dos resultados, bem como valores médios de T_b para regiões tropicais, subtropicais e mediterrâneas.

Na disposição dos resultados adotou-se o critério de condições climáticas, clima tropical e subtropical para o Brasil e clima mediterrâneo para Portugal, seguindo a classificação de Koppen (1936). Foi calculado a PPB_p e GDA para ambos os grupos de plantas C3, dividindo o ano em período de inverno e verão para condições subtropicais e mediterrâneas e, para clima tropical foi calculado apenas para plantas C3 de verão ao longo do ano. Este critério estabelecido foi devido a inexistência de

temperaturas baixas para plantas C3 de inverno, considerando assim, apenas plantas C3 de verão para todos os meses do ano.

A divisão dos meses ao longo do ano, foi de acordo com o período de inverno e período de verão de cada país. Para o Brasil, considerou-se período de verão do mês de novembro a abril e período de inverno do mês de maio a outubro. Para Portugal foi o contrário, pois quando estiver em épocas de inverno na Península Ibérica será verão na América do Sul, devido aos movimentos de rotação e translação da terra.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

As médias mensais de produtividade com os respectivos desvios padrão em relação à média de regiões tropicais e subtropicais do Brasil podem ser observadas nas figuras 4 e 5.

Na figura 4 estão os municípios de clima tropical, com média de temperatura anual acima de 21°C. Nestes, a produtividade para plantas C3 de verão mantiveram constantes ao longo do ano, com pequena redução no período de inverno. Entretanto, Marambaia, diferenciou dos demais locais por apresentar diminuição da produtividade nos meses de temperaturas baixas. Marambaia localiza-se na região litorânea do estado do Rio de Janeiro e apresenta baixa altitude, além de ser a única região tropical com latitude próxima de 20°S.

Regiões localizadas na latitude supracitada, são caracterizadas pela diminuição da radiação solar incidente em épocas de inverno, justamente por estarem mais distantes da linha do equador. Assim, com menos radiação solar incidente no local, menor será a disponibilidade energética da região, diminuindo seu potencial de produtividade agrícola no período de inverno. Segundo Pereira, Angelocci e Sentelhas (2002), o que determina o potencial de produtividade agrícola de uma região é a disponibilidade de energia e de água.

Manaus e Recife foram os municípios que obtiveram as maiores médias de produtividade (Figura 4). Contudo, Manaus, manteve maior produtividade, isso pode ser explicado devido a maior proximidade com a linha do equador, caracterizado pelo clima equatorial húmido, proporcionando maior disponibilidade energética para os vegetais ao longo do ano.

As regiões de clima subtropical, que apresentaram média de temperatura anual menor ou igual a 21°C, podem ser observadas na figura 5. Nota-se que no período de verão a produtividade para plantas C3 de verão foi maior nos municípios de Santa Maria e Nova Tebas, sendo o primeiro o mais produtivo. Santa Maria é o município analisado de latitude mais alta no Brasil, com 103 metros de altitude e, apesar de ser a região subtropical mais produtiva, Alberto e colaboradores, (2006) mencionam que esta região é susceptível ao déficit hídrico, sendo maior para culturas de verão do que para culturas de inverno. Dessa forma, é indicado inserir culturas de inverno, já que apresenta temperaturas baixas ao longo do ano.

A menor produtividade ocorreu nas regiões de São José dos Ausentes e Teresópolis, para plantas de verão e inverno, devido a presença de temperaturas mais baixas e elevadas altitudes. Segundo Taiz e Zeiger (2004) a temperatura do local influencia as reações bioquímicas da fotossíntese, entretanto tanto temperaturas baixas quanto altas afetam eminentemente os processos fotossintéticos, diminuindo a produtividade.

Estas regiões de clima subtropical estão localizadas em latitudes altas, acima de 20°S e, quanto maior a latitude do local, maior a variação de radiação solar incidente ao longo do ano (CAVALCANTI et al, 2009).

Em suma, as plantas C3 de verão apresentam excelente desempenho em ambientes quentes e com boa disponibilidade energética, como nos municípios de Recife, Petrolina, Manaus e Campo Grande (Figura 4). Mudança sazonal da luminosidade e temperatura afeta a capacidade da planta de fotossintetizar, ou seja, caso forem inseridas em condições de baixa temperatura, fotoperíodo curto e menor disponibilidade de energia, terão um menor desempenho (TAIZ; ZEIGER, 2004). Já plantas C3 de inverno apresentam uma produtividade constante ao longo do período de inverno (Figura 5).

.

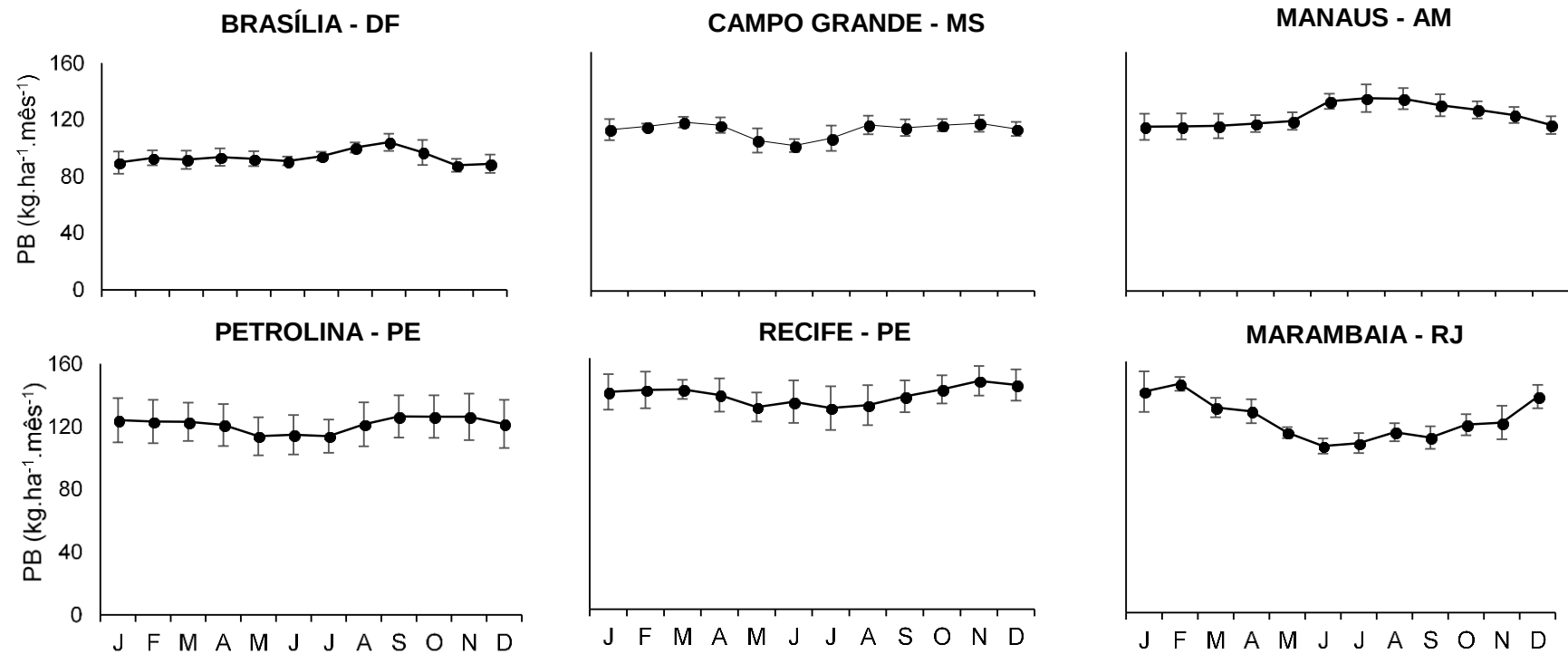


Figura 4 - Média mensal da produtividade bruta de matéria seca em kg.ha⁻¹.mês⁻¹ referente a série histórica de 2007 a 2016, para plantas C3 de verão ao longo do ano nas respectivas cidades brasileiras de Brasília do Distrito Federal, Campo Grande do estado do Mato Grosso do Sul, Manaus de estado do Amazonas, Petrolina e Recife de Pernambuco, e Rio de Janeiro - Marambaia do estado do Rio de Janeiro.

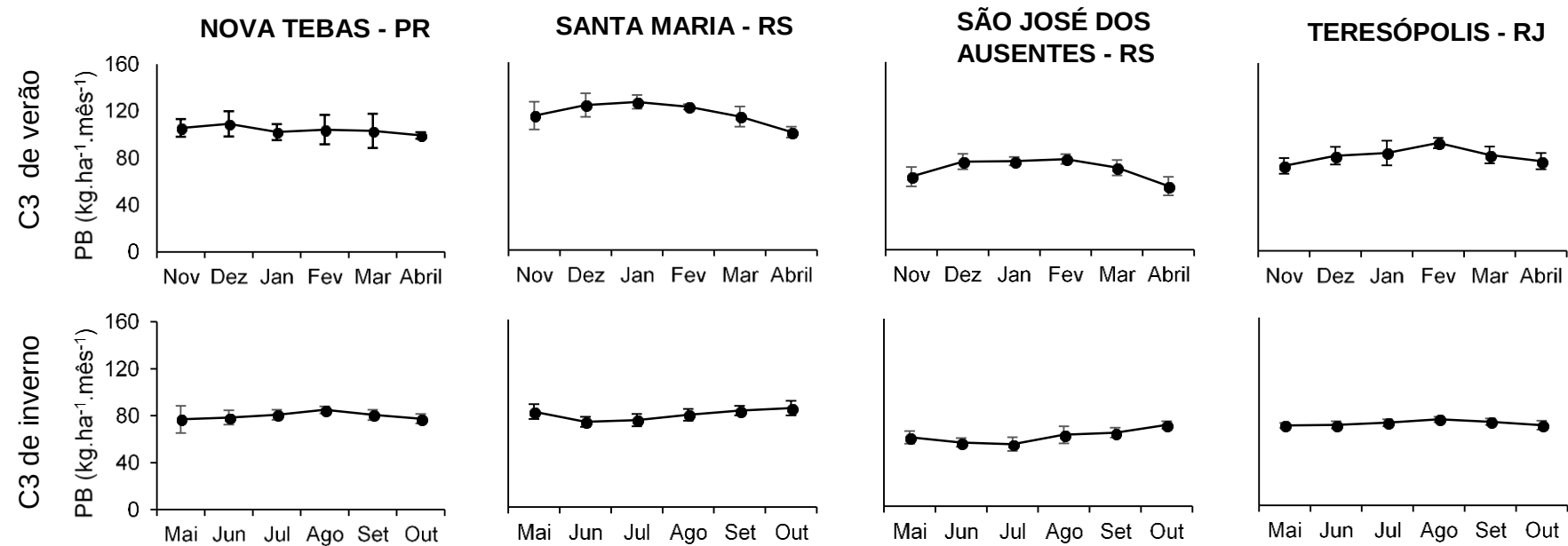


Figura 5 - Média mensal da produtividade bruta de matéria seca em kg.ha⁻¹.mês⁻¹ referente a série histórica de 2007 a 2016, para plantas C3 de verão e C3 de inverno nas respectivas cidades brasileiras de Nova Tebas no estado do Paraná, Santa Maria e São José dos Ausentes no estado do Rio Grande do Sul e Teresópolis no estado do Rio de Janeiro.

Diferente do Brasil, Portugal possui menor dimensão territorial continental e também apresenta variação das condições climáticas em suas diferentes regiões (LUZ; FERREIRA, 2017). Portugal apresenta clima temperado mediterrâneo com verões quentes e chuvas no inverno na região Sul e clima temperado mediterrâneo com verões brandos e chuvas no inverno na região norte (AEMET; IM, 2011).

Nas figuras 6 e 7 estão representadas as regiões de clima mediterrâneo. Observa-se que no período de verão (Figura 9) as regiões analisadas de Portugal mantiveram um comportamento similar de produtividade. A produtividade obteve aumento nos meses de julho e agosto, tendo queda nos meses de outubro ao se aproximar do período de inverno.

Na figura 6, na vila de Monchique no distrito de Faro, observa-se que apresenta menor média de produtividade em relação às outras regiões, tanto no inverno quanto no verão. Isso pode ser explicado devido as temperaturas baixas que ocorrem na região montanhosa do Algarve, que atinge altitude de 792 metros na vila no sul do país. De acordo com Gonçalves et al, (2016), com o aumento da altitude a taxa de variação da temperatura não fica constante, porém apresenta oscilação anual, sendo os gradientes mais elevados no período de verão do que no inverno.

Segundo Gonçalves et al, (2016) a média mensal dos valores da temperatura do ar varia regularmente durante o ano, chegando ao seu máximo em agosto e ao seu mínimo em janeiro em Portugal. No verão a média de valores da temperatura máxima varia entre os 16°C na Serra da Estrela e os 32-34°C na região Centro-este do Alentejo.

Em relação ao período de inverno, as plantas C3 de inverno (Figura 7) também mantiveram um comportamento similar de produtividade, porém em Rebordelo e Monchique atingiram valores mais baixos, principalmente no mês de janeiro. Estas regiões de Portugal, estão presentes no Norte e Sul do país respectivamente e apresentam as maiores altitudes. Segundo Miranda et al, (2002) a média de temperatura mínima no inverno varia entre 2°C nas zonas montanhosas interiores e os 12°C na região Sul.

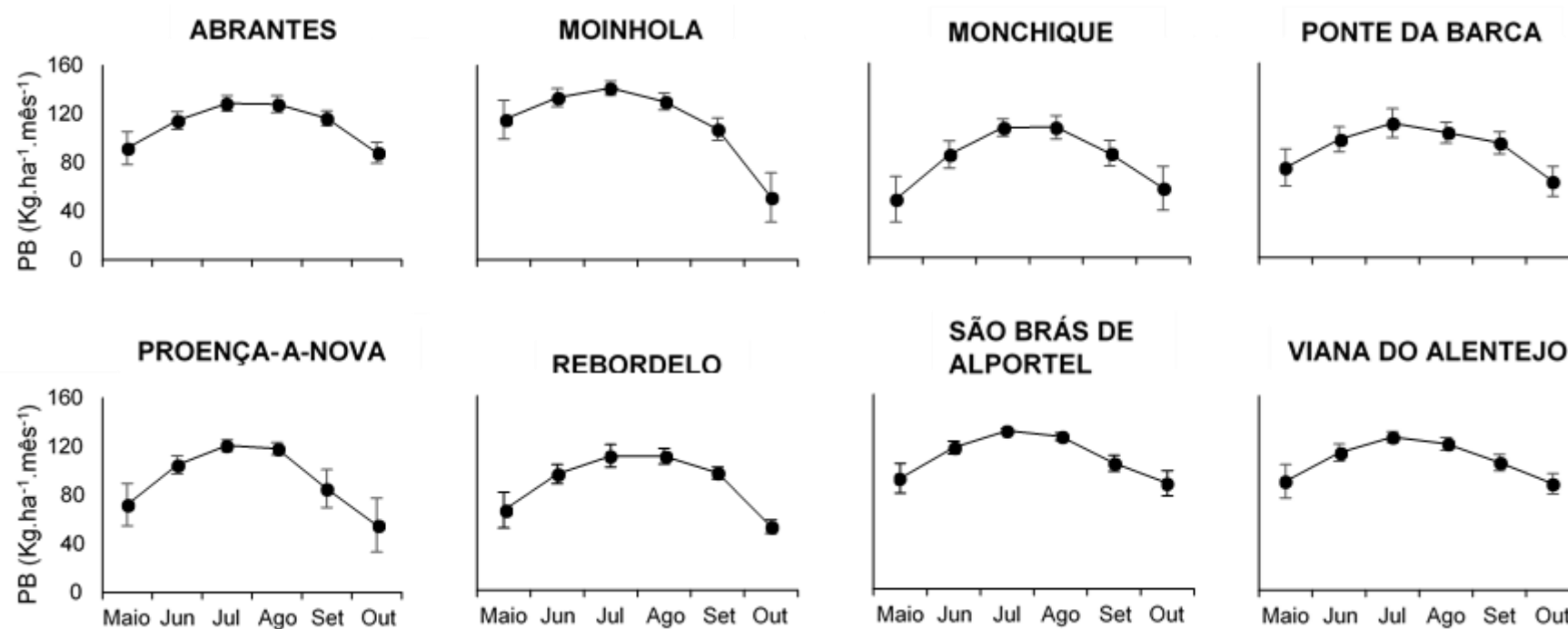


Figura 6 - Média mensal da produtividade bruta de matéria seca em $\text{kg.ha}^{-1}.\text{mês}^{-1}$ referente a série histórica de 2007 a 2016, para plantas C3 de verão nas respectivas regiões de Portugal: Abrantes, Moinhola, Monchique, Ponte da Barca, Proença-a-nova, Rebordelo, São Brás de Alportel e Viana do Alentejo.

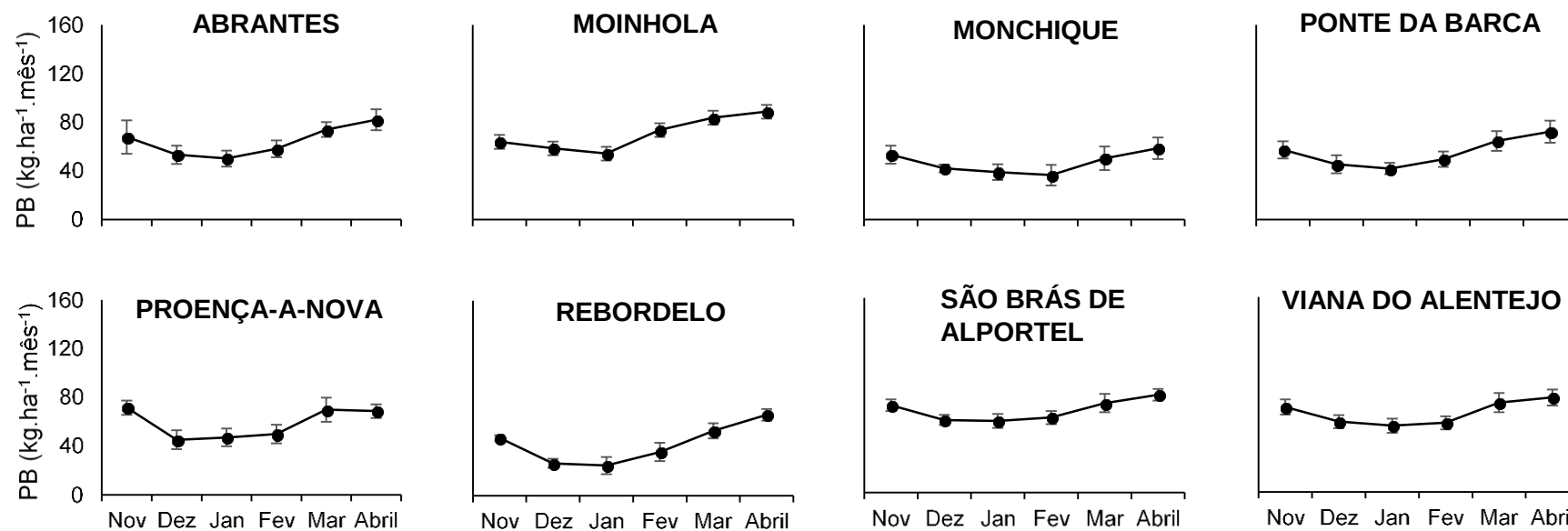


Figura 7 - Média mensal da produtividade bruta de matéria seca em kg.ha⁻¹mês⁻¹ referente a série histórica de 2007 a 2016, para plantas C3 de inverno nas respectivas regiões de Abrantes, Moinhola, Monchique, Ponte da Barca, Proença-a-Nova, Rebordelo, São Brás de Alportel e Viana do Alentejo.

Nas figuras 8 e 9 estão representadas as médias mensais do acúmulo de graus-dia dos anos analisados, com os respectivos desvios padrão em relação à média de regiões tropicais, subtropicais e mediterrâneas respectivamente, representando as regiões estudadas do Brasil e Portugal.

Assim como ocorreu com os resultados da produtividade, a unidade térmica graus-dia em regiões tropicais brasileiras (Figura 8) demonstram um determinado padrão. Maior acúmulo de graus-dia em épocas de verão e menor acúmulo de graus-dia em épocas de inverno. Entretanto, o município de Manaus obteve menor sazonalidade, pois apresentou o acúmulo de graus-dia mais constante durante os meses do ano, com maior desvio padrão no mês de julho para ambas as temperaturas base. Segundo Fenili et al., (2016) julho é o mês que mais contribui para o acúmulo de unidades de frio, isso explica o maior desvio padrão neste mês. Os autores Renato et al, (2013) em estudo concluem que em regiões de temperaturas elevadas é importante ter-se o uso de equações que possam apresentar limites inferiores e superiores para o desenvolvimento dos vegetais.

Como pode ser observado na figura 9, Brasília apresentou as menores médias do acúmulo de graus-dia mensal. Isso pode ser explicado devido ao município apresentar altitude de 1161 metros e média de temperatura anual baixa de 21,6°C, comparada aos outros locais tropicais no período analisado. Segundo Cardoso, Marcusso e Barros (2014), o Distrito Federal é caracterizado pelo clima tropical com estação seca no inverno (Aw) de acordo com a classificação de Koppen-Geiger.

As duas localidades no estado do Rio de Janeiro, Marambaia (Figura 8) e Teresópolis (Figura 9) apresentam características contrastantes. Segundo Gonçalves, (2012) o relevo do estado é acentuado em boa parte do território, fazendo com que a altitude seja fator determinante nos valores de temperatura.

O acúmulo de graus-dia no período de verão e inverno no município de São José dos Ausente foi inferior comparado aos outros locais, em todas as temperaturas bases utilizadas (Figura 12). Segundo Villa Nova e Pereira (2006) este comportamento é devido às condições climáticas da região Sul, nas quais predominam o clima subtropical. Além disso, o município de São José dos Ausentes apresenta a maior altitude dos locais estudados neste trabalho. Gonçalves, (2012) afirma que a altitude e latitude são as principais variáveis responsáveis pela variação da temperatura.

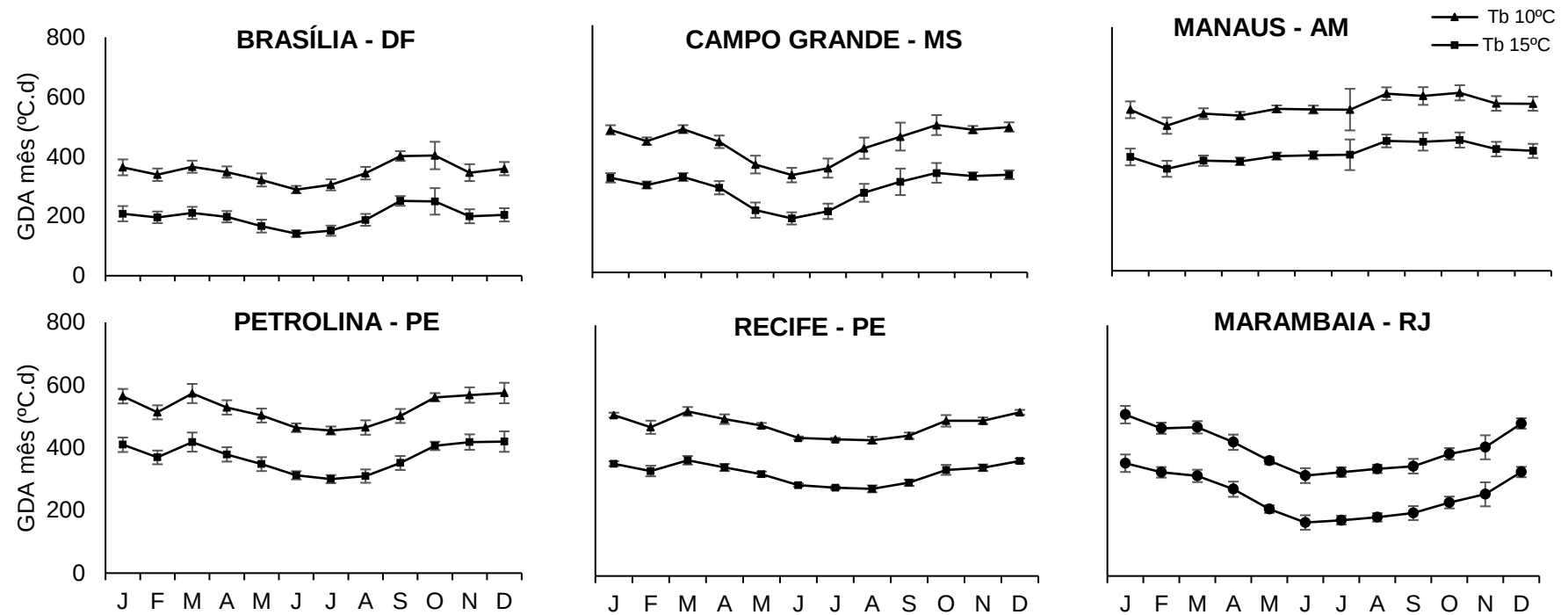


Figura 8 - Média mensal de graus-dia acumulados em °C.dia referente a série histórica de 2007 a 2016, com temperatura base de 10 e 15°C ao longo do ano, nas respectivas cidades brasileiras do Distrito Federal, Campo Grande do estado do Mato Grosso do Sul, Manaus de estado do Amazonas, Petrolina e Recife de Pernambuco, e Rio de Janeiro – Marambaia do estado do Rio de Janeiro.

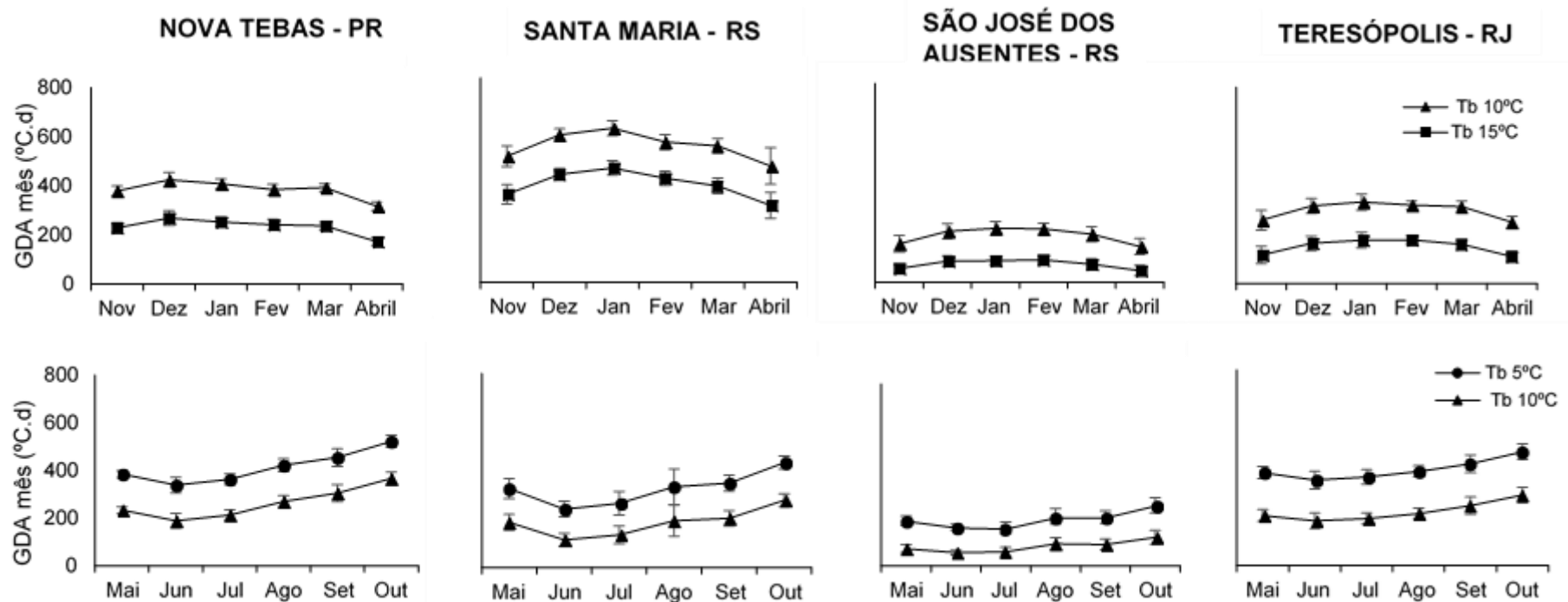


Figura 9 - Média mensal de graus-dia acumulados em °C.dia referente a série histórica de 2007 a 2016, com temperatura base de 5 e 10°C para as épocas de inverno e Tb de 10 e 15°C para épocas de verão, nas respectivas cidades brasileiras de Nova Tebas no estado do Paraná, Santa Maria e São José dos Ausentes no estado do Rio Grande do Sul e Teresópolis no estado do Rio de Janeiro.

Em Portugal, todas as médias anuais de temperatura do ar dos anos analisados permaneceram abaixo de 17°C, sendo que a região de Rebordelo foi a mais baixa (11,7°C), localizada no norte do país. Segundo Miranda et al. (2006) a temperatura média anual de Portugal varia entre os 7°C em terras altas no interior central do país e os 18°C nas áreas costeiras do sul. Sendo que nos meses de agosto chega ao seu máximo e em janeiro chega no mínimo. Em estudo, Gonçalves et al, (2016) afirma que a temperatura média anual varia entre os 7°C em terras altas no interior central de Portugal e os 18°C nas áreas costeiras do Sul.

Para Portugal, o distrito de Faro, que contém a estação de Monchique, apresentou a maior média de precipitação, além de ser a estação analisada com maior altitude do país. Portugal em média chove cerca de 900mm no ano, e segundo Miranda, et al (2006) cerca de 42% da precipitação anual ocorre durante 3 meses da estação de inverno (dezembro, janeiro e fevereiro) sendo que os valores mais baixos de precipitação ocorrem durante o verão (junho, julho e agosto), correspondendo estes a apenas a 6% da precipitação anual.

Nas figuras 10 e 11 estão apresentados o acúmulo de graus-dia das regiões de clima mediterrâneo, referentes as épocas de verão e inverno respectivamente. A região de Monchique, local de maior altitude estudada de Portugal e localizada no sul do país, apresentou o menor acúmulo de graus-dia em ambas as épocas do ano. Apesar disso, a região prevaleceu seguindo o comportamento das outras.

Rebordelo localiza-se na região norte de Portugal e, assim como Monchique, apresentou baixo acúmulo de graus-dia no período de inverno, bem como as outras regiões. Porém, estes locais chegaram a atingir zero acúmulo de unidade térmica durante os meses de inverno (Figura 11). E expondo plantas a temperaturas na faixa de resfriamento (0-12°C) causa efeitos adversos no metabolismo vegetal (ARAÚJO; DEMINICIS, 2009).

Em Portugal, todas as médias anuais de temperatura do ar dos anos analisados permaneceram abaixo de 17°C, sendo que a região de Rebordelo foi a mais baixa (11,7°C), localizada no norte do país. Segundo Miranda et al. (2006) a temperatura média anual de Portugal varia entre os 7°C em terras altas no interior central do país e os 18°C nas áreas costeiras do sul. Sendo que nos meses de agosto chega ao seu máximo e em janeiro chega no mínimo. Em estudo, Gonçalves et al, (2016) afirma que

a temperatura média anual varia entre os 7°C em terras altas no interior central de Portugal e os 18°C nas áreas costeiras do Sul.

Para Portugal, o distrito de Faro, que contém a estação de Monchique, apresentou a maior média de precipitação, além de ser a estação analisada com maior altitude do país. Portugal em média chove cerca de 900mm no ano, e segundo Miranda, et al (2006) cerca de 42% da precipitação anual ocorre durante 3 meses da estação de inverno (dezembro, janeiro e fevereiro) sendo que os valores mais baixos de precipitação ocorrem durante o verão (junho, julho e agosto), correspondendo estes a apenas a 6% da precipitação anual.

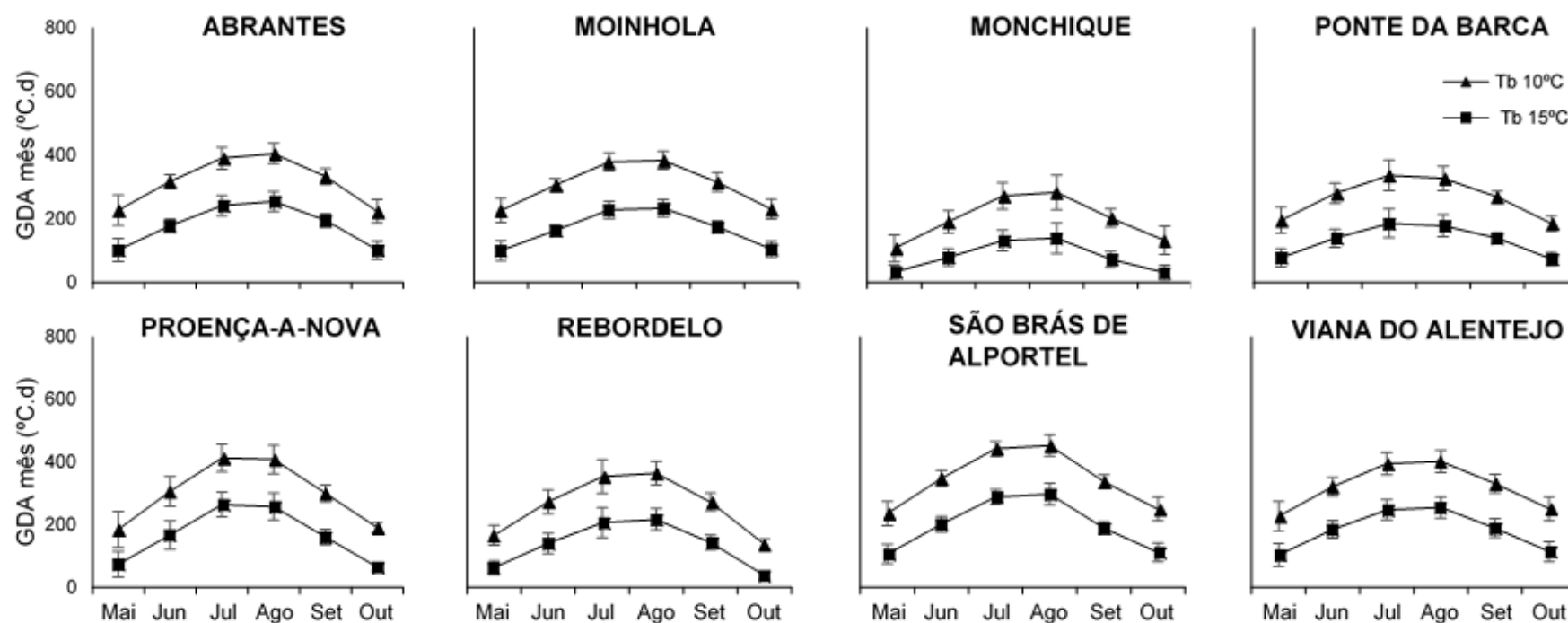


Figura 10 - Média mensal de graus-dia acumulados em °C.dia referente a série histórica de 2007 a 2016, com temperatura base de 5 e 10°C para as épocas de inverno, nas respectivas cidades regiões de Portugal: Abrantes, Moinhola, Monchique, Ponte da Barca, Proença-a-nova, Rebordelo, São Brás de Alportel e Viana do Alentejo.

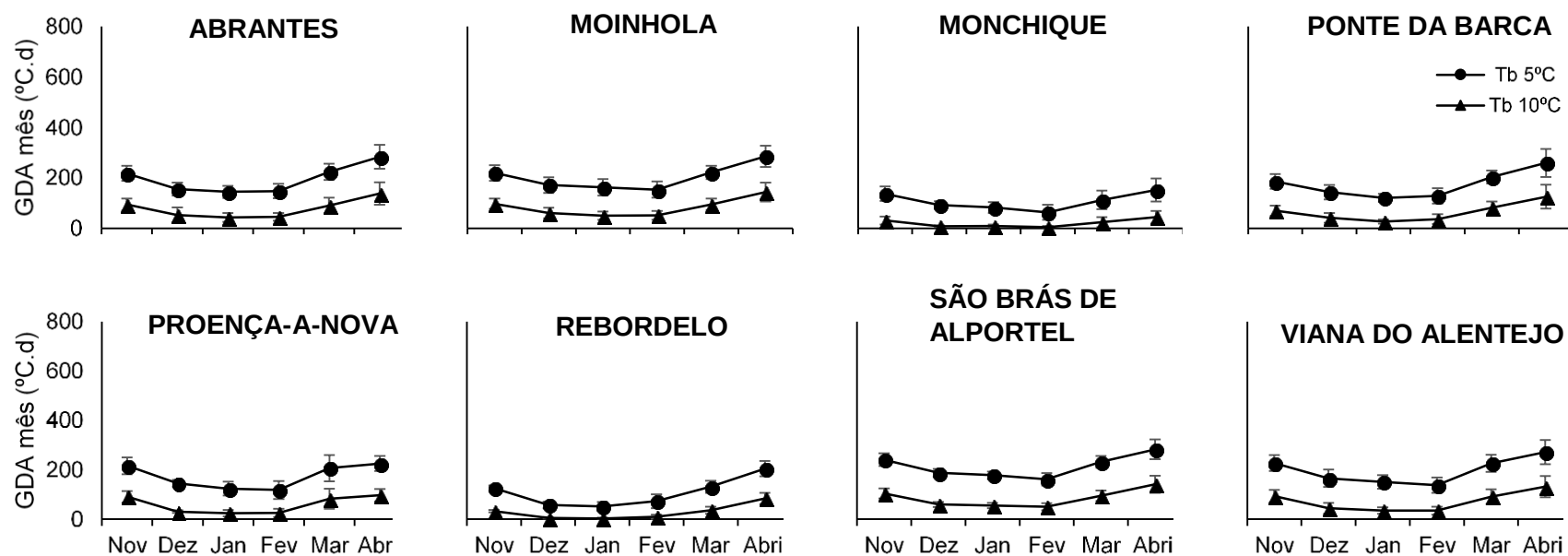


Figura 11 - Média mensal de graus-dia acumulados em °C.dia referente a série histórica de 2007 a 2016, com temperatura base de 10 e 15°C para as épocas de verão, nas respectivas cidades regiões de Portugal: Abrantes, Moinhola, Monchique, Ponte da Barca, Proença-a-nova, Rebordelo, São Brás de Alportel e Viana do Alentejo.

Visto a comparação entre os locais analisados, nota-se que a altitude é um fator importante na caracterização climática de região, bem como caracterizar seu potencial produtivo. A produtividade potencial e o acúmulo de graus-dia são diretamente afetados em virtude de altitudes elevadas no Brasil e Portugal. Segundo Gonçalves et al (2016) a altitude é o fator que mais condiciona o clima das montanhas, visto que a temperatura desce com a altitude, em média, cerca de 0,65°C por cada 100 metros.

Regiões montanhosas, como Monchique e Rebordelo em Portugal são afetados diretamente em função da altitude, chegando a quase valores negativos no acúmulo de graus-dia e baixos valores de produtividade, em especial no período de inverno. Regiões altas brasileiras como Brasília, São José dos Ausentes e Teresópolis também apresentam estas características devido a elevada altitude. Os autores Begon et al, (2006) e Soares e Batista (2004) abordam que a temperatura decresce proporcionalmente à elevação da altitude. Do mesmo modo a pressão atmosférica também se reduz com a altitude. Na realidade, o decréscimo da temperatura com a altitude é o elemento mais importante que modela o clima das montanhas.

Em municípios próximos, como Teresópolis e Marambaia situadas no estado do Rio de Janeiro, a diferença de produtividade e graus-dia foi marcante, devido a altitude. Segundo Renato et al, (2013), é muito complexo estimar a produtividade com base em modelos agrometeorológicos, principalmente quando se trabalha com estimativas em macroescala para se obter números que represente uma região. Assim tornando-se dependente de vários fatores, sendo um deles altitude

Nesse contexto ao se comparar os países, nota-se que o Brasil apresenta um extenso território de climas variados. Clima equatorial, tropical e subtropical, e grande parte de seu território acima do Trópico de Capricórnio (Zona Tropical) e o restante na zona temperada. Com isso, a produtividade para plantas C3 de verão obtém certa vantagem no Brasil, comparada a Portugal.

De acordo com Koppen (1936) o Brasil apresenta 12 classificações de tipos de clima disposto em seu amplo território nacional, enquanto Portugal apresenta apenas três. Em termos comparativos, como Brasil apresenta diversos tipos de climas em sua superfície territorial, não apresentou um padrão na produtividade e acúmulo de graus-dia como em Portugal. Este comportamento da produtividade pode ser explicado devido a menor dimensão do país, pouca variação climática e com estações bem definidas.

Diferente do Brasil, Portugal possui menores dimensões do território, sendo a maior parte de clima temperado de verões secos, segundo Koppen (1936), estabelecendo vantagem para plantas C3 de inverno no país. Em grande parte da região Norte de Portugal apresenta verões secos e suaves, e verões quentes e secos nas regiões Sul montanhosas, bem como no interior do Vale do Douro (IPMA, 2018; KOPPEN, 1936).

Em termos comparativos, plantas C3 de inverno são mais adequadas para as regiões de Portugal e plantas C3 de verão para regiões do Brasil. Para plantas C3 de inverno não foi possível calcular a produtividade e o acúmulo de graus-dia em algumas regiões brasileiras, devido à falta de condições de crescimento para este grupo de plantas.

Com essa diferença de clima entre os países, explica menores valores de produtividade em Portugal, bem como a localização do país em maiores latitudes no Norte, no qual diminui a incidência de radiação solar extraterrestre, acarretando em baixas temperaturas comparadas às regiões tropicais do Brasil.

5. CONCLUSÕES

Através da utilização de modelos agrometeorológicos, foi possível caracterizar a sazonalidade da produtividade potencial e o acúmulo de graus-dia das regiões analisadas.

O município de São José dos Ausentes obteve menor produtividade potencial e acúmulo de graus-dia das regiões brasileiras analisadas. Este município apresenta maior altitude entre as cidades analisadas.

Os locais do Brasil apresentaram maior sazonalidade da produtividade e acúmulo de graus-dia, comparadas a Portugal, que apresentou um comportamento padrão em suas regiões.

Para Portugal, independentemente da localização, quanto maior a altitude, menor foi a produtividade potencial e acúmulo de graus-dia da região.

A influência da altitude foi o principal fator de divergência das regiões analisadas em relação a produtividade e o acúmulo de graus-dia, mesmo em cidades situadas em regiões próximas.

6. REFERÊNCIAS

AGENCIA ESTADUAL DE METEOROLOGIA - AEMET; INSTITUTO DE METEOROLOGIA - IM, (2011). Atlas Climático Ibérico: Temperatura do Ar e Precipitação (1971-2000)/Iberian Climate Atlas: Air Temperature and Precipitation (1971/2000).

ALBERTO, C. M. et al. Água no solo e rendimento do trigo, soja e milho associados ao El Niño Oscilação Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1067-1075, 2006.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S; RAES, D.; SMITH, M. FAO Irrigation and Drainage Paper no. 56: Crop Evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop Water Requirements), FAO, Water Resources, Crop evapotranspiration, 1998.

ARAÚJO, S. A. C.; DEMINICIS, B. B. Fotoinibição da fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 7, n. 4, 2009.

ASSIS, J. P. de; NETO, D. D.; REICHARDT, K.; MANFRON, P. A.; MARTIN, T. N.; BONNECARRÈRE, R. A. G. Dados climáticos simulados e produtividade potencial do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 5, p. 731-737, maio 2006.

BARBANO, M. T. et al. Temperatura-base e acúmulo térmico no subperíodo semeadura-florescimento masculino em cultivares de milho no Estado de São Paulo1 Base. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 261-268, 2001.

BEGON, M.; COLIN, R.; TOWNSEND, J. L. H. **Ecology: from individuals to ecosystems**. 4th ed. Oxford: Blackwell Publishing, 2006.

BLAIN, G. C.; BRUNINI, O. Characterization of the actual evapotranspiration series, in a ten-day period, in the state of São Paulo-Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 1, p. 75-82, 2007.

BRAIDO, L. M. H.; TOMMASELLI, J. T. G. Caracterização climática e dos anos extremos (chuvoso e seco): seus efeitos na produção de cana-de-açúcar, milho e soja para a região do Pontal do Paranapanema-SP. **Revista Formação**, v. 1, p. 13-34, 2010.

BRUNINI, O. Elementos meteorológicos e comportamento vegetal. Campinas: IAC, 1998. 46 p.

CARDOSO, C. O.; FARIA, R. T.; FOLEGATTI, M. V. Simulação do rendimento e riscos climáticos para o milho safrinha em Londrina-PR, utilizando o modelo CERES-Maize. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 291-300, 2004.

CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Classificação climática de Köppen-Geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v.8, n.16, jan/mar, p. 40-50, 2014.

- CARON, B.O. et al. - Influência da temperatura do ar e da radiação solar no acúmulo de fitomassa da alface. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 275-283, 2003.
- CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. **Tempo e clima no Brasil**. Oficinas de textos. São Paulo, 2009.
- CROSS, H. Z.; ZUBER, M.S. Prediction of flowering dates in maize based on different methods of estimating thermal units. **Agron. J.** v. 64, p. 351-355, 1972.
- DE LIMA, I. M.; ESPÍRITO SANTO, F.; DE LIMA, L. J. Recent changes in daily precipitation and surface air temperature extremes in mainland Portugal, in the period 1941–2007. **Atmospheric Research**, p. 195-209, 2013.
- DINIZ, J. A. F. Geografia da agricultura. São Paulo, Ed. Difel, 1984, 287 p.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (FAO. Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 33). Tradução de H. R. Gheyi, A. A. de Souza, F. A. V. Damasco, J. F. de Medeiros.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 34. Análise da Distribuição da Frequência Mensal de Precipitação para a Sub-região da Nheconlândia, Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brasil. Corumbá - MS, 2002.
- EVANS, L. T.; FISCHER, R. A. Yield potential: its definition, measurement, and significance. **Crop Science**, Madison, v. 39, p. 1.544-1.551, 1999.
- EVERINGHAM, Y. L.; SMYTH, C. W.; INMAN-BAMBER, N. G. Ensemble data mining approaches to forecast regional sugarcane crop production. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.149, p.689-696, 2009.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.
- FENILI, C. L. et al. Comparação de Diferentes Métodos de Somatória de Unidades de Frio na Região de Caçador/SC, Brasil. **Revista Da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa**. Bagê-RS, v. 8, n. 1, 2016.
- FIGUEREDO JÚNIOR, L. G. M. **Modelo para estimação de produtividade de grãos de milho no estado de São Paulo**. 2004. 67 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- FIRINCIOGLU, H. K. et al. Relationships between seed yield and yield components in common vetch (*Vicia sativa* ssp. *sativa*) populations sown in spring and autumn in central Turkey. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 116, n. 1-2, p. 30-37, 2010.
- FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 28, n. 2, p. 101-126, 1998.

FISCHER, G.; VELTHUIZEN, H. V.; SHAH, M.; NACHTERGAELE, F. O. **Global agro-ecological assessment for agriculture in the 21st century: Methodology and results**. Laxenburg: IIASA, 2002. 155p.

FONTANA, D. C.; OLIVEIRA, D. Relação entre radiação solar global e insolação para o estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 87-91, 1996.

GARDNER, F.P; PEARCE, R.B.; MITHCELL, R.L. **Physiology of crop plants**. Ames: Iowa State University, 1985. 327p.

GILBERT, R. A.; SHINE JÚNIOR, J. M.; MILLER, J. D.; RAINBOLT, C. R. The effect genotype, environmental and time of harvest on sugarcane yields in Florida, USA. **Field Crops Research**, v. 95, p. 156-170, 2006.

GONÇALVES, A. O. Caracterização climática. In: RACHEL, B.; PRADO, R.B.; FIDALGO, E.C. & BONNET, A., eds. Monitoramento da revegetação do COMPERJ: Etapa inicial. Brasília, Embrapa, p. 65-82, 2012.

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

GOUVÊA, J. R. F.; SENTELHAS, P. C.; GAZZOLA, S. T.; SANTOS, M. C. Climate changes and technological advances: impacts on sugarcane productivity in tropical Southern Brazil. *Scientia Agricola*, v. 66, p. 593-605, 2009.

INSTITUTO PORTUGUÊS DO MAR E DA ATMOSFERA. Normais Climatológicas. IPMA. 2018. Disponível em: < <https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/> > Acesso em: 20 de junho de 2018.

KOPPEN, W., 1936: Das geographische System der Klimate. – KOPPEN, W., R. GEIGER (Eds.): Handbuch der Klimatologie. – Gebrüder Borntra ger, Berlin, v. 1, p. 1–44, part C.

KUMAR, A.; SHARMA, P.; AMBRAMMAL, S.K. Climatic effects on food grain productivity in India: a crop wise analysis. **Journal of Studies in Dynamics and Change**, Uttarakhand v.1, p.38-48, 2014.

LIMA, E. P.; SILVA, E. L. da. Temperatura base, coeficientes de cultura e graus-dia para cafeeiro arábica em fase de implantação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 3, p. 266-273, 2008.

LINDSEY, A. A.; NEWMAN, J. E. Use of official weather data in spring time - temperature analysis of a n Indiana phenological record. **Ecology** n. 37. v. 4, p. 812-823, 1956.

LOPES, J. et al. Exigências térmicas, duração e precocidade de estados fenológicos de castas da coleção ampelográfica nacional. **Ciência e Técnica Vitivinícola**, Dois Portos, v. 23, n. 1, p. 61-71, 2008.

LUCCHESI, A. A. Fatores da produção vegetal. In: CASTRO, P.R. Ecofisiologia da produção agrícola. Piracicaba: **Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo**, p. 1-11, 1987.

LUZ, P. B.; FERREIRA, M. E. Estratégias de uso da água para as hortas urbanas no contexto de regiões climáticas em Portugal. **Actas Portuguesas de Horticultura**, n. 27, p. 96, 2017.

MARENGO, J. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. **Parcerias estratégicas**, v. 13, n. 27, p. 149-176, 2010.

MARQUÍNEZ, J.; LASTRA, J.; GARCIA, P. Estimation models for precipitation in mountainous regions: the use of GIS and multivariate analysis. **Journal of Hydrology**, v. 270, n. 1, p. 1-11, 2003.

MCMMASTER, G. S.; SMIKA, D.E. Estimation and evaluation of winter wheat phenology in the central Great Plains. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 43, p. 1-18, 1988.

MCMMASTER, G. S.; WILHELM, W. W. Growing degree-days: one equation, two interpretations. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 87, p. 291-300, 1997.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. Oficina de textos, 2017.

MIRANDA, P. M. et al. (2002). 20th Century Portuguese Climate and Climate Scenarios. Lisboa: Gradiva Publicações, Lda.

MIRANDA P. M.; VALENTE M.A.; TOMÉ A.R.; TRIGO R.; COELHO M.F.E.S.; AGUIAR A.; AZEVEDO E.B. (2006). "O clima de Portugal nos séculos XX e XXI. In Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactes e Medidas de Adaptação", p. 45–113. Eds F.D. Santos and P. Miranda. Lisboa: Gradiva.

MONTEITH, J. L.; ELSTON, J. Climatic constraints on crop production, In: Fowden, L., Mansfield, T., Stoddart, J. (eds.). **Plant adaptation to environmental stress**. London, Chapman & Hall, p. 3-18, 1996.

OLIVEIRA, A. S. et al. Determinação do tempo térmico para o desenvolvimento de mudas de eucalipto na fase de enraizamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 11, Campina Grande, nov, 2012a.

OLIVEIRA, R. A.; SANTOS, R. S.; RIBEIRO, A.; ZOLNIER, S.; BARBOSA, M. H. P. Estimativa da produtividade da cana-de-açúcar para as principais regiões produtoras de Minas Gerais usando-se o método ZAE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 549-557, 2012b.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres 1981. 440p.

ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM): **Drought and Agriculture**. WMO Tech. Note 138, Publ. WMO-392, Geneva, Switzerland, 127p. 1975.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

PEZZOPANE, J. R. M.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; CAMARGO, M. B. P.; FAZUOLI, L. C. Exigência térmica do café arábica cv. Mundo Novo no subperíodo florescimento-colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, p.1781-1786, 2008.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; DA ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, 2010.

RENATO, N. S.; SILVA, J. B. L.; SEDIYAMA, G. C.; PEREIRA, E. G. Influência dos métodos para cálculo de graus-dia em condições de aumento de temperatura para as culturas de milho e feijão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.4, p. 382 - 388, 2013.

ROBERTO, S. R.; SATO, A. J.; BRENNER, E. A.; SANTOS, C. E.; GENTA, W. Fenologia e soma térmica (graus-dia) para a videira 'Isabel' (*Vitis labrusca*) cultivada no Noroeste do Paraná. Semina: **Ciências Agrárias**, v. 25, p. 273-280, 2004.

RODRIGUES, P. M. S. **Uma abordagem geo-data mining às regiões climáticas da Península Ibérica, 1951-2010**. 2016. 53 f. Dissertação (Mestre em Gestão de Informação, Especialização em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica) - NOVA Information Management School Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação Universidade Nova de Lisboa, 2016.

ROSIER, J. P. Novas regiões: vinhos de altitude no Sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE VITICULTURA E ENOLOGIA, 10., 2003, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2003. p.137-140.

SÁ JUNIOR, A.; CARVALHO, L. G.; SILVA, F. F. ALVES M. C. Application of the köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. **Theor Appl Climatol**. p. 108:1-7, 2012.

SILVA, L. L.; COSTA, R. F.; CAMPOS, J. H. B.; DANTAS, R. T. Influência das precipitações na produtividade agrícola no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 454-461, 2009.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Meteorologia e climatologia florestal**. Curitiba, 2004.

SOUZA, A. P.; SILVA, A. C.; LEONEL, S.; ESCOBEDO, J. F. Temperaturas basais e soma térmica para a figueira podada em diferentes épocas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.31, p.314-322, 2009.

STENZEL, N. M. C.; NEVES, C. S. V. J.; MARUR, C. J.; SCHOLZ, M. B. S.; GOMES, J. C. Maturation curves and degree-days accumulation for fruits of 'folha murcha' orange trees. **Scientia Agricola**, v.63, p.219-225, 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TEJERA, N. A.; RODÉS, R.; ORTEGA, E.; CAMPOS, R.; LLUCH, C. Comparative analysis of physiological characteristics and yield components in sugarcane cultivars. **Field Crops Research**. v. 102, p. 64-72, 2007.

TUBIELLO, F. N.; FISCHER, G. Reducing climate change impacts on agriculture: Global and regional effects of mitigation, 2000-2080. **Technological Forecasting & Social Change**, v. 74, n. 7 p.1030-1056, 2007.

VILLA NOVA, N.A.; PEREIRA, A. B. Ajuste do método de Priestley-Taylor às condições climáticas locais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal-SP, v. 26, n. 2, p. 395-405. 2006.

WAGNER, M.V.; JADOSKI, S.O.; LIMA, A.S.; MAGGI, M.F.; POTT, C.A.; SUCHORONCZEK, A. Avaliação do ciclo fenológico da cultura do milho em função da soma térmica em Guarapuava, Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 4, n. 1, p. 135-49, 2011.

WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; JÚNIOR, C. R.; ALMEIDA, I. R. 2011. **Atlas climático da Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. Embrapa Clima Temperado/Embrapa Florestas, Pelotas, Colombo. 336p.

APÊNDICE A – Radiação Solar no Topo da Atmosfera mensal.

Tabela 3 - Média mensal da radiação solar no topo da atmosfera em MJ.m⁻².mês⁻¹ em 10 regiões do Brasil (BR) e 8 de Portugal (PT).

Local	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
BR Brasília	49,5	48,1	44,7	39,4	34,4	31,9	33,2	37,5	42,8	46,9	49,0	49,7
BR Campo Grande	42,4	40,5	36,7	31,3	26,4	24,3	25,5	29,6	34,8	39,2	41,8	42,8
BR Manaus	28,9	29,5	29,3	27,9	26,0	25,0	25,4	27,1	28,7	29,2	28,9	28,6
BR Nova Tebas	42,5	41,3	39,3	37,2	29,0	29,6	25,8	31,9	37,1	35,9	44,4	38,8
BR Petrolina	36,8	36,7	35,3	32,3	29,2	27,6	28,4	31,1	34,1	36,1	36,6	36,7
BR Recife	29,4	29,4	28,5	26,3	24,0	22,7	23,3	25,4	27,7	29,0	29,3	29,3
BR Rio de Janeiro	31,7	30,1	27,0	22,9	19,2	17,4	18,3	21,5	25,5	29,1	31,3	32,1
BR Santa Maria	34,4	31,7	27,1	21,7	17,2	15,1	16,1	20,0	25,3	30,3	33,7	35,1
BR São José dos Ausentes	58,4	54,0	46,6	37,4	29,9	26,4	28,2	34,7	43,5	51,7	57,3	59,5
BR Teresópolis	52,5	49,7	44,5	37,6	31,3	28,5	29,9	35,2	42,2	48,1	51,7	53,1
PT Abrantes	12,3	16,2	21,8	27,4	31,5	33,3	32,7	29,6	24,6	18,9	13,9	11,5
PT Moinhola	12,5	16,4	21,8	27,3	30,8	32,1	31,2	28,1	23,0	17,5	13,1	11,2
PT Monchique	19,5	25,3	33,2	40,8	45,8	47,7	46,5	42,0	35,0	26,9	20,4	17,6
PT Ponte da Barca	11,0	15,1	20,8	26,6	30,6	32,2	31,2	27,6	22,0	16,2	11,6	9,7
PT Proença a Nova	12,3	16,2	21,8	27,4	31,5	33,3	32,7	29,6	24,6	18,9	13,9	11,5
PT Rebordelo	12,5	16,4	21,8	27,3	30,8	32,1	31,2	28,1	23,0	17,5	13,1	11,2
PT São Brás de Alportel	19,5	25,3	33,2	40,8	45,8	47,7	46,5	42,0	35,0	26,9	20,4	17,6
PT Viana do Alentejo	11,0	15,1	20,8	26,6	30,6	32,2	31,2	27,6	22,0	16,2	11,6	9,7

APÊNDICE B – Temperatura média (°C) mensal.

Tabela 4 - Temperatura média (°C) mensal em 10 regiões do Brasil (BR) e 8 de Portugal (PT).

Local	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
BR Brasília	21,69	21,74	21,70	21,60	20,30	20,10	20,48	20,52	23,32	23,85	21,97	21,57
BR Campo Grande	24,94	24,98	24,94	24,08	20,96	20,78	20,75	22,88	24,64	23,07	25,20	25,23
BR Manaus	27,10	26,82	26,71	24,28	27,14	27,66	27,85	28,79	29,08	26,07	28,32	27,65
BR Nova Tebas	22,63	23,53	24,17	17,57	17,39	16,23	16,67	18,38	20,13	21,53	22,63	21,05
BR Petrolina	28,21	25,23	28,48	27,44	26,22	21,56	21,69	24,98	26,71	28,09	29,07	28,48
BR Recife	26,64	26,75	23,87	26,36	25,47	24,54	23,93	23,97	24,91	25,84	26,56	26,94
BR Rio de Janeiro	23,44	26,47	25,32	23,94	19,73	20,69	20,70	21,03	21,68	22,44	23,45	25,72
BR Santa Maria	24,43	24,36	22,19	19,41	15,96	11,88	13,24	15,67	16,70	19,29	21,66	23,61
BR São José dos Ausentes	15,07	17,69	16,18	12,87	10,00	8,48	9,08	10,12	11,63	12,00	15,01	16,55
BR Teresópolis	20,71	19,36	20,10	18,35	14,29	15,17	15,20	15,84	17,08	18,12	18,60	20,25
PT Abrantes	9,03	9,85	12,17	14,45	17,31	20,62	20,35	23,07	21,24	17,33	11,98	8,48
PT Moinhola	9,78	9,88	12,01	14,55	17,11	20,30	20,20	22,48	18,40	16,99	11,98	9,75
PT Monchique	6,51	7,21	8,33	10,01	12,91	16,30	18,77	19,15	16,72	14,24	9,49	7,78
PT Ponte da Barca	8,44	9,13	10,18	12,22	16,01	19,18	20,94	21,00	18,38	15,16	10,70	9,00
PT Proença a Nova	8,61	8,87	10,97	12,54	15,15	16,17	23,32	23,17	20,10	12,05	9,54	6,54
PT Rebordelo	4,43	5,66	8,39	9,65	12,21	15,85	21,42	21,38	19,02	10,55	7,39	4,39
PT São Brás de Alportel	9,42	9,46	12,46	12,83	15,59	18,86	21,25	21,56	18,56	18,07	13,02	11,32
PT Viana do Alentejo	9,71	9,70	12,48	12,42	16,91	20,61	20,45	22,99	21,05	18,11	12,55	10,28

APÊNDICE C – Média das temperaturas (°C) máximas mensais.

Tabela 5 - Média das temperaturas (°C) máximas mensais em 10 regiões do Brasil (BR) e 8 de Portugal (PT).

Local	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
BR Brasília	26,25	26,65	26,42	26,45	25,63	25,68	26,32	26,37	28,89	29,65	27,21	26,05
BR Campo Grande	30,03	30,28	30,68	29,75	26,76	26,69	27,06	29,77	31,06	28,32	30,70	30,56
BR Manaus	30,94	30,67	30,48	27,64	30,87	31,57	31,88	33,20	33,67	30,15	32,53	31,67
BR Nova Tebas	26,56	28,97	29,17	22,75	22,74	21,69	22,36	24,47	26,24	27,27	28,17	25,82
BR Petrolina	33,24	29,78	33,55	32,23	30,81	25,72	25,97	30,39	32,53	33,67	34,50	33,59
BR Recife	30,27	30,35	27,39	30,38	29,32	28,31	27,40	27,70	28,31	29,31	30,26	30,52
BR Rio de Janeiro	27,40	31,61	29,61	28,04	23,35	24,38	25,14	25,95	26,13	26,77	27,50	30,34
BR Santa Maria	29,98	29,86	27,82	25,42	21,33	16,40	18,28	21,07	21,83	24,47	27,22	29,20
BR São José dos Ausentes	19,29	22,44	20,87	17,22	14,20	12,64	13,56	14,71	16,71	16,42	20,26	21,59
BR Teresópolis	24,95	24,04	24,51	22,69	18,15	19,61	19,84	20,97	21,93	22,55	22,45	24,52
PT Abrantes	13,80	15,14	17,84	19,99	23,41	27,61	27,54	31,42	29,05	23,81	17,18	12,81
PT Moinhola	14,84	15,49	18,32	20,39	23,58	27,32	27,48	30,83	25,36	23,73	18,01	15,52
PT Monchique	8,38	9,48	10,96	12,63	15,78	19,46	22,51	22,99	20,00	17,00	11,73	9,85
PT Ponte da Barca	13,14	14,15	15,50	17,28	21,59	24,89	27,23	27,49	25,15	21,66	15,80	14,73
PT Proença a Nova	11,63	12,13	15,12	16,99	19,60	20,19	29,46	29,23	25,24	14,98	12,29	8,57
PT Rebordelo	6,87	8,75	13,26	13,88	16,78	21,16	28,64	28,74	25,92	14,35	10,33	6,94
PT São Brás de Alportel	12,51	12,87	16,82	16,88	20,07	23,60	26,75	26,88	22,97	22,43	16,85	14,53
PT Viana do Alentejo	12,78	13,25	17,00	16,55	22,46	27,26	27,48	30,75	27,29	22,75	16,18	13,50

APÊNDICE D – Média das temperaturas (°C) mínimas mensais.

Tabela 6 - Temperatura mínima média mensal em °C em 10 regiões do Brasil (BR) e 8 de Portugal (PT).

Local	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
BR Brasília	18,13	18,05	18,19	17,59	15,23	14,63	14,76	14,96	17,47	18,73	18,32	17,99
BR Campo Grande	21,26	21,39	20,68	19,65	16,39	16,09	15,70	17,07	19,11	18,66	20,79	21,25
BR Manaus	24,56	24,25	24,22	21,92	24,46	24,44	24,37	24,97	25,28	22,74	25,02	24,68
BR Nova Tebas	16,53	19,69	18,21	13,60	13,14	11,97	12,01	13,15	14,74	16,61	17,83	17,21
BR Petrolina	23,48	21,05	23,82	23,16	22,28	18,04	17,76	20,13	21,19	22,64	23,67	23,72
BR Recife	23,02	23,25	20,61	22,90	22,44	21,60	21,17	20,79	21,73	22,57	23,02	23,33
BR Rio de Janeiro	20,49	22,74	22,25	20,67	16,72	17,54	17,21	17,31	18,52	19,30	20,31	22,37
BR Santa Maria	19,66	19,92	17,69	14,59	11,64	8,04	8,88	10,81	12,14	14,68	16,40	18,53
BR São José dos Ausentes	12,26	14,53	12,96	9,72	6,73	5,17	5,42	6,42	7,59	8,56	10,97	12,82
BR Teresópolis	17,61	15,93	17,00	15,16	11,36	11,85	11,67	12,05	13,55	14,89	15,74	17,19
PT Abrantes	5,12	5,19	6,97	9,41	11,66	14,38	14,45	16,26	14,64	11,78	7,67	5,04
PT Moinhola	5,34	4,66	5,99	8,81	10,60	13,31	13,52	14,82	12,27	11,21	6,77	4,95
PT Monchique	4,79	5,23	5,98	7,51	10,02	13,09	15,02	15,58	13,98	11,91	7,48	5,85
PT Ponte da Barca	4,74	4,84	5,48	7,70	10,71	13,54	14,76	14,91	12,75	10,06	6,61	4,77
PT Proença a Nova	6,24	6,27	7,59	8,71	11,11	12,29	17,88	17,83	15,85	9,69	7,47	4,99
PT Rebordelo	2,35	3,00	4,19	5,82	7,82	10,77	14,47	14,58	12,72	7,17	4,80	2,18
PT São Brás de Alportel	7,07	6,80	8,95	9,39	11,55	14,28	16,11	16,73	14,93	14,75	10,09	8,83
PT Viana do Alentejo	7,14	6,73	8,65	8,87	12,00	14,81	14,39	16,62	16,27	14,46	9,59	7,63