

LUCIANO RONCETTI PIMENTA

**PRODUTIVIDADE POTENCIAL DO *Eucalyptus saligna* PARA A REGIÃO
SUL DO BRASIL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS- BRASIL
2016

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

P644p
2016 Pimenta, Luciano Roncetti, 1985-
Produtividade potencial do *Eucalyptus saligna* para a região
Sul do Brasil / Luciano Roncetti Pimenta. – Viçosa, MG, 2016.
x, 56f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Aristides Ribeiro.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.49-56.

1. Climatologia agrícola - Brasil, Sul. 2. *Eucalyptus saligna*. 3. *Eucalyptus saligna* - Produtividade. 4. Planejamento agrícola. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

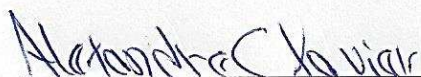
CDD 22 ed. 630.2515


LUCIANO RONCETTI PIMENTA

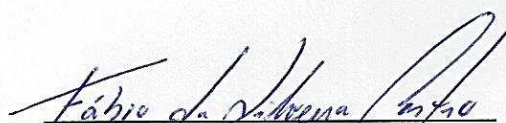
**PRODUTIVIDADE POTENCIAL DO *Eucalyptus saligna* PARA A REGIÃO
SUL DO BRASIL**

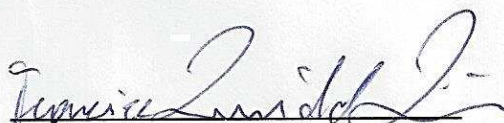
Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 28 de abril de 2016


Alexandre Cândido Xavier
(Coorientador)


André Quintão de Almeida


Fábio da Silveira Castro


Francisca Zenaide de Lima



Aristides Ribeiro
(Orientador)

Dedico:

Aos meus pais José Pimenta e Ladir Roncetti.

Aos meus irmãos, Lourdes, Lina, Loiza, Dete e Beto,

À Tereza e Deoclério, à Angélica e Andréia.

E em especial, à minha amada Valéria.

**Pelo constante incentivo
recebido e pelo amor eterno que
tenho por todos!**

Muito obrigado!

“A certeza do fracasso é não tentar obter o sucesso!”

“A fé em Deus nos faz crer no incrível, ver o invisível e realizar o impossível.”

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a **DEUS**, causa primária de todas as coisas, por estar sempre comigo e nunca me deixar só. Agradeço pela tua infinita fidelidade e por permitir mais uma conquista em minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Aristides Ribeiro, pela orientação e aprendizado, pela amizade e confiança em mim depositada.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Alexandre Cândido Xavier, pelas contribuições para o enriquecimento deste trabalho, por dividir seus conhecimentos e pela amizade.

Ao programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade concedida.

À minha amada, Valéria Hollunder Klippel, pelo amor, companheirismo, paciência e compreensão nos momentos difíceis. Obrigado por estar sempre ao meu lado e nunca desistir de mim.

Aos meus pais, José Rodrigues Pimenta e Ladir Roncete Pimenta, que me ensinaram a viver com dignidade, que se doaram inteiros e renunciaram aos seus sonhos para que os meus fossem realizados, agradeço pelo amor, carinho e dedicação.

Aos meus irmãos, Lourdes, Lina, Loiza, Dete e Beto, pelo grande apoio e incentivo em todos os aspectos.

Aos meus segundos pais, Deoclério Klippel e Tereza Hollunder e às minhas irmãs do coração, Angélica Hollunder Klippel e Andréia Hollunder Klippel, por fazerem parte de toda essa minha maratona de vida e sempre estarem presentes, me incentivando e apoiando de toda forma possível.

Aos demais familiares, pelo incentivo.

Agradeço a todos os mestres, pelos ensinamentos ao longo de minha formação e aqueles que direto ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho e minha formação acadêmica.

A todos os meus amigos e amigas, mesmo que aqui não estejam citados, por me incentivarem. Muito obrigado pelo carinho, atenção, momentos de distração e por acreditarem em mim.

BIOGRAFIA

LUCIANO RONCETTI PIMENTA, filho de Ladir Roncetti Pimenta e José Rodrigues Pimenta, natural de Afonso Cláudio, Espírito Santo, nasceu no dia 22 de novembro de 1985. No período de 2007 a 2008 foi bolsista de iniciação científica pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Em fevereiro de 2010, graduou-se em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal do Espírito Santo, ES, onde também obteve o título de mestre em Produção Vegetal, em agosto de 2012. Em seguida, deu continuidade aos estudos e pesquisas no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, MG.

SUMÁRIO

RESUMO	VII
ABSTRACT	IX
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. <i>Descrição do modelo 3-PG</i>	5
2. MATERIAL E MÉTODOS	8
2.1. <i>Caracterização da área de estudo</i>	8
2.2. <i>Zoneamento Agroclimático do Eucalyptus saligna para o Brasil</i>	9
2.3. <i>Regiões climaticamente homogêneas para a região Sul do Brasil</i> .	11
2.4. <i>Estimativa da produtividade potencial</i>	14
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
3.1. <i>Zoneamento Agroclimático do Eucalyptus saligna para o Brasil</i>	17
3.2. <i>Regiões climaticamente homogêneas e produtividade potencial do Eucalyptus saligna para a região Sul do Brasil</i>	34
4. CONCLUSÃO	48
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

RESUMO

PIMENTA, Luciano Roncetti, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, abril de 2016. **Produtividade potencial do *Eucalyptus saligna* para a Região Sul do Brasil**. Orientador: Aristides Ribeiro. Coorientador: Alexandre Cândido Xavier.

O setor de florestas plantadas é um dos propulsores do desenvolvimento econômico do Brasil. O gênero *Eucalyptus* é um dos mais adotados nos programas de reflorestamento, se adaptando bem as condições edafoclimáticas brasileiras. Estudar o clima para fazer um bom planejamento agrícola é essencial, pois as variáveis climáticas são fatores imutáveis na produção agrícola. Assim, os modelos que tem como variáveis de entrada dados climáticos, são cada vez mais utilizados no planejamento das atividades florestais. Este estudo teve como objetivo identificar as regiões climaticamente homogêneas para a região Sul do Brasil, além de estimar a produtividade potencial do *Eucalyptus saligna* para a mesma região. As variáveis utilizadas para realizar a classificação climática foram: precipitação total anual média, temperatura máxima do ar média anual, temperatura mínima do ar média anual, umidade relativa do ar média anual e altitude. Os dados climáticos se encontravam em uma resolução espacial de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ de latitude e longitude de uma série histórica de 1980 a 2013. Para os dados de altitude, utilizou-se um modelo digital de elevação, obtido através de dados de radar SRTM. Para gerar o mapa de grupos climáticos, foi escolhido o método de Análise de Agrupamento considerando os K vizinhos mais próximos. Para estimar a produtividade potencial dos plantios de *Eucalyptus saligna* para a Região Sul do Brasil foi utilizado o modelo 3-PG, parametrizado, calibrado e validado por Klippel (2015), considerando um ciclo produtivo de oito anos de idade. Por meio da estatística de evolução de grupos com valores de critérios de Davies-Bouldin foram definidos que o número ideal de grupos climáticos são 9, onde foi gerado um mapa temático com as 9 regiões climaticamente homogêneas para a região Sul do Brasil. Os maiores valores de precipitação anual são observados nos grupos 5 e 8 e no grupo 2 observa-se as maiores médias de temperatura do ar. As estimativas de volume, incremento médio anual, diâmetro a altura do peito e altura pelo modelo 3-PG se comportam de forma semelhante, com maiores

produtividades no litoral dos Estados do Paraná e Santa Catarina e na porção Centro-Oeste da Região Sul. De maneira geral, essas são as áreas com maior precipitação. Também são regiões em que não se observa temperaturas do ar máximas, como a região Norte do Estado do Paraná, ou mínimas, como nas regiões com altitudes elevadas.

ABSTRACT

PIMENTA, Luciano Roncetti, D.Sc., Federal University of Viçosa, April 2016. **Potential productivity of *Eucalyptus saligna* for the Southern Region of Brazil.** Advisor: Aristides Ribeiro. Co-advisor: Alexandre Cândido Xavier.

The planted forest sector is one of the drivers of economic development in Brazil. The Eucalyptus is one of the most adopted in reforestation programs, adapting well to Brazilian soil and climate conditions. Studying the climate for doing a good agricultural planning is essential because climate variables are immutable factors in agricultural production. Thus, the models whose climate data input variables, are increasingly used in the planning of forestry activities. This study aimed to identify the climatically homogeneous regions to the south of Brazil, and estimate the potential productivity of *Eucalyptus saligna* for the same region. The variables used to achieve climate classification were: total annual average rainfall, maximum temperature average annual air temperature of the average annual air relative humidity annual average air and altitude. Climatic data were in a spatial resolution of $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ latitude and longitude of a historical series from 1980 to 2013. For the data of altitude, we used a digital elevation model, obtained through SRTM radar data. To generate the map of climatic groups, the cluster analysis method considering the K nearest neighbors was chosen. To estimate the potential productivity of *Eucalyptus* plantations *saligna* for the Southern Region of Brazil was used 3-PG model, parameterized, calibrated and validated by Klippel (2015), considering a production cycle of eight years old. Through the statistical evolution of groups with Davies-Bouldin criteria values it was defined that the ideal number of climatic groups are 9, which generated a thematic map with 9 climatically homogeneous regions to the south of Brazil. The highest annual precipitation values are seen in groups 5 and 8 and group 2 shows the highest average air temperature. volume estimates, average annual increment, breast height diameter and height by 3-PG model behave similarly, with higher yields on the coast of the states of Paraná and Santa Catarina and in the Midwest portion of the South. In Overall, these are the areas with the highest rainfall. They are also areas where not observed air temperatures peak, as the

northern region of Parana State, or minimal, such as in areas with high altitudes.

1. INTRODUÇÃO

O reflorestamento de grandes áreas torna-se cada dia mais necessário em consequência da crescente demanda por produtos e subprodutos florestais (PINTO et al., 2004). O gênero *Eucalyptus* oferece diversas vantagens em comparação a outras espécies florestais (BAESSO et al., 2010), sendo um dos mais adotados nos programas de reflorestamento, por apresentar características como rápido crescimento, alta produtividade e boa adaptação às diferentes condições edafoclimáticas (BERGER et al., 2002; REIS et al., 2014).

As primeiras sementes de *Eucalyptus* foram introduzidas no Brasil no século XIX (GONÇALVES et al., 2013). Contudo, foi Edmundo Navarro de Andrade que iniciou os estudos de silvicultura e manejo de várias espécies e procedências australianas (ANDRADE, 1961). Em 1965 os recorrentes incentivos fiscais do governo e a demanda por madeira expandiram o setor florestal no Brasil, aumentando a importância de estudos referentes à adaptação deste gênero no país (GONÇALVES et al., 2013).

As áreas de florestas plantadas no Brasil são da ordem 7,74 milhões de ha. Os plantios de eucalipto ocupam 5,56 milhões de ha da área de árvores plantadas no País, o que representa 71,9% do total, e estão localizados principalmente nos estados de Minas Gerais (25,2%), São Paulo (17,6%), Mato Grosso do Sul (14,5%), Bahia (11,3%) e Rio Grande do Sul (5,6%) (IBÁ, 2015).

O sul do Brasil tem se mostrado promissor à expansão da silvicultura, como uma área de interesse para a implantação de novos plantios de eucalipto devido à rusticidade e adaptabilidade da espécie às diferentes condições de clima e solo (PREVEDELLO et al., 2014). Atualmente, essa região conta com 646.158 ha de florestas plantadas com eucalipto, o que corresponde a 11,6% da área total de plantios de eucalipto do Brasil (IBÁ, 2015).

Uma das espécies de eucalipto mais plantada na região Sul do Brasil é o *Eucalyptus saligna* Smith. Segundo Santos et al. (2013) é a espécie mais

plantada no estado do Rio Grande do Sul devido à alta capacidade produtiva nessa região.

Eucalyptus saligna é uma espécie nativa da costa leste da Austrália. Sua área de ocorrência natural limita-se a uma faixa de cerca de 160 km de largura, desde a Bahia de Bateman (36° latitude sul), sul de New South Wales até sudoeste de Queensland (27° latitude sul). Na zona mais ao sul da área de ocorrência, a altitude média é de 300 metros, sendo que, mais ao norte, pode atingir até 1200 metros (LAMPRECHT, 1990). Apresenta rápido crescimento e prefere regiões de clima temperado à subtropical (MARCHIORI e SOBRAL, 1997; TONINI, 2003).

Para alcançar o potencial produtivo dos plantios agroflorestais, o estudo dos fatores que influenciam o crescimento dos mesmos torna-se de extrema importância, com destaque para o clima, através da radiação fotossinteticamente ativa, da temperatura, da umidade do ar e da água no solo. Também devem ser levados em consideração a disponibilidade de nutrientes, as características do material genético e os fatores bióticos (LARCHER, 2006). De acordo com Litton et al. (2007) a manutenção de uma alta produtividade florestal depende da disponibilidade de recursos naturais como luz, água e nutrientes.

A produção e a pesquisa agrícola e florestal devem, de forma prioritária, considerar os aspectos climáticos, devido à sua influência direta no desenvolvimento vegetal e na produtividade do sistema. O clima é um fator limitante e condicionante do cultivo das espécies e a definição de áreas aptas ao cultivo deve ser baseada na junção das informações do ambiente físico (clima e solo) e das necessidades ambientais das espécies visadas. Esta dualidade requer a identificação de variáveis relevantes do ponto de vista biológico, possíveis de serem medidas, estimadas ou mapeadas no local (ECHEVERRÍA et al., 2002).

Ao analisar os intervalos climáticos as quais a espécie é adaptada, é importante examinar não apenas os padrões de crescimento em relação a temperatura média, mas também a sua capacidade em resistir a extremos em várias etapas de crescimento (LANDSBERG e SANDS, 2011).

Os sistemas de classificações climáticas são de grande importância, pois analisam e definem os climas levando em consideração vários elementos climáticos ao mesmo tempo, facilitando a troca de informações e análises posteriores para diferentes objetivos (ROLIM et al., 2007).

A classificação climática visa identificar em uma grande área ou região, zonas com características climáticas e biogeográficas relativamente homogêneas fornecendo indicações valiosas sobre as condições ecológicas, suas potencialidades agrícolas e o meio ambiente da região (ANDRADE JÚNIOR et al., 2005).

A delimitação das regiões climaticamente homogêneas pode estabelecer os indicadores do potencial do meio físico e biológico de uma região, compatíveis com a exploração de determinadas culturas, além de identificar áreas de condições homogêneas de atividades e dos recursos naturais nela existentes, que juntas contribuem para o desenvolvimento sustentável da região (CARVALHO et al., 2008).

Portanto, a classificação climática tem como objetivo a definição dos limites geográficos dos diferentes tipos de clima que ocorrem em todo mundo, sendo considerado um estudo básico para áreas afins. Ela apresenta três objetivos que se inter-relacionam: ordenar grande quantidade de informações, facilitar a rápida recuperação e facilitar a comunicação. Para isso, faz-se a descrição e mapeamento das regiões climáticas, necessitando-se identificá-las e classificá-las em diferentes tipos (CUNHA e MARTINS, 2009).

A definição da quantidade de variáveis meteorológicas e climatológicas a serem combinadas para estabelecer uma classificação climática depende dos objetivos a que ela se destina. Dessa forma, a discriminação dos propósitos que motivam a classificação climática é a primeira tarefa para uma classificação bem-sucedida (MENDONÇA e DANI-OLIVEIRA, 2007).

A análise de *Cluster* é uma técnica muito utilizada para transformar séries históricas de dados em zonas climaticamente homogêneas. Cada posto meteorológico corresponde a uma série temporal de dados de uma cidade, enquanto uma região homogênea é formada pelo agrupamento das séries temporais mais similares (DOURADO et al., 2013).

Vários estudos em agrometeorologia e climatologia enfatizam a aplicação de *clusterização* para a definição de regiões climáticas homogêneas em várias partes do Brasil (KELLER FILHO et al., 2005; ANDRÉ et al., 2008; BOSCHI et al., 2011).

Além disso, os mapas de aptidão climática de culturas, fornecem importantes ferramentas para futuras recomendações práticas, lógicas e coerentes de serem executadas para o estabelecimento dos cultivos, prevenção e controle das doenças, que servirão de base para a elaboração de políticas públicas para o setor agrícola (SILVA et al., 2013). O zoneamento agroclimático é uma importante ferramenta na delimitação de áreas com aptidões climáticas para a implantação e desenvolvimento de espécies florestais (KLIPPEL et al., 2013).

Plantios florestais têm um horizonte de planejamento de longo prazo e um longo período entre a necessidade de investimento e a realização de lucro, portanto ferramentas como zoneamento agroclimático são importantes na tomada de decisões para o aumento da eficiência produtiva. Também outra consideração de grande importância se refere ao fato de que o zoneamento pode ser empregado para cenários futuros, tendo em vista que o impacto das mudanças climáticas globais pode afetar o setor florestal brasileiro (KRUG, 2009; FEARNSIDE, 1998, 1999).

Os modelos de tomada de decisão silvicultural, que tem como variáveis de entrada dados climáticos, são cada vez mais essenciais no planejamento das atividades florestais. Dentre os diversos modelos existentes, o 3-PG (Physiological Principles in Predicting Growth), desenvolvido por Landsberg e Waring (1997), é um modelo baseado em processos que utilizam princípios fisiológicos para estimar a produtividade de povoamentos florestais equiâneos.

Uma das vantagens desse modelo está no fato de permitir o acompanhamento do desenvolvimento de variáveis de importância para o gerenciamento florestal (índice de área foliar-IAF, incremento médio anual-IMA, volume, diâmetro a altura do peito-DAP, altura, área basal, etc.) em nível de região, devido à possibilidade de sua alimentação com dados climáticos

gerados de forma contínua pelas estações meteorológicas distribuídas em campo.

Existem poucos estudos sobre interações planta-ambiente na região Sul do Brasil, que apresenta características climáticas distintas quando comparada com as demais regiões brasileiras, com estações do ano bem definidas e períodos de frio rigorosos, sendo comum a ocorrência de geadas em algumas áreas. Além disso, as espécies de eucalipto comumente plantadas nessa região, são de regiões de clima temperado à subtropical, como o *Eucalyptus saligna* Smith (KLIPPEL, 2015).

Neste sentido, este estudo teve como objetivo identificar as regiões climaticamente homogêneas para a região Sul do Brasil, além de estimar a produtividade potencial do *Eucalyptus saligna* para a mesma região.

1.1. Descrição do modelo 3-PG

O modelo 3-PG consiste basicamente de cinco submodelos: produção de biomassa; alocação de biomassa entre folhas, raízes e lenho (incluindo galhos e cascas); mortalidade de árvores; balanço de água no solo e um módulo para converter biomassa em variáveis de interesse para manejo florestal (Figura 1).

A descrição completa do modelo é fornecida por Landsberg e Waring (1997), Sands e Landsberg (2002). Essencialmente, o 3-PG estima a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelo dossel (RFAA) por meio da lei de Beer, que é convertida em carboidratos e alocada nos diferentes componentes da árvore (folhas, lenho e raízes). Considera-se que a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) é 50% da radiação solar global.

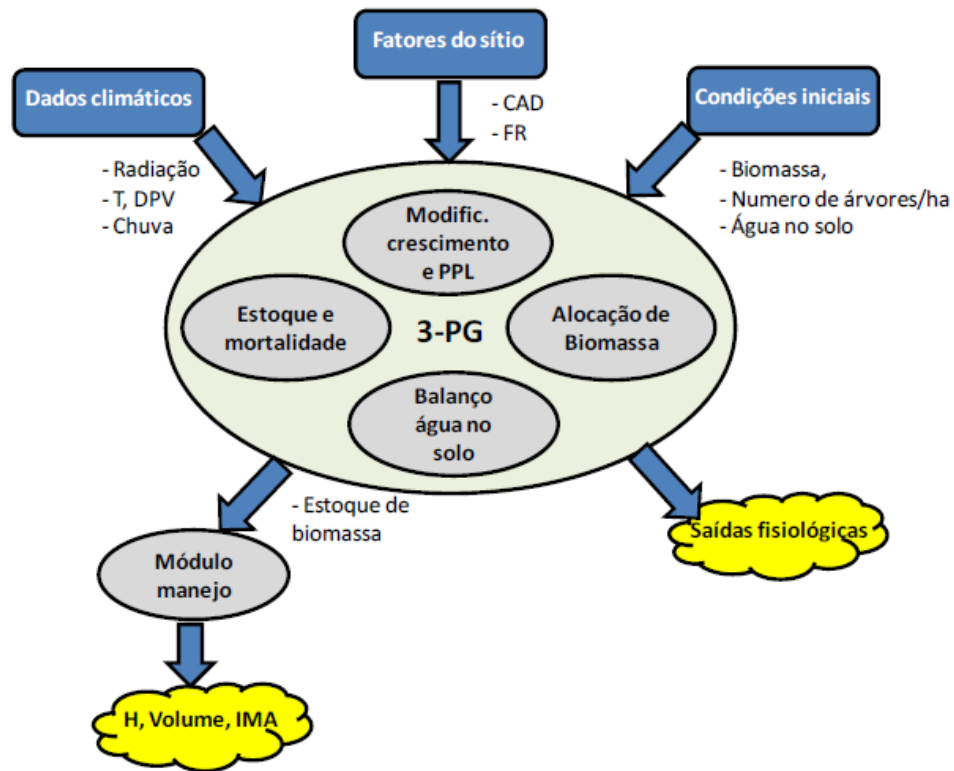


Figura 1. Representação esquemática do modelo 3-PG. O modelo é composto por cinco submodelos. Os dados de entrada são dados climáticos, fatores do sítio e condições iniciais do povoamento. Os resultados dos modelos são variáveis fisiológicas e dendrométricas. Fonte: Landsberg e Sands (2011) modificado.

A lei de Beer descreve o decréscimo exponencial da radiação, ao percorrer verticalmente toda extensão da cobertura vegetal, por meio da equação 1 (LARCHER, 2000):

$$I_z = I_0 e^{-k IAF} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

I_z = intensidade da radiação a uma determinada altura dentro da cobertura vegetal, $W\ m^{-2}$; I_0 = intensidade de radiação no topo da cobertura vegetal, representa a RFA, $W\ m^{-2}$; k = coeficiente de extinção ou atenuação, representa o grau de diminuição da radiação no interior da cobertura vegetal, seja por absorção ou espalhamento; IAF = soma total da superfície foliar, de cima para baixo, até a altura z , por unidade de área de solo (IAF acumulado).

É quantificada a radiação fotossinteticamente ativa absorvida (RFAA) pelo dossel, e o 3-PG estima a quantidade de CO₂ fixado por unidade de energia radiante absorvida, que representa a eficiência quântica do dossel (α_c). O valor dessa eficiência de conversão é calculado a partir de um valor de eficiência quântica máxima do dossel (α_{cx}) e considera as limitações ambientais impostas pelo déficit de pressão de vapor (f_{VPD}), pela temperatura (f_T), pelas geadas (f_F), pela disponibilidade hídrica (f_A), nutricional (f_N) e pela idade da população (f_i) (equações 2 e 3).

Após a consideração de todas essas limitações, por meio dos moduladores, o 3-PG estimará o relacionamento entre a produção primária bruta (PPB) e a RFAA:

$$P_{PB} = \alpha_c RFAA \quad (\text{Eq. 2})$$

$$\alpha_c = \alpha_{cx} f_T f_F f_N \varphi \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que: P_{PB} = produção primária bruta, mol C; $RFAA$ = radiação fotossinteticamente ativa absorvida, W m⁻².

A relação entre produção primária líquida (P_{PL}) e P_{PB} será equivalente a um coeficiente de uso de carbono.

As principais variáveis de entrada do modelo serão: climatológicas (médias mensais de temperatura, radiação global e precipitação); latitude e longitude; solo (fertilidade, textura, disponibilidade de água); planta (biomassa inicial de folha, lenho e raízes, número de árvores, coeficientes de equações alométricas; e as fisiológicas: eficiência quântica e condutância estomática máxima do dossel vegetativo.

A partir desses dados, o modelo estimará, em intervalos mensais: biomassa de tronco, folhas e raízes, diâmetro do caule, área basal do povoamento, balanço de água no solo, índice de área foliar (IAF), queda de serapilheira, densidade e volume do lenho).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

A área de estudo abrange a Região Sul do Brasil, situado geograficamente entre os meridianos 48°02'13" e 57°38'39" de longitude oeste e entre os paralelos 22°31'00" e 33°45'05" de latitude sul (Figura 2), com uma área total de 576.773,37 km².

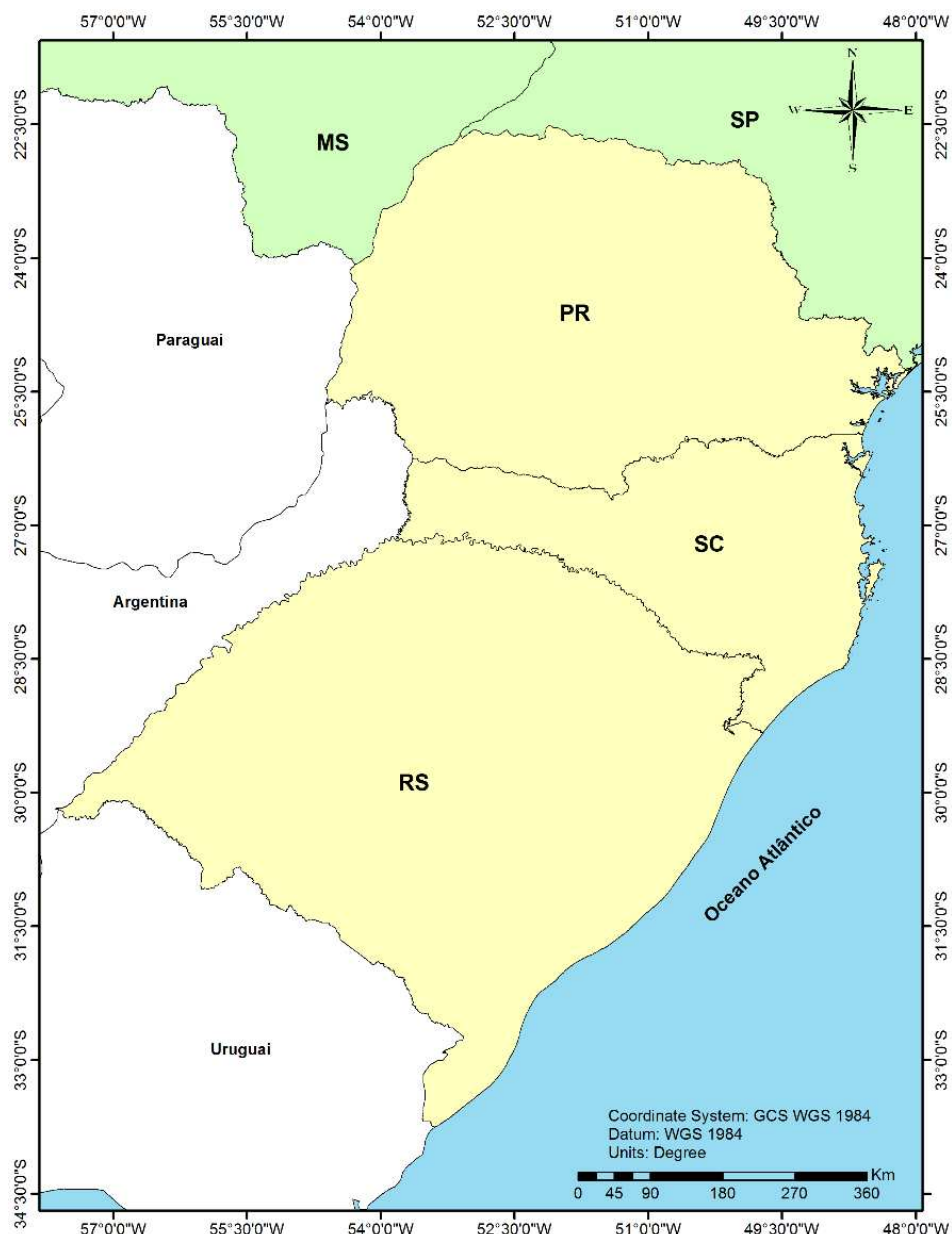


Figura 2. Localização geográfica da Região Sul do Brasil, área de estudo.

Segundo a classificação de Köppen, o Sul do Brasil enquadra-se nos grupos climáticos A e C, que identificam os climas tropical e subtropical úmido.

São encontrados na Região os subtipos climáticos Aw e Cf, e também as variações Cfa e Cfb (ALVARES et al., 2013).

2.2. Zoneamento Agroclimático do *Eucalyptus saligna* para o Brasil

A fim de justificar a escolha da Região Sul do Brasil como área de estudo para estimar a produtividade do *Eucalyptus saligna*, foi realizado um zoneamento agroclimático para o Brasil.

As variáveis utilizadas para o zoneamento agroclimático foram as médias da série histórica da: precipitação total anual, temperatura média do ar anual, temperatura máxima do ar média do mês mais quente, temperatura mínima do ar média do mês mais frio tomando como base o clima da região de ocorrência natural da espécie conforme a Tabela 1 (BOOTH e PRYOR, 1991; FAO, 1981; JOVANOVIC e BOOTH, 2002):

Tabela 1. Faixa de aptidão térmica e hídrica para o *Eucalyptus saligna*.

Média da Precipitação Total Anual	700 - 1800 mm
Temperatura Média do Ar das Máximas do mês mais quente	23 - 32°C
Temperatura Média do Ar das Mínimas do mês mais frio	> 3°C
Temperatura Média do Ar Anual	14 - 23°C

Os dados de alta resolução (0,25° x 0,25°), de 1980 a 2013, gerados por Xavier et al. (2015), foram obtidos em < <https://utexas.app.box.com/Xavier-et-al-IJOC-DATA>>. Estes foram espacializados fazendo-se uma interpolação utilizando o método de krigagen de acordo com Castro et al. (2010), passando para uma grade de 1 km de resolução espacial, permitindo, assim, a elaboração da caracterização digital da disponibilidade hídrica e térmica do Brasil.

A deficiência hídrica foi calculada seguindo a metodologia de balanço hídrico climatológico proposta por Thornthwaite & Mather (1955) com a evapotranspiração calculada pelo método de Penman-Monteith, padrão da FAO (Allen et al., 1998), utilizando a rotina implementada no Matlab® por Silva (2010) adaptada para receber como entrada a evapotranspiração calculada

por Penman-Monteith. Para tal, admitiu-se uma capacidade de armazenamento de água no solo - CAD de 300 mm, como recomendado por PEREIRA et al. (2002) para cultivos de espécies florestais quando não se dispõe do cálculo desta variável.

O zoneamento agroclimático consistiu essencialmente na delimitação de áreas com aptidão climática da região de ocorrência natural da espécie, na qual estão estabelecidas as condições hídrico-termiais ideais para o seu desenvolvimento e consequente produtividade. No que se refere aos índices térmicos e hídricos exigidos pela espécie para o seu desenvolvimento, eles foram classificados de acordo com as necessidades de cada uma, dividindo-se em duas classes de aptidão climática: apta e inapta.

Foram consideradas “aptas” aquelas áreas cujas condições térmicas e hídricas apresentaram-se favoráveis para o bom desenvolvimento e produção da espécie em escala comercial. As áreas foram consideradas “inaptas” quando as características normais do clima não se apresentaram adequadas à exploração econômica da espécie, devido a limitações severas dos fatores hídricos ou térmicos, ou ambos, com marcante repercussão em sua produção, exigindo para que sejam corrigidas práticas agrícolas dispendiosas.

Além das áreas aptas e inaptas foram estabelecidas duas classes de aptidão para as regiões marginais: “Áreas Restritas por Deficiência Hídrica Anual (Da)”, quando as condições hídricas se apresentam abaixo das ideais indicadas para a cultura. Essas áreas apresentam condições restritas quanto ao regime hídrico, que podem eventualmente prejudicar as fases de desenvolvimento da cultura, repercutindo negativamente na produção, nessas áreas torna-se necessário o uso de irrigação; e “Áreas Restritas por Excedente Hídrico Anual (Ea)”, onde, devido ao regime hídrico excessivo, essas áreas apresentam condições restritas tornando-as marginais ao cultivo sendo necessário o uso de práticas de manejo do solo para evitar alagamentos e consequentemente danos à cultura gerados por hipóxia. Essas áreas foram consideradas quando as condições hídricas se apresentam acima das ideais indicadas para a cultura.

Definidos seus índices climáticos, utilizou-se o *software* ArcGis 9.2 / ArcMap® para realizar os cruzamentos e gerar todos os mapas digitais. Primeiramente realizou-se uma espacialização por meio de interpolação de todas as variáveis através do módulo “*ArcToolbox - Spatial Analyst Tools - Interpolation*”, obtendo-se assim uma imagem “*raster*”.

Posteriormente, procedeu-se, através do módulo “*ArcToolbox - Spatial Analyst Tools - Reclass*”, à reclassificação, considerando as faixas de aptidão conforme os índices térmicos estabelecidos para cada espécie nas Tabela 1.

Finalmente, o mapa de zoneamento agroclimático do *E. saligna* para o Brasil foi obtido através do cruzamento dos mapas de precipitação total anual média anual, temperatura média do ar anual, temperatura média das máximas do mês mais frio, temperatura média do mês mais quente, já reclassificados de acordo com suas exigências. Todo esse procedimento foi realizado utilizando-se o *software* ArcGis 9.2 / ArcMap® pelo módulo “*Spatial Analyst - Raster Calculator*”, conforme fluxograma das Figura 3.

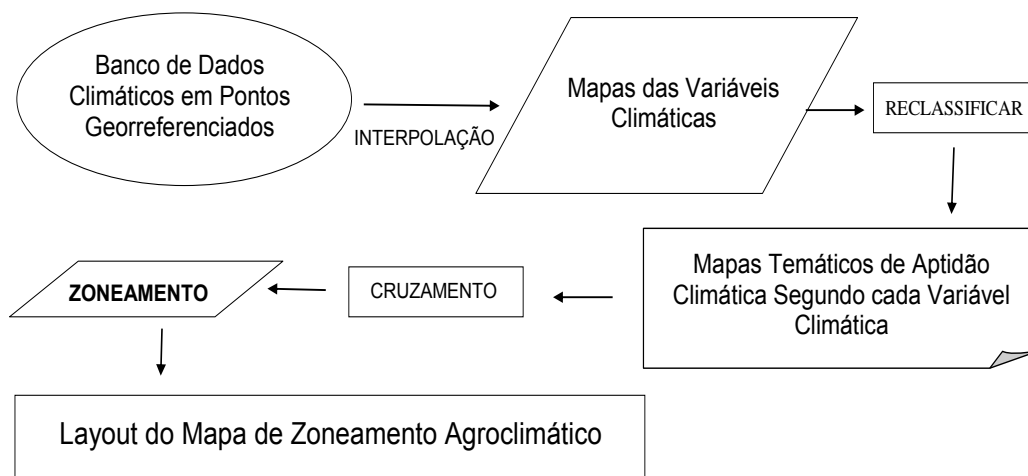


Figura 3. Fluxograma das etapas necessárias para obtenção dos mapas de zoneamento agroclimático.

2.3. Regiões climaticamente homogêneas para a região Sul do Brasil

As variáveis utilizadas para realizar a classificação climática foram: precipitação total anual média, temperatura máxima do ar média anual,

temperatura mínima do ar média anual, umidade relativa do ar média anual e altitude.

Os dados climáticos de alta resolução (0,25° x 0,25°), de 1980 a 2013, foram gerados segundo a metodologia proposta por Xavier et al. (2015) e obtidos em < <https://utexas.app.box.com/Xavier-et-al-IJOC-DATA>>. Estes foram espacializados, realizando-se uma interpolação utilizando o método de krigagem de acordo com Castro et al. (2010), passando para uma grade de 1 km de resolução espacial, permitindo, assim, a elaboração da caracterização digital das variáveis de interesse. Para esse procedimento foi utilizado a ferramenta ArcMap do software ArcGis®, através do módulo “*ArcToolbox - Spatial Analyst Tools - Interpolation*”.

Para obtenção dos dados de altitude, utilizou-se um modelo digital de elevação, obtido através de dados de radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) (FARR e KOBRICK, 2000). As imagens *Raster* SRTM apresentavam-se no formato GEOTIFF (16 bits) e foram agrupadas em um mosaico com resolução espacial de 90 m, com projeção geográfica e datum horizontal WGS-84, utilizando-se o software ArcGis 9.2/ ArcMap®, através do módulo “*Data Management Tools*”. O mosaico foi necessário para a obtenção de apenas uma única imagem com valores médios de altitude e suas respectivas coordenadas geográficas para toda a área em estudo.

A fim de equiparar a resolução espacial dos dados de altitude com os dados de clima, os valores de altitude foram extraídos para cada ponto de grade correspondente aos dados de clima utilizando o método de extração de múltiplos pontos disponível na ferramenta ArcMap do software ArcGis®, módulo “*ArcToolbox - Spatial Analyst Tools - Extration*”.

A determinação do número ideal de grupos a serem criados para distinguir as classes climatologicamente homogêneas é geralmente arbitrária, porém, para tal torna-se necessário ter um parâmetro de decisão, por exemplo quando se quer instalar estações climáticas e o número de estações disponíveis para serem instaladas é fixo, sendo para este caso o número de classes climáticas é definido pelo mesmo número de estações a serem

instaladas, para que cada classe seja contemplada com uma estação de monitoramento climático.

O fato é que, nem sempre se tem este parâmetro de tomada de decisão para decidir o número de classes climáticas, neste caso utiliza-se de métodos estatísticos dos quais são feitas relações entre grupos e intergrupos previamente estabelecidos e com base em um coeficiente definido pelo método estatístico pode se decidir qual o número ideal de grupos que serão gerados.

O número ideal de grupos climáticos que seriam formados com esse conjunto de dados, foi determinado através da estatística de evolução de grupos com valores de critérios de Davies-Bouldin (DAVIES et al., 1979), utilizando os dados de grades com resolução espacial de 1 km de todas as variáveis (precipitação total anual média, temperatura máxima do ar média anual, temperatura mínima do ar média anual, umidade relativa do ar média anual e altitude). Para esse procedimento foi implementada no *software* Matlab® uma rotina onde os valores de critérios de Davies-Bouldin foram encontrados por meio da função *evalclusters* (MATHWORKS, 2011).

De posse dos dados climáticos seguidos de suas coordenadas geográficas e respectivas altitudes para cada ponto da grade, e tendo o número de grupos estabelecido, pode-se então gerar o mapa de grupos climáticos, onde foi escolhido o método de Análise de Agrupamento, considerando os K vizinhos mais próximos, onde o número de K foi 8 e para determinação das distâncias entre os vizinhos foi utilizado a equação da distância euclidiana.

Para estabelecer as zonas climaticamente homogêneas para a Região Sul do Brasil utilizou-se o *software* ArcGis 9.2 / ArcMap® a fim de realizar os cruzamentos dos mapas de clima e altitude e a análise de agrupamentos, onde este procedimento foi realizado através do módulo “*ArcToolbox - Spatial Statistics Tools - Mapping Cluster - Grouping Analysis*”, onde foi gerado um mapa temático com a divisão de cada um dos grupos climáticos.

Na sequência, para cada grupo climático foram extraídos os valores referentes às variáveis de clima para posteriormente calcular as médias e caracterizar cada grupo conforme suas médias climáticas.

Finalmente, foram gerados os gráficos e tabelas de médias das variáveis climáticas de cada grupo para comparação intergrupo e entre os grupos.

2.4. Estimativa da produtividade potencial

Para estimar a produtividade potencial dos plantios de *Eucalyptus saligna* para a Região Sul do Brasil foi utilizado o modelo 3-PG, parametrizado, calibrado e validado por Klippel (2015).

Os dados meteorológicos utilizados na simulação do 3-PG compreenderam médias mensais (série histórica) dos anos de 1980 a 2013 de precipitação (mm), temperatura máxima do ar (°C), temperatura mínima do ar (°C) e radiação solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$). Esses dados foram obtidos segundo a metodologia proposta por Xavier et al. (2015), resolução de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, disponível em <https://utexas.app.box.com/Xavier-et-al-IJOC-DATA>.

Para realizar as estimativas de produtividade usando o modelo 3-PG, foi considerado um ciclo produtivo de oito anos de idade e espaçamento $3 \times 3 \text{ m}$ ($1111 \text{ plantas ha}^{-1}$).

As características do solo entram no modelo 3-PG por meio de duas variáveis: na classe do solo (*Soil Class*), relacionada com a parte física do solo, e no índice de fertilidade do solo (FR), na qual é atribuído um valor de zero a “um” para as condições químicas, sendo zero para condições limitantes e “um” para condições não limitantes.

Com relação a parte física do solo, foi considerado uma textura média, dessa forma, atribuiu-se o parâmetro CL para classe textural. Em relação a fertilidade do solo, como as empresas realizam adubação adequada e balanceada, atribuiu o valor 1 (um) para o modulador de fertilidade do solo. A Capacidade de Água Disponível (CAD) utilizada foi de 300 mm (KLIPPEL, 2015).

Os valores dos parâmetros do modelo 3-PG usados no estudo de Klippel (2015) são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2. Principais parâmetros utilizados no modelo-3PG após parametrização e calibração.

Parâmetro	Símbolo	Unidade	F	Valor
Partição folha/Stem para D=2cm	pFS2	-	O	2,23
Partição folha/Stem para o para D=20cm	pFS20	-	A	0,01
Constante de relacionamento entre massa de caule e diâmetro	StemConst	-	O	0,0275
Potência de relacionamento entre massa de caule e diâmetro	StemPower	-	O	2,9375
Fração máxima de PPL para as raízes	pRx	-	L	0,5
Fração mínima de PPL para as raízes	pRn	-	L	0,1
Taxa de queda de serrapilheira para plantios em idades adultas	gammaFx	1/month	L	0,07
Taxa de queda de serrapilheira para plantios t=0	gammaF0	1/month	P	0,001
Idade em que a taxa de serrapilheira tem seu valor médio	tgammaF	month	A	14
Taxa média de ciclagem radicular	Rttover	1/month	L	0,025
Temperatura mínima para crescimento	Tmin	deg.°C	A	6
Temperatura ótima para crescimento	Topt	deg.°C	L	25
Temperatura máxima para crescimento	Tmax	deg.°C	L	40
Déficit na proporção de umidade f=0,5	SWconst	-	P	999
Potência no déficit na proporção de umidade	SWpower	-	P	9
Valor de m quando FR=0	m0	-		0
Valor de f_N quando FR=0	fN0	-	L	0,5
Potência de (1-FR), na expressão do f_N	fNn	-	L	1
Máxima idade padrão usada no modificador	MaxAge		L	9
Potencia da idade relativa na função para fage	nAge	years	P	4
Idade relativa para fAge=0,5	rAge		P	0,95
Taxa de mortalidade para t grande	gammaNx	%year	P	0
Taxa de mortalidade de sementes (t=0)	gammaN0	%year	P	0
Idade em que a taxa de mortalidade tem seu valor médio	tgammaN	year	P	2
Forma de resposta da mortalidade	ngammaN	-	P	1
Massa de lenho máxima para cada 1.000 árvores ha ⁻¹	wSx1000	kg tree ⁻¹	P	300
Potência na regra <i>self-thinning</i>	thinPower	-	P	1,5
Fração média perdida de biomassa de folhas em árvores-simples por morte destas	mF	-	P	0
Fração média perdida de biomassa de raiz em árvores-simples por morte destas	mR	-	P	0,2

Continua...

Continuação da Tabela 2.

Parâmetro	Símbolo	Unidade	F	Valor
Fração média perdida de biomassa de <i>stem</i> em árvores-simples por morte destas	Ms	-	P	0,2
Área foliar específica para plantios em idade 0	SLA0	m ² kg ⁻¹	O	8,9
Área foliar específica para plantios em idade adulta	SLA1	m ² kg ⁻¹	O	7,6
Idade em que a área foliar específica = (SLA ₀ + SLA ₁)/2	tSLA	years	O	3,55
Coefficiente de extinção da PAR pelo dossel	k		P	0,5
Idade de fechamento do dossel	fullCanAge	years	O	3
Proporção máxima de precipitação interceptada pelo dossel	MaxIntcptn	-	P	0,15
LAI em que ocorre a máxima interceptação da precipitação	LAI _{maxINTcptn}	m ² m ⁻²	L	3,33
Eficiência quântica máxima do dossel	alpha	molC mol ⁻¹ PAR ⁻¹	O	0,074
Relação PPL/PPG	Y	-	L	0,5
Máxima condutância do dossel	MaxCond	m s ⁻¹	A	0,032
LAI para máxima condutância do dossel	LAI _{gcx}	m ² m ⁻²	O	2,96
Define a resposta estomática ao DPV	CoeffCond	1/mBar	L	0,0324
Condutância na camada limite do dossel	Blcond	m s ⁻¹	P	0,2
Fração de ramo e casca para plantios em idade inicial 0	fracBB0	-	O	0,29
Fração de ramo e casca para plantios em idade adulta	fracBB1	-	O	0,11
Idade em que a fração de ramo e casca é =(fracBB ₀ + fracBB ₁)/2	tBB	years	O	0,95
Densidade básica para árvores jovens	rhoMin	t m ⁻³	L	0,386
Densidade básica para árvores adultas	rhoMax	t m ⁻³	L	0,458
Idade em que a densidade básica = (rhoMin + rhoMax)/2	tRho	years	L	1,37
Constante de relacionamento entre altura e DAP	aH	-	O	0,4793
Potência de relacionamento entre altura e DAP	nHB	-	O	1,3838
Potência de relacionamento entre Volume e DAP	nVB	-	O	3,3566
Parâmetro relacionado com disponibilidade de água no solo	Soil Class	-	O	CL
Taxa de fertilidade do solo (FR)	FR	-	A	1
Biomassa inicial de folhas	WF	Mg ha ⁻¹	O	5,13
Biomassa inicial de stem (tronco + galhos)	WS	Mg ha ⁻¹	O	18,58
Biomassa inicial de raiz	WR	Mg ha ⁻¹	O	9,58

F = Forma de obtenção do parâmetro; O = Observado; A = Ajustado; L = Obtido na literatura; P = Padrão (modelo original). Fonte: Klippel (2015).

As simulações foram realizadas para a mesma grid de pontos dos dados meteorológicos (resolução de 0,25° x 0,25°) e, posteriormente, os valores

oram especializados, realizando-se uma interpolação utilizando o método de krigagen (utilizando a ferramenta ArcMap do *software* ArcGis®, através do módulo “*ArcToolbox - Spatial Analyst Tools - Interpolation*”), gerando mapas de produtividade do eucalipto para a Região Sul do Brasil.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Zoneamento Agroclimático do *Eucalyptus saligna* para o Brasil

A Precipitação é uma das variáveis que possuem a maior variabilidade espacial, e o Brasil por ser um país de grande extensão territorial principalmente no sentido norte-sul, onde as latitudes variam entre 5°16'20” norte e 33°45'03” sul, e devido ao relevo acidentado, a variação espacial da precipitação fica bem evidenciado ao longo do território nacional, o que pode ser observado na figura 4.

As Regiões mais ao norte do país são onde há os maiores índices pluviométricos, chegando à valores que ultrapassam a média dos 4 mil mm de chuva total anual. Por outro, lado os índices pluviométricos da região nordeste do país se destacam como sendo os menores chegando as médias próximas de 440 mm de chuva total anual. A região Sul do Brasil apresenta precipitação bem distribuída ao longo do ano. Nas regiões Centro-Oeste e Sudeste os totais pluviométricos são máximos no verão e mínimos no inverno.

Na figura 5 observa-se a espacialização da temperatura média do ar anual onde, ainda mais evidenciado pela grande extensão territorial do Brasil nas latitudes, a variável tem sua distribuição geográfica caracterizada em valores maiores às proximidades da linha do Equador e menores mais ao Sul do País, sendo essa variação térmica entre as faixas próximas dos 15°C ao sul e 28°C ao norte.

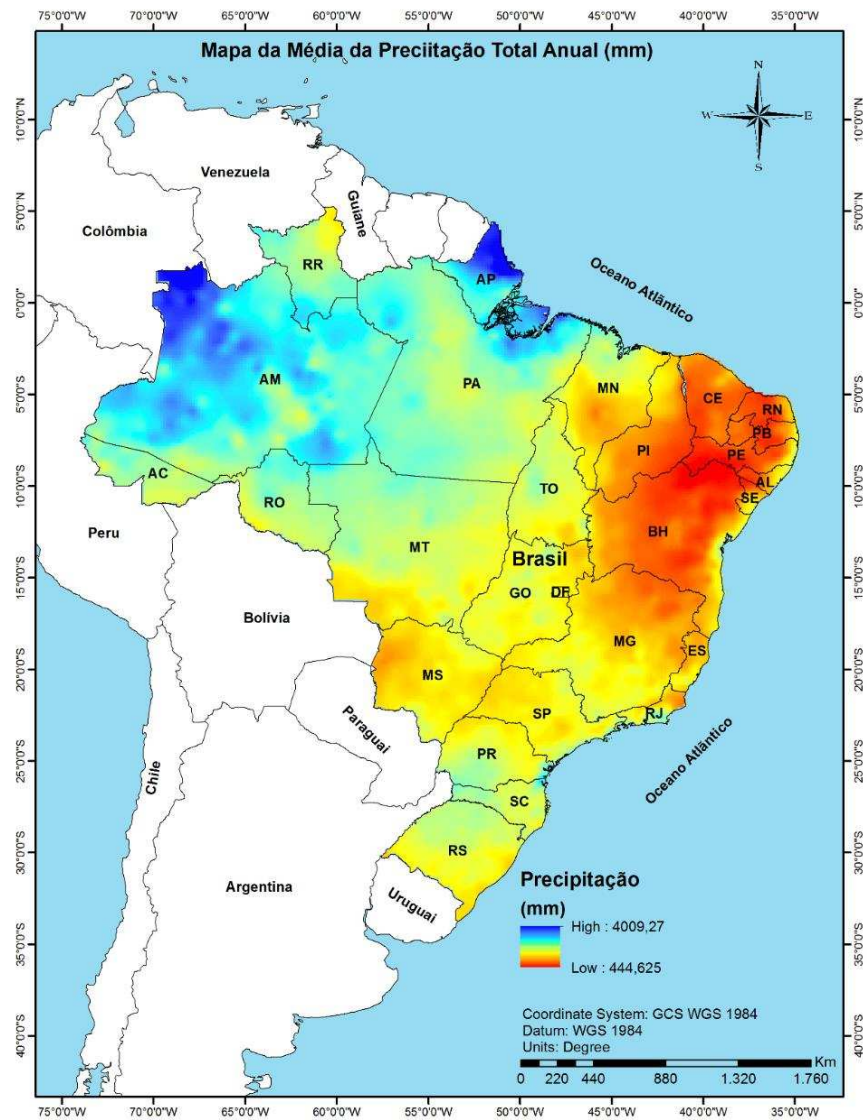


Figura 4. Mapa da média da precipitação total anual para o Brasil.

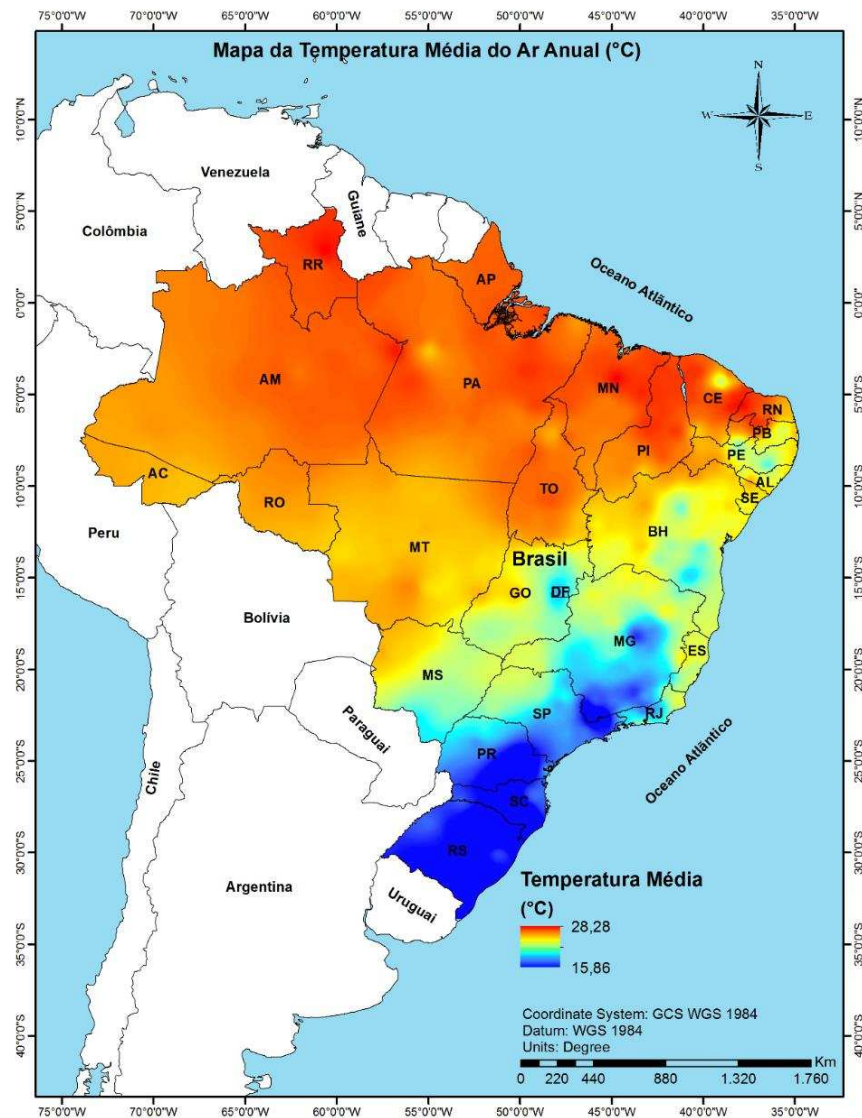


Figura 5. Mapa da temperatura média do ar anual para o Brasil.

Apesar da temperatura média do ar ser uma variável de grande importância é necessário também, conhecer a amplitude térmica de cada região, e para tal, torna-se necessário avaliar as temperaturas máximas e mínimas.

As figuras 6 e 7 representam a variação espacial da Temperatura do Ar Média das Máximas do mês mais quente e a Temperatura do Ar Média das Mínimas do mês mais frio para o Brasil. Essas variáveis demonstram os extremos das temperaturas à que uma cultura está sendo submetida em cada região. Com isso podemos avaliar as possibilidades de estresse térmico da cultura, seja por altas temperaturas, seja por baixas temperaturas.

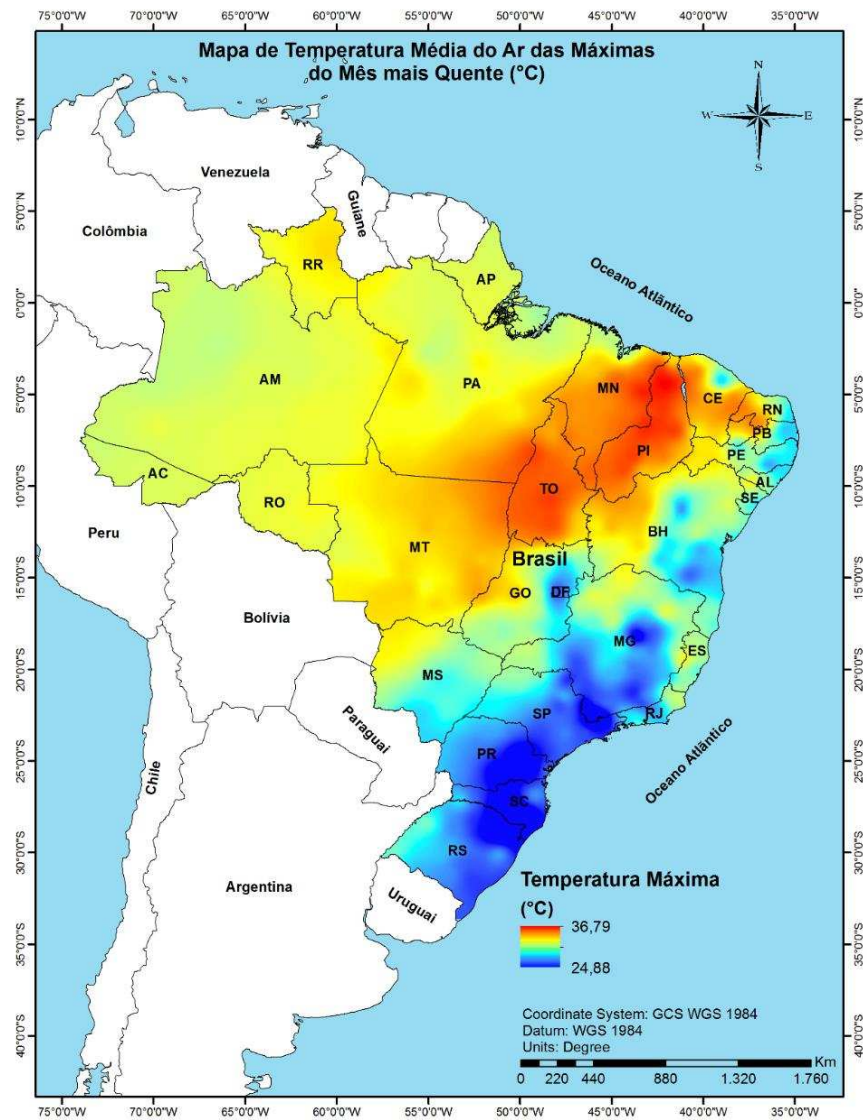


Figura 6. Mapa da temperatura do ar média das máximas do mês mais quente para o Brasil.

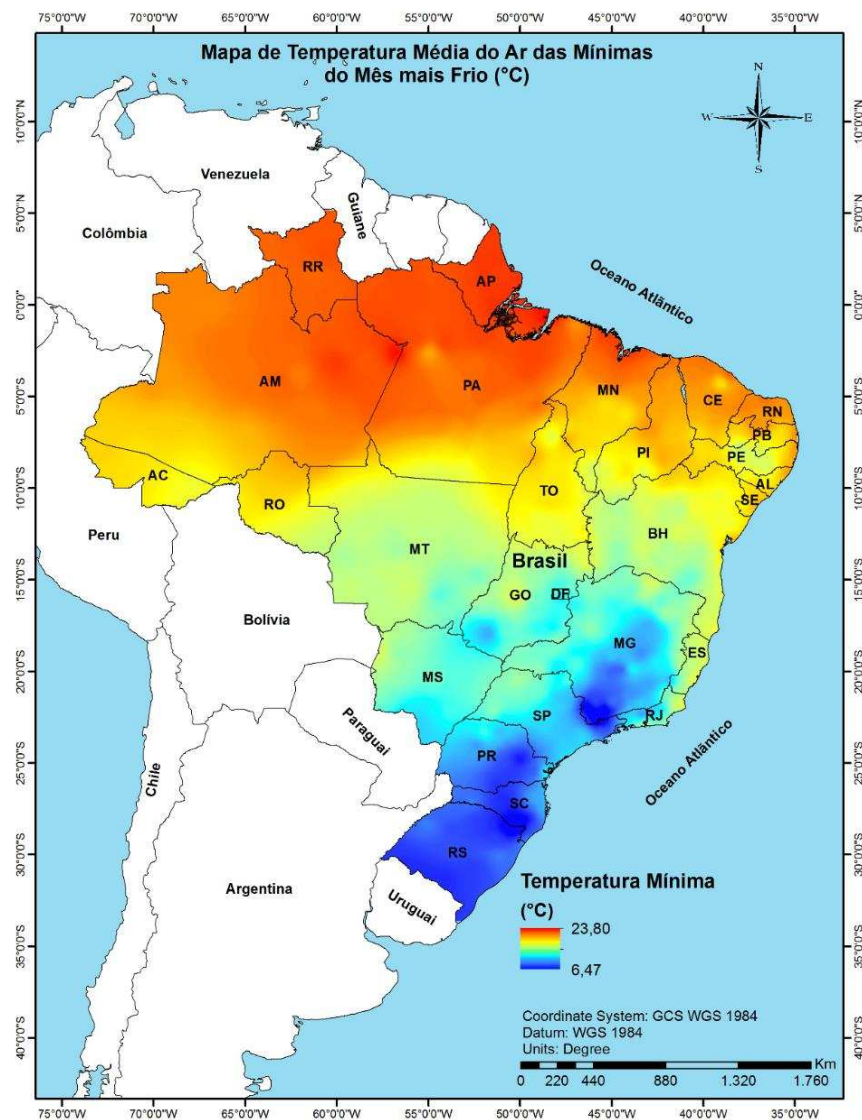


Figura 7. Mapa da temperatura do ar média das mínimas do mês mais frio para o Brasil.

Pode-se observar que, apesar do limite superior das temperaturas médias anuais do ar ser de 28,28°C para o Brasil, a Temperatura do Ar Média das Máximas do mês mais quente pode chegar a ultrapassar os 36,79°C, o que pode ser um fator limitante para determinada cultura por não tolerar tais temperaturas.

Já o limite inferior das temperaturas médias anuais do ar está em torno 15,86°C, porém a Temperatura do Ar Média das Mínimas do mês mais frio chega a um limite inferior de 6,47°C, sendo que em algumas regiões as temperaturas mínimas do ar caem abaixo de 0°C em alguns dias do ano. Para

essas regiões as culturas devem ter uma boa tolerância às baixas temperaturas e geadas para se desenvolverem sem serem afetadas.

O risco de déficit hídrico é importante na definição das regiões para plantio das espécies de eucalipto, embora algumas regiões tenham um regime hídrico com distribuição bem regular das chuvas. Mesmo assim, existem períodos em que ocorrem estiagens e períodos de seca associados com a presença de solos rasos e arenosos, que prejudicam principalmente as mudas de eucalipto. Os solos das regiões comumente rasos, têm baixa capacidade de armazenamento de água e, havendo um período relativamente grande estiagem, existe a possibilidade de prejudicar o desenvolvimento das mudas, principalmente no verão. Outras regiões podem apresentar solos arenosos, com baixa capacidade de armazenamento de água, também sujeitos à ocorrência de períodos de déficit hídrico.

Porém, o que determina a deficiência hídrica é principalmente a precipitação. Na região Nordeste do Brasil, onde há menores índices pluviométricos, atrelada ao tipo de solo e vegetação predominante, é onde há maiores valores de deficiência hídrica chegando a ultrapassar um total anual médio de 1.500 mm (figura 8).

A precipitação é uma variável que expressa apenas restrições ao desenvolvimento da cultura em seus dois extremos, com isso, em regiões onde o regime de chuva está abaixo do limite ideal para o desenrolamento da cultura, o uso da irrigação artificial passa a ser uma prática indispensável e que pode suprir a necessidade de água não atendida pelas chuvas.

Outra importância da irrigação artificial é que mesmo que a precipitação total anual esteja dentro da faixa de limites ideais para a cultura, a distribuição ao longo do ano, nem sempre é regular, nesses casos a irrigação ajuda no fornecimento regular de água disponível para que a cultura possa desenvolver-se com bons resultados econômicos. Talvez mais importante que o índice pluviométrico, é a distribuição das chuvas, que deve ser a mais regular possível.

Entretanto, devido ao alto custo de implantação, não é comum a técnica de irrigação para cultivos florestais. Geralmente é empregada a irrigação em plantios florestais apenas no início do ciclo da cultura, onde a técnica acarreta maior influência no crescimento da planta, como mostra Fernandes et al. (2012).

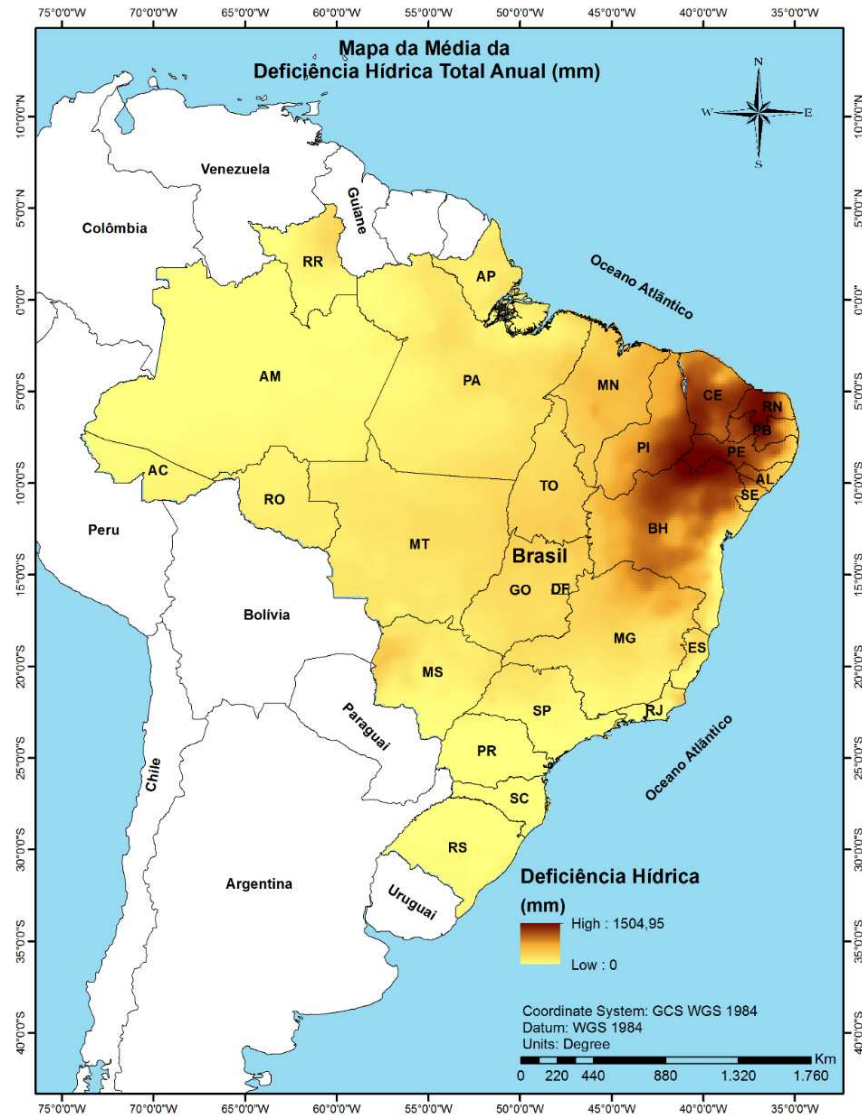


Figura 8. Mapa da deficiência hídrica anual para o Brasil.

Pode-se observar pela figura 9 que a maior parte do Brasil possui precipitação total anual dentro das médias ideais para o cultivo de *E. saligna* sendo consideradas áreas aptas segundo esta variável, e em segundo lugar estão as áreas restritas por excedente hídrico, ou seja, onde os índices pluviométricos estão acima dos ideais para a cultura, tendo apenas uma

pequena área que está entre a região central da Bahia e estende mais ao nordeste do país que são consideradas restritas por deficiência hídrica.

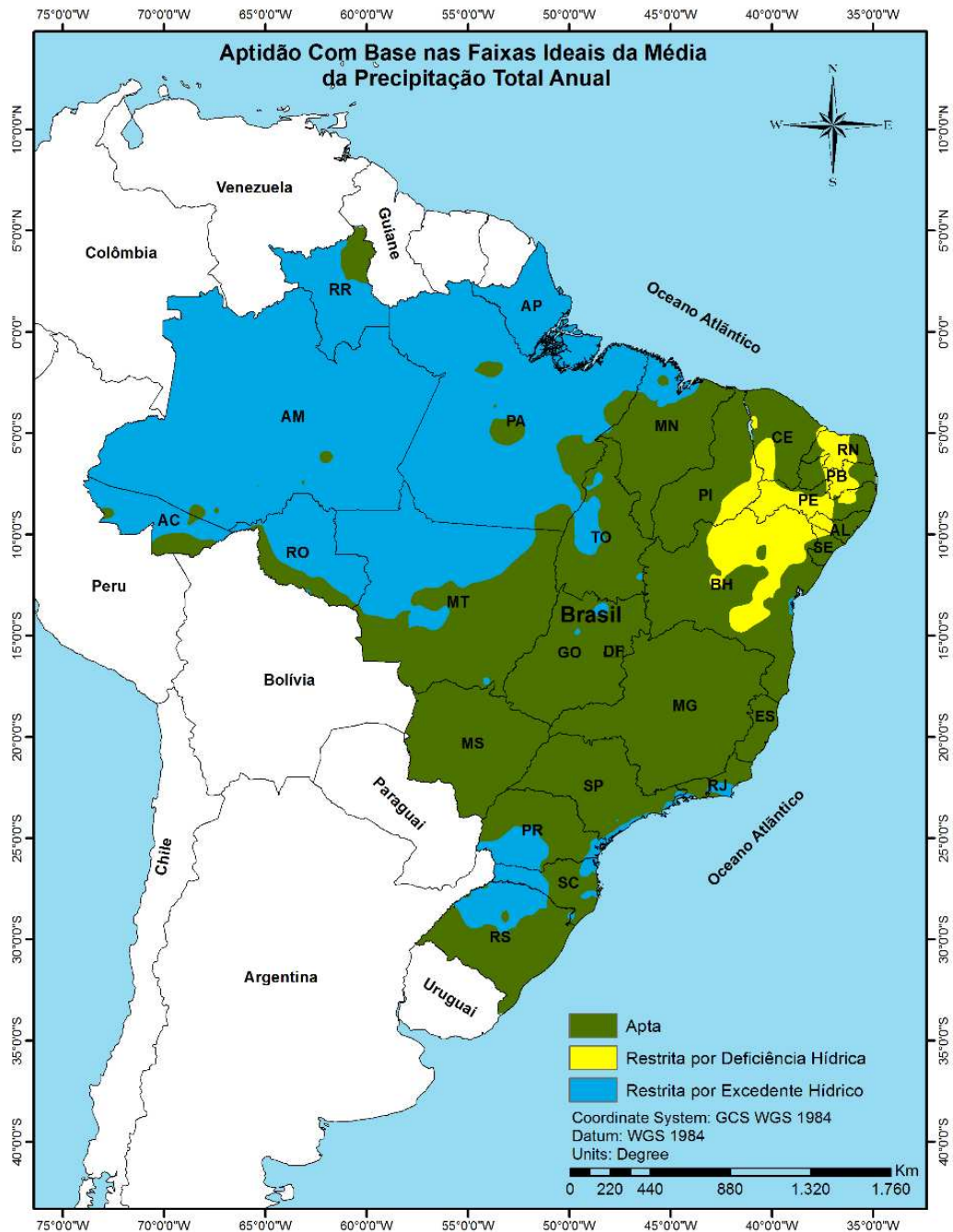


Figura 9. Mapa da aptidão reclassificado de acordo com as exigências climáticas do *Eucalyptus saligna* com base na média da precipitação total anual para o Brasil.

Apesar de ser uma variável que pode limitar o cultivo de uma determinada cultura, não há áreas inaptas ao cultivo de *E. saligna* em função da precipitação, pois esta é uma variável que pode ser suprida por práticas de

irrigação em regiões de baixos índices pluviométricos e práticas agrícolas como plantios em camalhões e construção de valas de drenagem para evitar encharcamento de solos em áreas de altos índices pluviométricos.

Por outro lado, a temperatura do ar é uma variável que não há formas de mitigação de seus efeitos sobre a cultura do eucalipto, salvo os melhoramentos genéticos e escolha de espécies e híbridos mais resistentes aos extremos de temperaturas.

No Brasil, a maior área é inapta quanto aos extremos de temperaturas elevadas sendo para esta variável, apenas os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná que possuem 100% de áreas aptas, porém outros estados como São Paulo, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro, uma parte dos estados do Espírito santo e Goiás e a região mais próximas do litoral dos estados do Nordeste estendendo-se desde o centro da Bahia, também apresentam áreas aptas, quanto à temperatura do ar média das máximas do mês mais quente (Figura 10).

As temperaturas elevadas podem limitar o desenvolvimento da cultura, portanto a escolha da espécie a ser cultivada é de suma importância para se obter níveis desejados e economicamente viáveis na produção. Neste sentido, o mapeamento da temperatura do ar se torna indispensável para auxiliar na escolha da espécie a ser cultivada.

De acordo com as exigências climáticas do *E. saligna* com base na temperatura média do ar anual para o Brasil, pode-se observar pela figura 11 que a maior parte de áreas aptas para o cultivo estão mais ao sul do país, sustentando o fato que, o *E. saligna*, é uma espécie que apresenta rápido crescimento e se desenvolve melhor em regiões de clima subtropical à próximo do temperado (MARCHIORI e SOBRAL, 1997; TONINI, 2003).

Devido à alta capacidade produtiva, o *E. saligna* vem se destacando e atualmente é uma das espécies mais plantadas no estado do Rio Grande do Sul, atingindo bons resultados produtivos nessa região (LIMA et al., 2011; SANTOS et al., 2013).



Figura 10. Mapa da aptidão reclassificado de acordo com as exigências climáticas do *Eucalyptus saligna* com base na temperatura do ar média das máximas do mês mais quente para o Brasil.

O *E. saligna*, por ser uma espécie adaptada para regiões subtropicais, tem alta tolerância às geadas menos expressivas. Como, no geral o Brasil é um país de clima tropical, a temperatura do ar média das mínimas do mês mais frio não é um fator limitante ao desenvolvimento do *E. saligna*, sendo o



Figura 12. Mapa da aptidão reclassificado de acordo com as exigências climáticas do *Eucalyptus saligna* com base na temperatura do ar média das mínimas do mês mais frio para o Brasil.

Os riscos de geadas e estresse por baixas temperaturas é um fator de extrema importância, principalmente no momento de transplante, pois é o momento onde as mudas estarão mais suscetíveis as condições adversas do clima. Portanto, mesmo as áreas sendo aptas ao pleno desenvolvimento da cultura, é ideal conhecer o comportamento das temperaturas mínimas da

região ao longo do ano para auxiliar na escolha da época ideal do plantio e transplântio das mudas de eucalipto.

Com o cruzamento dos mapas apresentados nas Figuras 9, 10, 11 e 12 pode se obter o mapa de mapa da aptidão Climática do *E. saligna* para o Brasil (Figura 13).

Pode se observar na figura 13 que as maiores áreas aptas ao cultivo de *E. saligna* para o Brasil estão na região Sul, porém estende-se à uma pequena porção sul do estado do Mato Grosso do Sul, com uma faixa que abrange desde a região central de São Paulo até seu litoral, somando com quase todo o estado do Rio de Janeiro, não sendo contemplado a área norte deste estado, e abrangendo também as áreas do sul de Minas Gerais com uma parte central do estado, também algumas áreas isoladas como todo o Distrito Federal e seu entorno além de uma pequena área ao sul da Bahia, próximo à divisa com Minas Gerais, estas áreas totalizam 10,90% de todo o território nacional correspondente à uma área de 927.925,25 km² (Tabela 3).

A área Inapta, 86,78% com uma maior porcentagem do Brasil, é limitada pelas exigências climáticas de temperaturas, pois as áreas onde as condições de precipitação não estão dentro das faixas ideais são consideradas áreas restritas, seja por excedente que somam 2,30% ou por déficit hídrico com apenas 0,025 do território nacional (Tabela 3).

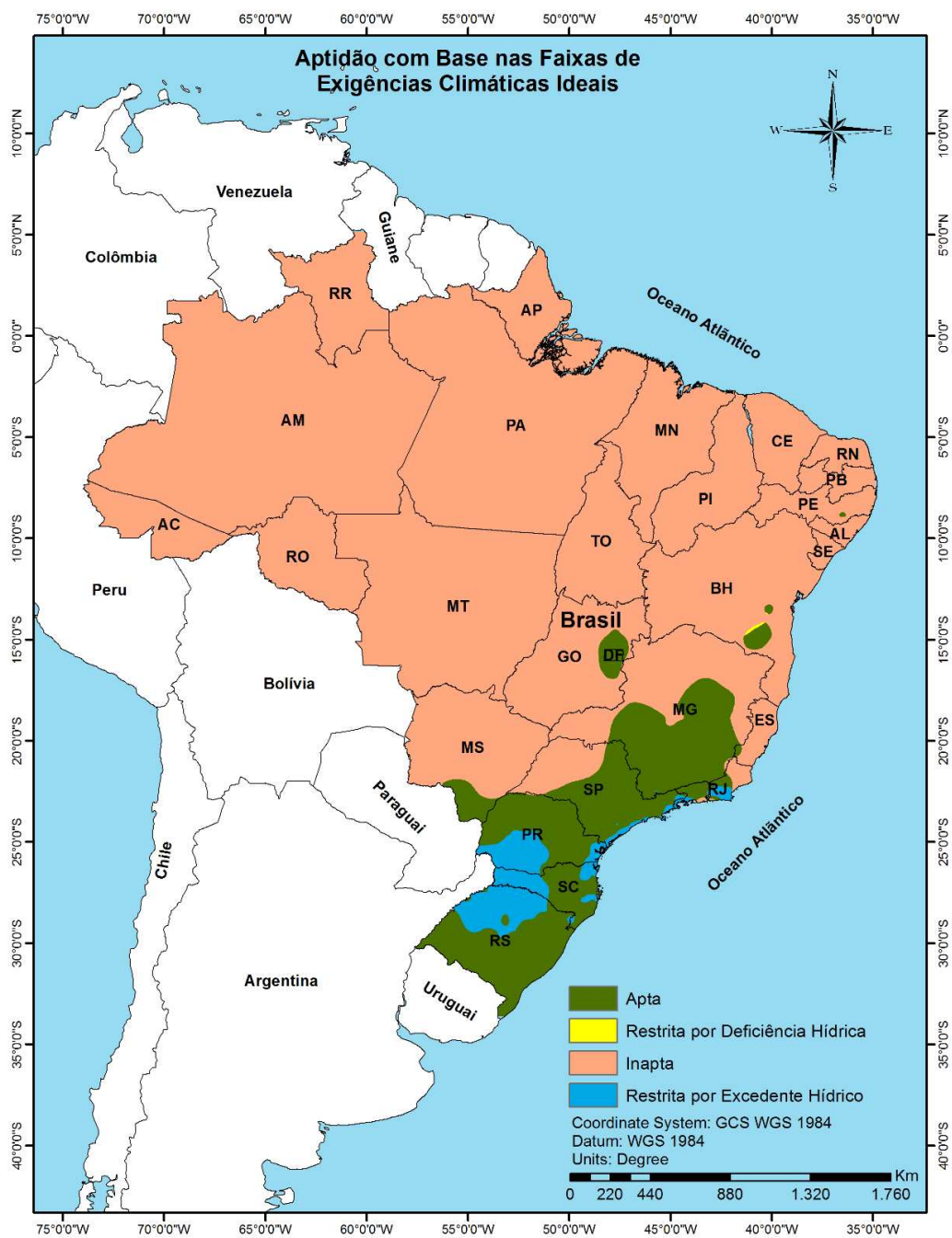


Figura 13. Zoneamento Agroclimático, mapa da aptidão climática do *Eucalyptus saligna* para o Brasil com base nas suas faixas ideais de exigências climáticas.

Tabela 3. Aptidão Agrícola do *Eucalyptus saligna* para o Brasil.

Áreas	Porcentagem (%)	Área (Km ²)
Apta	10,90	927925,25
Restrita por Deficiência Hídrica	0,02	1650,48
Inapta	86,78	7390132,55
Restrita Por Excedente Hídrico	2,30	196058,77

O *E. saligna* é indicado para locais com até oito geadas anuais (FAO, 1981), sendo este parâmetro estendido até 50 geadas quando se utilizam fontes de sementes de procedências da região meridional de ocorrência na Austrália.

A temperatura mínima absoluta que *E. saligna* suportou na China é de até -10°C (ARNOLD et al, 2004), exibindo boa tolerância ao frio. No entanto, vale ressaltar a ampla e significativa variação entre procedências geográficas. Daí a importância de se utilizar, na região em que se pretende realizar os plantios, fontes de sementes oriundas preferencialmente de populações desenvolvidas localmente.

Os 3 estados do Brasil com maior área apta climatologicamente para o cultivo do *E. saligna* são: Minas Gerais com 274.443,6022 km², seguido do Rio Grande do Sul com 202.187,5505 km² e São Paulo com 151.157,1663 km². Sendo, com 71,77% de seu território, o Rio Grande do Sul o estado com maior percentual de área apta entre os três e o restante, 28,23% de sua área é considerada restrita por excedente hídrico (Tabela 4).

O zoneamento agroclimático é uma ferramenta importante no planejamento de instalação de uma espécie, porém, devem ser observados outros fatores como a escolha do material genético.

Pode ser observado que a região sul do Brasil, compreendida pelos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, apresenta a maior área apta climatologicamente para o cultivo do *E. saligna*, o que justifica a escolha da região sul do Brasil para o estudo da estimativa produtividade potencial para esta espécie.

Tabela 4. Aptidão Agrícola do *Eucalyptus saligna* para o Brasil por estados.

Sigla	Área (Km ²)	Apta		Restrita por Deficiência Hídrica		Inapta		Restrita Por Excedente Hídrico	
		Percentagem (%)	Área (Km ²)	Percentagem (%)	Área (Km ²)	Percentagem (%)	Área (Km ²)	Percentagem (%)	Área (Km ²)
AC	164.123,74	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	164123,74	0,00	0,00
AL	27.848,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	27848,00	0,00	0,00
AM	1.559.148,89	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	1559148,89	0,00	0,00
AP	142.828,52	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	142828,52	0,00	0,00
BA	564.733,08	2,96	16736,98	0,29	1650,48	96,74	546345,62	0,00	0,00
CE	148.886,31	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	148886,31	0,00	0,00
DF	5.780,00	100,00	5780,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ES	46.096,93	4,32	1990,66	0,00	0,00	95,68	44106,26	0,00	0,00
GO	340.111,38	7,38	25113,93	0,00	0,00	92,62	314997,45	0,00	0,00
MA	331.936,95	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	331936,95	0,00	0,00
MG	586.519,73	46,79	274443,60	0,00	0,00	53,19	311954,98	0,02	121,15
MS	357.145,53	9,73	34767,07	0,00	0,00	90,27	322378,47	0,00	0,00
MT	903.378,29	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	903378,29	0,00	0,00
PA	1.247.954,32	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	1247954,32	0,00	0,00
PB	56.469,74	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	56469,74	0,00	0,00
PE	98.076,11	0,82	802,01	0,00	0,00	99,18	97274,10	0,00	0,00
PI	251.611,93	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	251611,93	0,00	0,00
PR	199.307,95	68,90	137317,30	0,00	0,00	0,29	585,38	30,81	61405,27
RJ	43.777,95	40,92	17915,58	0,00	0,00	36,56	16006,90	22,51	9855,47
RN	52.811,13	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	52811,13	0,00	0,00
RO	237.590,54	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	237590,54	0,00	0,00

Continua...

Continuação da Tabela 4...

Sigla	Área (Km ²)	Apta		Restrita por Deficiência Hídrica		Inapta		Restrita Por Excedente Hídrico	
		Percentagem (%)	Área (Km ²)	Percentagem (%)	Área (Km ²)	Percentagem (%)	Área (Km ²)	Percentagem (%)	Área (Km ²)
RR	224.303,19	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	224303,19	0,00	0,00
RS	281.731,45	71,77	202187,55	0,00	0,00	0,00	0,00	28,23	79543,89
SC	95.733,98	62,37	59713,41	0,00	0,00	0,00	0,90	37,62	36019,67
SE	21.918,49	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	21918,49	0,00	0,00
SP	248.222,36	60,90	151157,17	0,00	0,00	35,43	87951,88	3,67	9113,32
TO	277.720,57	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	277720,57	0,00	0,00

3.2. Regiões climaticamente homogêneas e produtividade potencial do *Eucalyptus saligna* para a região Sul do Brasil

O relevo da Região Sul do Brasil é formado basicamente por planaltos, que vão de leste até próximas ao litoral, e planícies no litoral e na porção Centro-Sul do estado do Rio Grande do Sul. A altitude varia de 0 a 1800 metros (Figura 14).

O clima predominante na região é o subtropical, exceto no norte do Estado do Paraná onde predomina o clima tropical. Porém, o clima na região sul apresenta grandes variações, sendo o responsável pelo registro das temperaturas mais baixas do Brasil no inverno. Os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, recebem maior influência das massas de ar frias do Polo Sul, e, portanto, apresentam predominância do clima subtropical úmido.

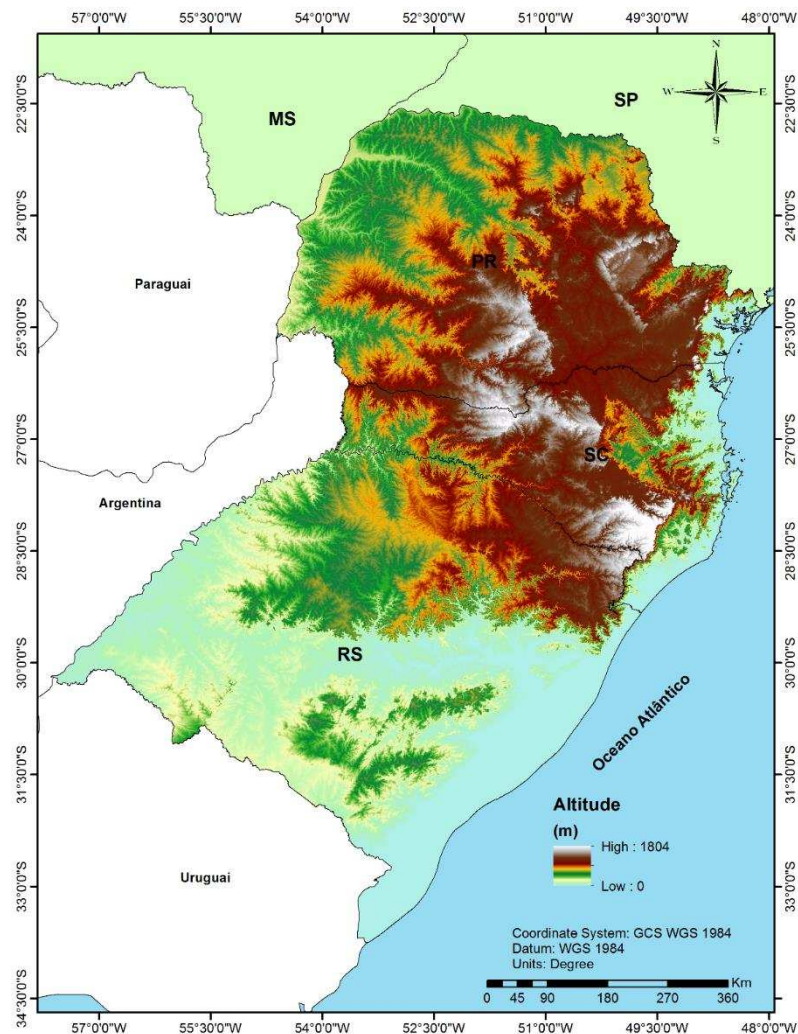


Figura 14. Altitude para a Região Sul do Brasil

Maiores médias de precipitação anual são observadas no sentido Centro-Oeste da Região Sul e litoral do estado do Paraná (Figura 15). Os menores valores de precipitação ocorrem nos extremos da Região Sul, norte do estado do Paraná e Sul do estado do Rio Grande do Sul.

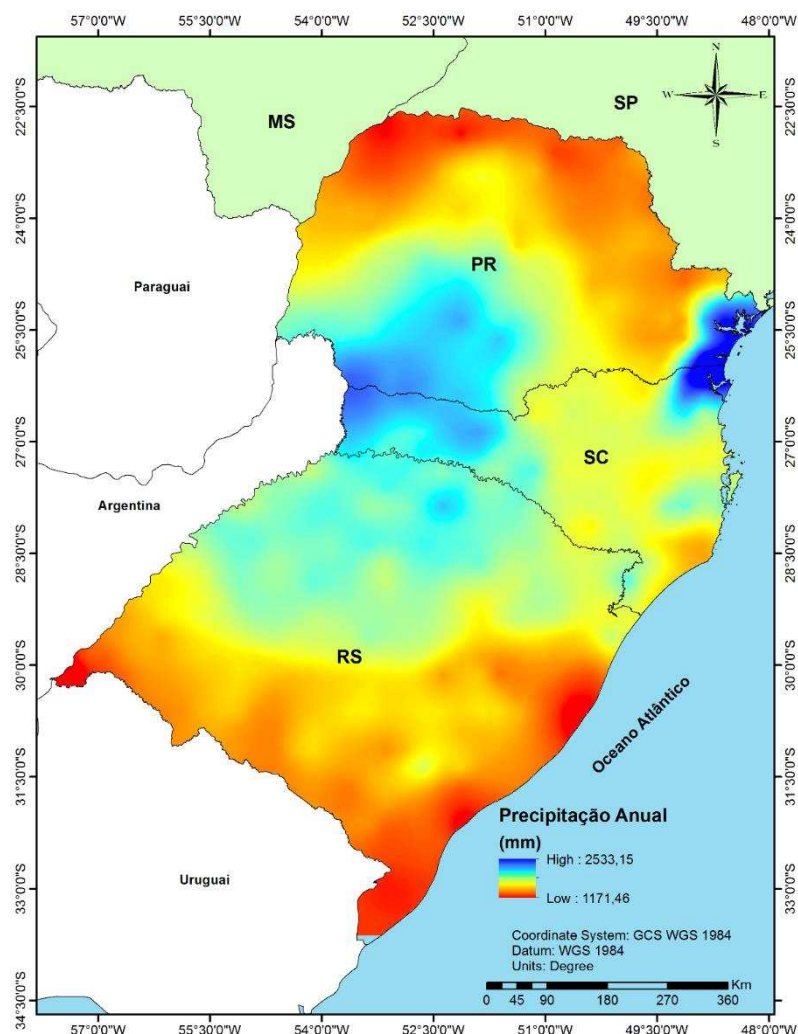


Figura 15. Precipitação anual média para a Região Sul do Brasil.

No norte do estado do Paraná também são observadas as maiores médias de temperatura do ar (Figuras 16 e 17). Já as menores médias para essa variável ocorrem nas regiões com altitude elevada. Vários estudos mostram que a temperatura do ar é influenciada pela altitude (BORA et al., 2016; MEDEIROS et al., 2015; GOMES et al., 2014; WREGGE et al., 2011; BARDIN et al., 2010; ANTONINI et al., 2009; CARGNELUTTI FILHO et al., 2008; MEDEIROS et al., 2005; PEZZOPANE et al.; 2004), assim como observado nesse trabalho. Em estudo realizado por Vanhoni e Mendonça (2008), observaram valores menores de temperatura do ar média nas regiões

mais elevadas no litoral paranaense. Cargnelutti Filho et al. (2008), verificaram correlação negativa da temperatura do ar em relação à altitude e latitude, em trabalho referente a dados de temperatura do ar de 41 municípios do Estado do Rio Grande do Sul.

A umidade relativa do ar diminui com o distanciamento do litoral da Região Sul (Figura 18).

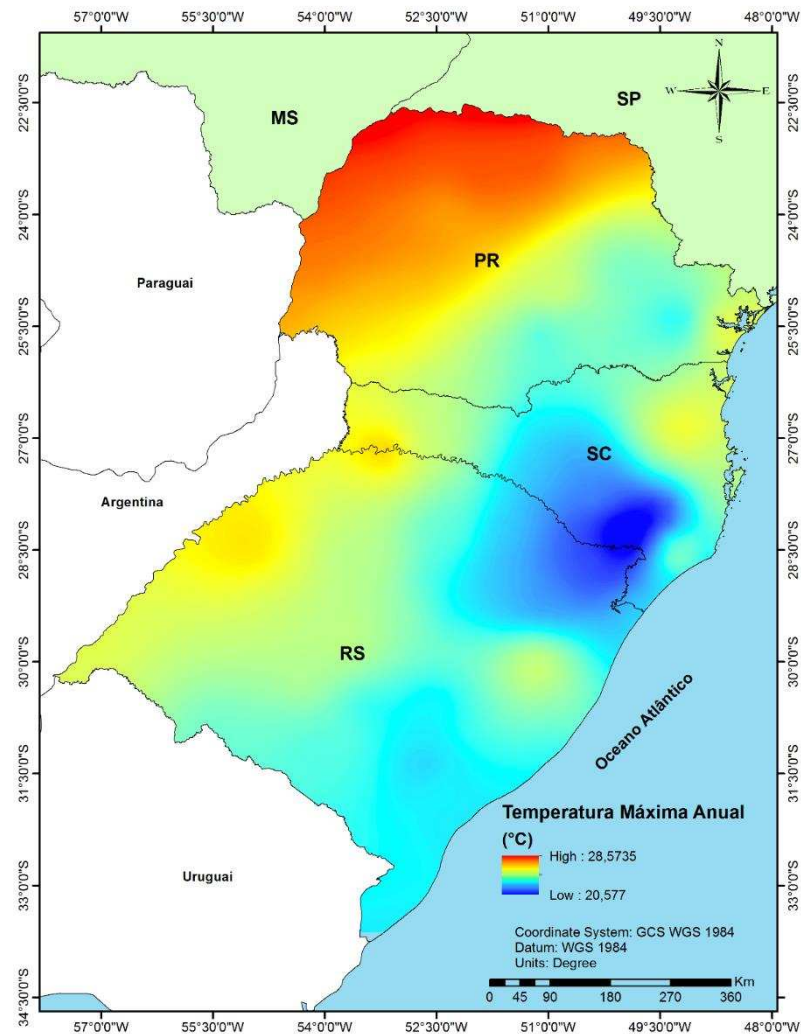


Figura 16. Temperatura máxima do ar média anual para a Região Sul do Brasil.

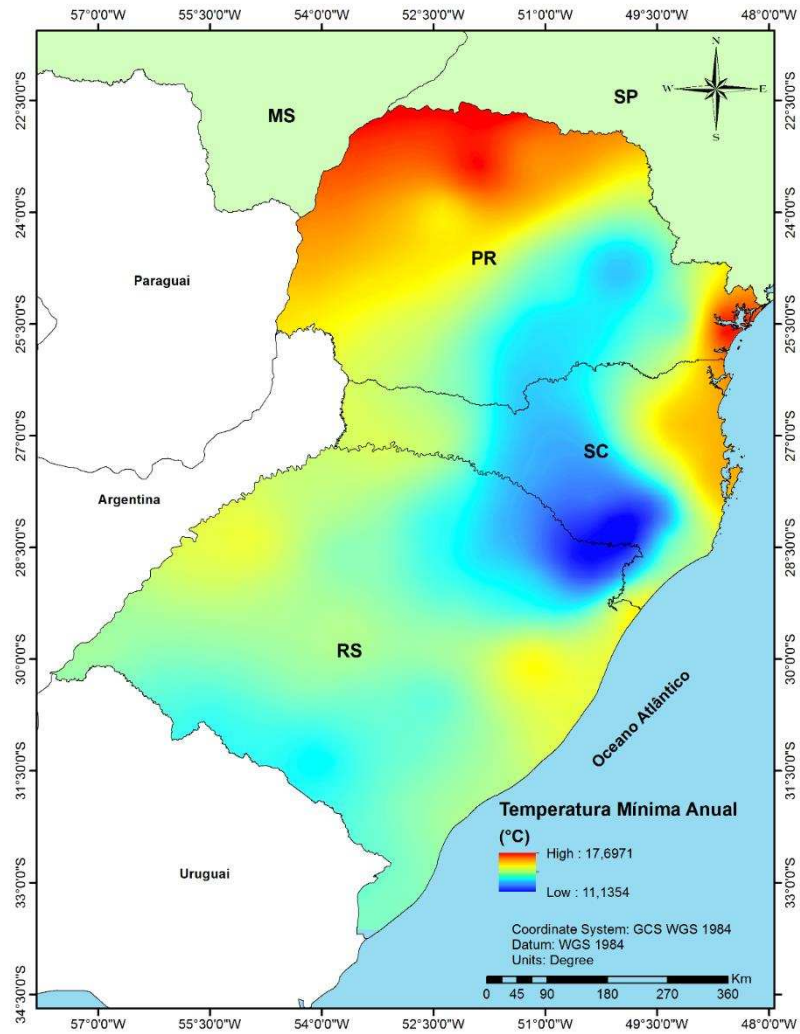


Figura 17. Temperatura mínima do ar média anual para a Região Sul do Brasil.

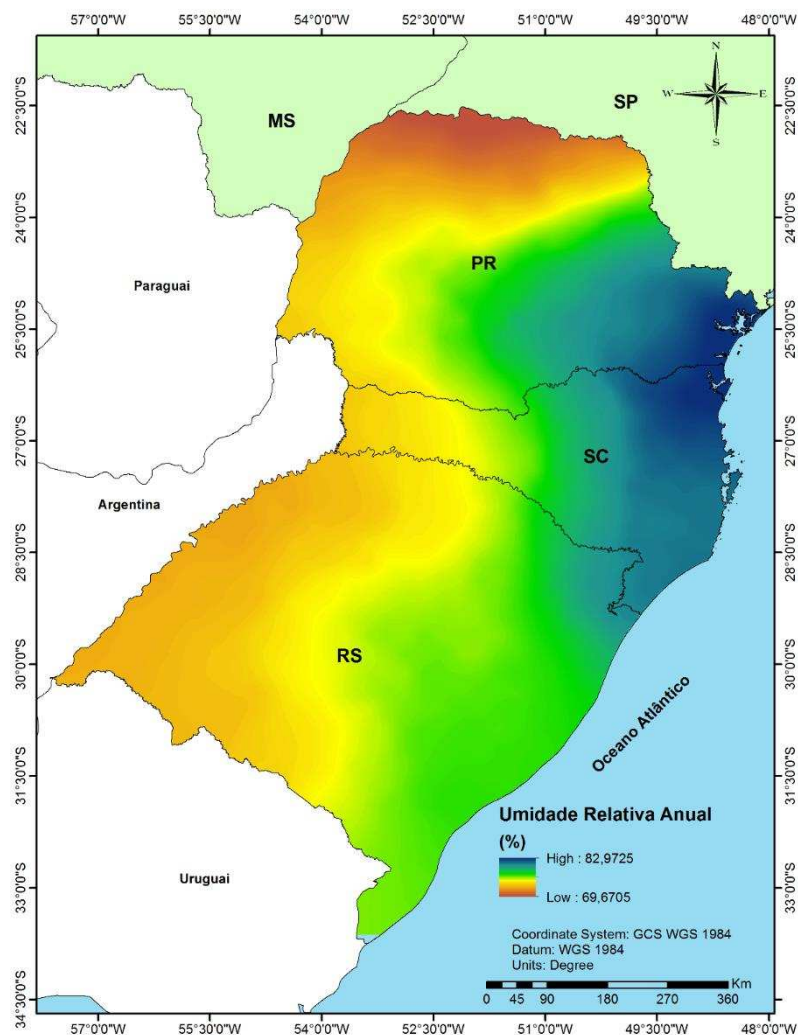


Figura 18. Umidade relativa do ar média anual para a Região Sul do Brasil.

Para a estatística de evolução de grupos utilizando os critérios de Davies-Bouldin, o número de grupos máximo é definido arbitrariamente e testado até que o menor valor Davies-Bouldin não seja o do maior número de grupo, haja vista que o critério de escolha do número ideal de grupos é aquele onde o valor de Davies-Bouldin é o menor. Com base nos dados utilizados, o número ideal de grupos climáticos segundo o critério de evolução de valores de Davies-Bouldin, foram nove grupos pois foi o número de grupos que apresentou menor valor de Davies-Bouldin sendo este 0,491377 (Figura 19).

A distribuição espacial dos nove grupos climáticos encontrados para a Região Sul do Brasil pode ser visualizada na figura 20. O grupo 7 apresenta a maior altitude da Região Sul e, conseqüentemente, são observadas as menores médias de temperatura do ar (Figura 20 e Tabela 5).

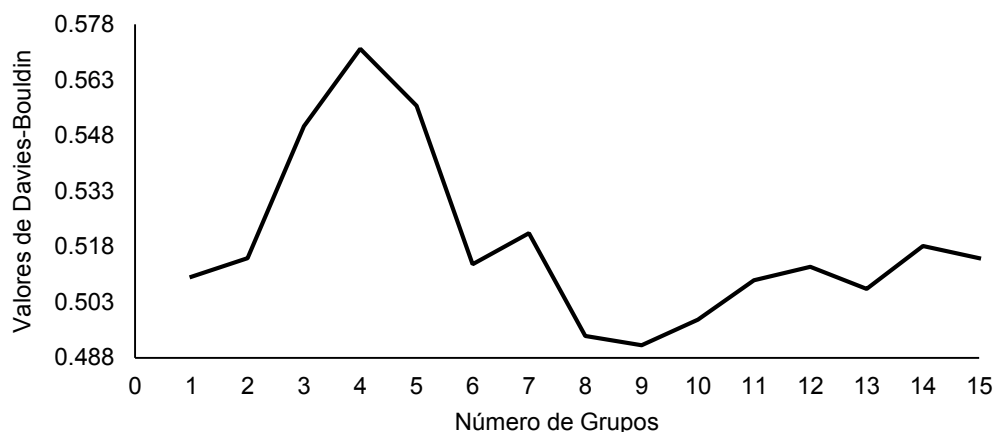


Figura 19. Valores de Davies-Bouldin em função do número de grupos climáticos.

No grupo 3 ocorrem as menores altitudes, ocupando uma faixa ao longo de todo o litoral da Região Sul do Brasil (Figura 20 e Tabela 5). Contudo, essa faixa é mais estreita nos Estados do Paraná e de Santa Catarina, onde as maiores altitudes próximo ao litoral influenciaram na delimitação de outros grupos climáticos (grupos 6; 7 e 9).

O grupo 4, assim como o grupo 3, também está em uma região de planícies (Figura 20 e Tabela 5). Porém, o primeiro está no interior do continente o que diminui as médias de umidade relativa do ar e aumenta a amplitude térmica (maiores médias de temperatura máxima e menores de temperatura mínima).

Os maiores valores de precipitação anual são observados nos grupos 5 e 8 (Figura 11 e Tabela 5). Contudo, o segundo apresenta altitudes menos elevadas e maiores médias de temperatura do ar.

No grupo 2 observa-se as maiores médias de temperatura do ar (Figura 20 e Tabela 5). Próximo ao mesmo, no entanto, com maiores altitudes, nota-se os grupos 1 e 9, que se diferenciam pelas maiores médias de precipitação anual do último.

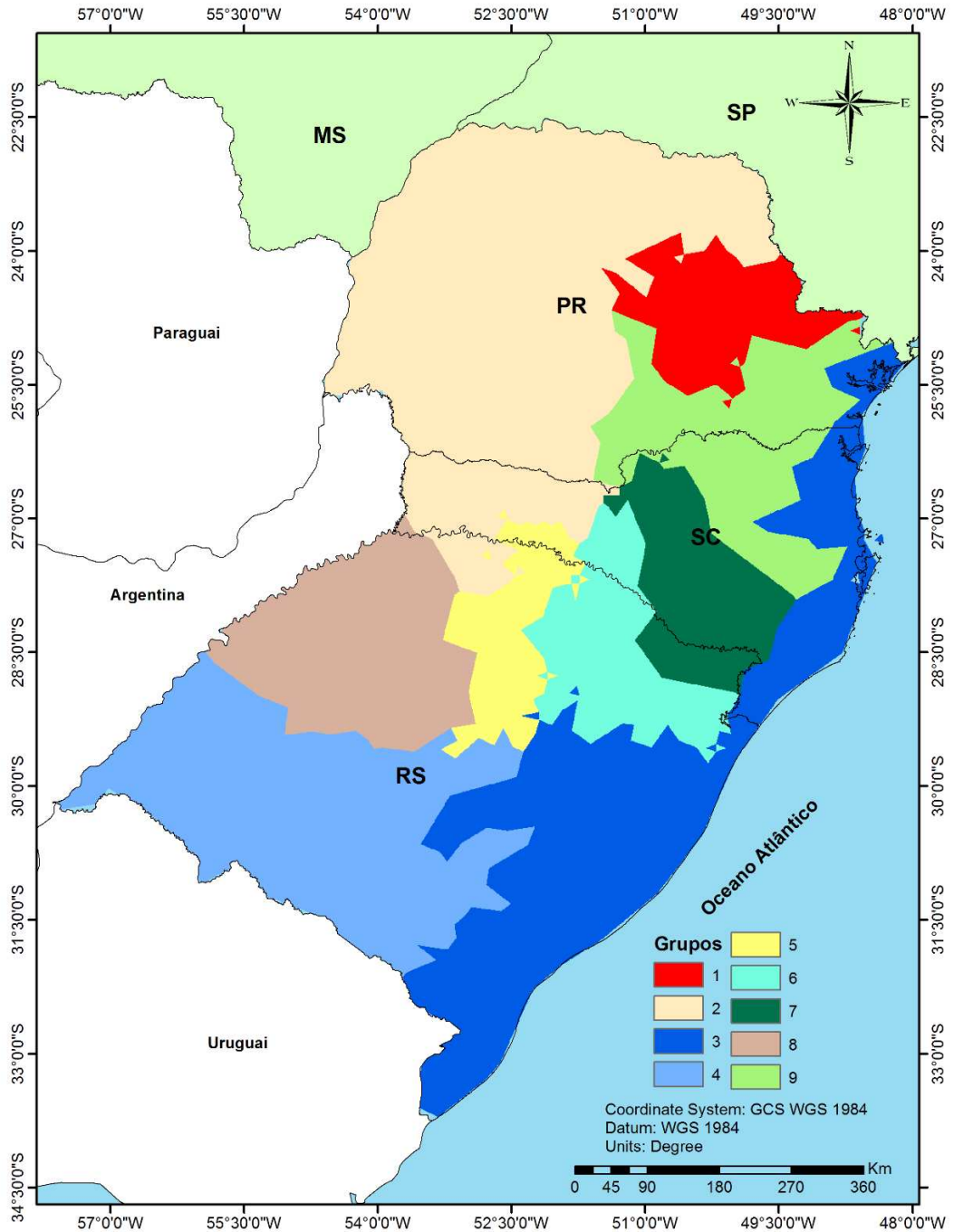


Figura 20. Regiões climaticamente homogêneas para a Região Sul do Brasil.

Lopes et al. (2007) observaram seis regiões pluviometricamente homogêneas para o Estado do Rio Grande do Sul. Essas regiões são muito semelhantes aquelas observadas nesse estudo.

De acordo com Fritzsons et al. (2010), a relação direta entre altitude com a temperatura do ar, como observado nesse estudo, é especialmente importante em regiões tropicais e subtropicais, onde uma diferença na altitude

de algumas centenas de metros provoca mudanças sensíveis no clima, no solo, na vegetação natural e, conseqüentemente, na adaptação das espécies e uso da terra.

As estimativas de volume, incremento médio anual (IMA), diâmetro a altura do peito (DAP) e altura pelo Modelo 3-PG (Figuras 21 a 24) se comportam de forma semelhante, com maiores produtividades (maiores valores de volume, IMA, altura e diâmetro) no litoral dos Estados do Paraná e Santa Catarina e na porção Centro-Oeste da Região Sul.

De maneira geral, as regiões mais produtivas (Figuras 21 a 24) são as áreas com maior precipitação (Figura 15), como por exemplo nos grupos 5 e 8 (Figura 20 e Tabela 5).

A redução da precipitação juntamente com os extremos de temperatura do ar influenciaram de forma negativa na produtividade. Esse fato pode ser observado no norte do Estado do Paraná (parte do grupo 2), onde nota-se os menores valores de precipitação e maiores valores de temperatura do ar, e Sul do estado do Rio Grande do Sul (grupo 4 e parte do grupo 3), em que também verifica-se os menores valores de precipitação (Figura 15), porém as menores médias de temperatura do ar.

Regiões com altitudes elevadas, como observado nos grupos 1, 7 e 9 (Figura 20 e Tabela 5) também reduziram a produtividade do *Eucalyptus saligna* na Região Sul do Brasil.

Tabela 5. Variabilidade estatística das variáveis utilizadas para gerar as regiões climaticamente homogêneas para a Região Sul do Brasil.

Grupo	Altitude (m)			
	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
1	847,0141	158,2316	121	1275
2	579,1758	237,5183	172	1365
3	95,6104	141,3228	0	1148
4	164,377	88,557	20	550
5	561,4075	107,968	256	861
6	729,3587	160,0971	232	1138
7	1025,5871	167,17	464	1754
8	320,1465	122,4819	58	601
9	808,8332	176,5445	133	1620
Grupo	Precipitação (mm)			
	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
1	1539,4172	78,2946	1399,7	1751,03
2	1723,4826	247,782	1290,53	2166,84
3	1560,7691	217,621	1243,37	2524,9
4	1554,7191	103,9828	1172,81	1841,56
5	1876,3321	64,7531	1681,32	2024,2
6	1793,5724	77,1245	1608,23	1964,06
7	1706,2643	41,4413	1616,74	1885,25
8	1846,7625	43,6552	1690,82	2005,17
9	1705,415	151,2858	1473,83	2486,43
Grupo	Umidade Relativa (%)			
	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
1	79,4385	1,4816	74,8998	81,7824
2	74,7456	1,8497	69,7987	79,5455
3	78,3266	2,0401	75,7802	82,9676
4	74,8287	1,0562	73,4078	77,2527
5	75,59	0,5066	74,3002	76,6136
6	77,3768	1,3088	75,2473	80,7363
7	79,625	1,0114	76,6283	81,1758
8	74,3652	0,7886	73,3575	76,3297
9	80,7745	1,2246	76,9169	82,9361
Grupo	Temperatura Máxima do Ar (°C)			
	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
1	24,7221	0,6162	23,9165	26,7738
2	26,5408	1,1864	23,5665	28,5566
3	23,9075	0,6536	21,783	25,6906
4	24,497	0,6471	23,243	25,9076
5	24,1395	0,3908	23,3386	25,3264
6	22,9821	0,4271	21,8178	23,9777
7	22,3075	0,795	20,5775	23,8253
8	25,3735	0,5211	24,1621	26,2341
9	24,1953	0,4876	22,3716	25,631

Continua ...

Continuação da tabela 5.

Grupo	Temperatura Mínima do Ar (°C)			
	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
1	13,7762	0,6236	12,947	15,8241
2	15,5151	1,1119	12,9605	17,6692
3	14,5517	0,8045	12,288	17,3914
4	13,9623	0,3481	13,3893	14,9332
5	13,7775	0,3015	13,0775	14,6801
6	13,0921	0,492	11,6293	14,9583
7	12,2761	0,5845	11,1377	13,4636
8	14,5132	0,3378	13,7521	15,1321
9	14,0481	0,8585	12,9398	17,2428

A altitude e a temperatura do ar foram os fatores climáticos que mais influenciaram na delimitação das áreas mais ou menos produtivas. Vários estudos mostram que a produção de biomassa é reduzida em regiões com menor disponibilidade hídrica (SANTANA et al., 2008; STAPE et al. 2004; SANTANA et al., 2002). A temperatura do ar também é uma das variáveis que mais interferem no desenvolvimento das plantas (LUCAS et al., 2012), interferindo diretamente em muitos processos fisiológicos que ocorrem nas mesmas (MEDEIROS et al., 2005).

Schumacher et al. (2011), estudando povoamentos de *Eucalyptus* spp. encontraram valores de DAP, altura total e volume de madeira sem casca, respectivamente, 13,2 cm; 28,6 m e 370,6 m³ha⁻¹ aos 8 anos. Esses valores são muito inferiores aqueles estimados nesse estudo para o mesmo local. Esse fato pode estar relacionado com as condições de manejo diferentes daquelas consideradas no modelo.

Londero et al. (2015), avaliando a produtividade de *Eucalyptus saligna* na região de Guaíba – RS, observou valores de volume de 432 m³ha⁻¹ aos 7 anos, valor esse semelhante aos 452 m³ha⁻¹ aos 8 anos estimados nesse trabalho. Santana et al. (1999) encontraram 184 a 504 m³ha⁻¹ de volume de madeira para *E. saligna* de diferentes procedências em diferentes locais de plantio.

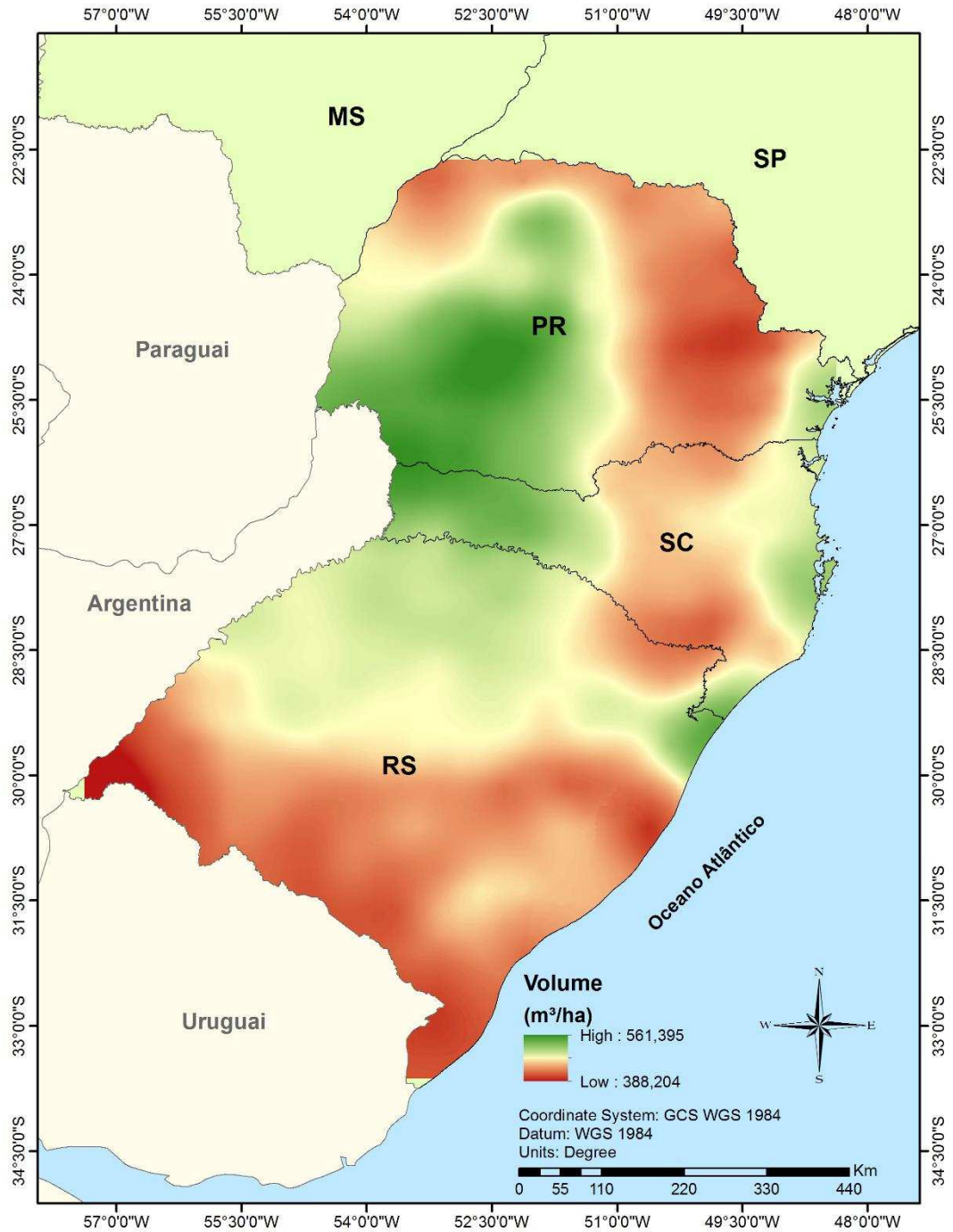


Figura 21. Estimativa do volume para *Eucalyptus saligna* na Região Sul do Brasil.

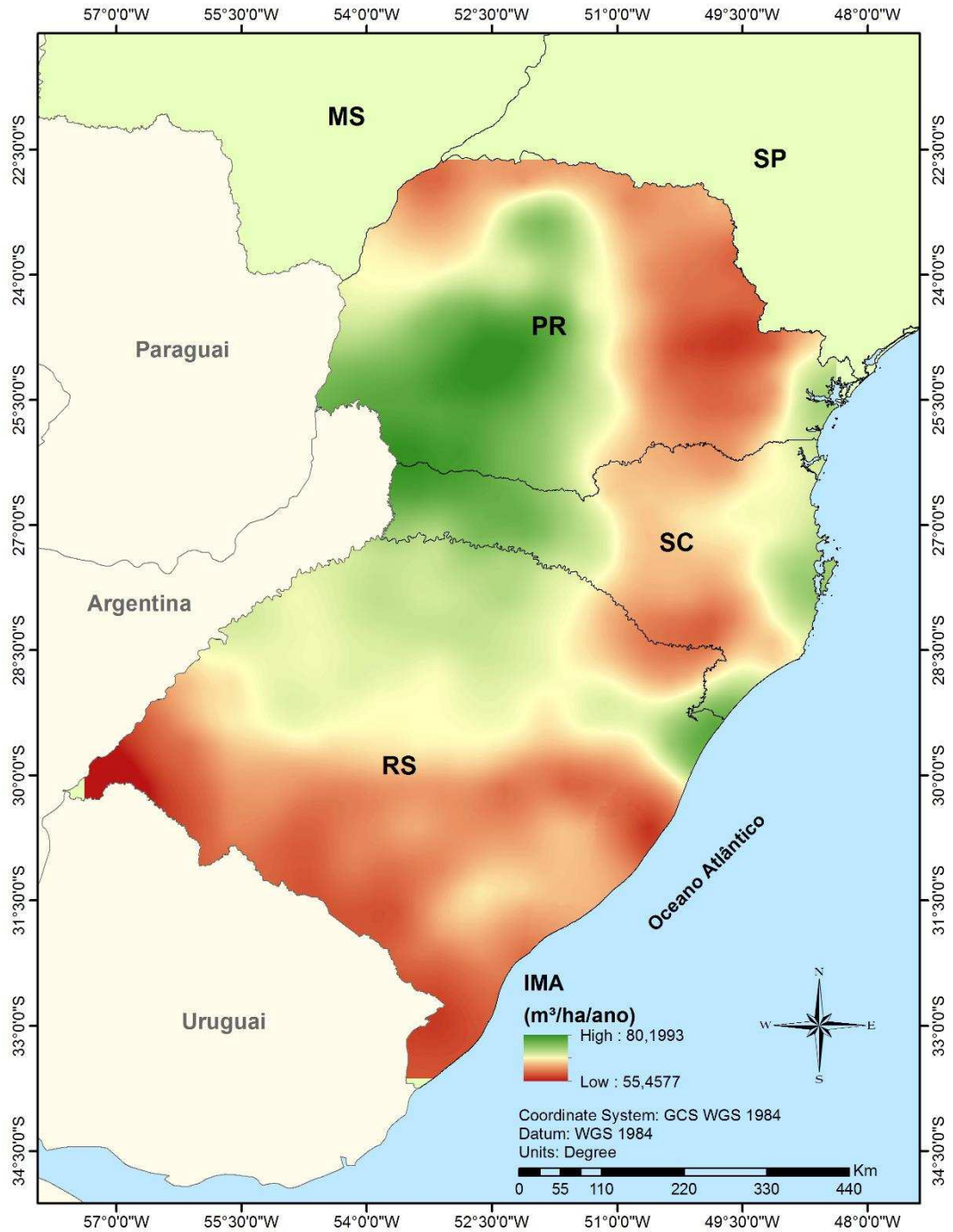


Figura 22. Estimativa do incremento médio anual (IMA) para *Eucalyptus saligna* na Região Sul do Brasil.

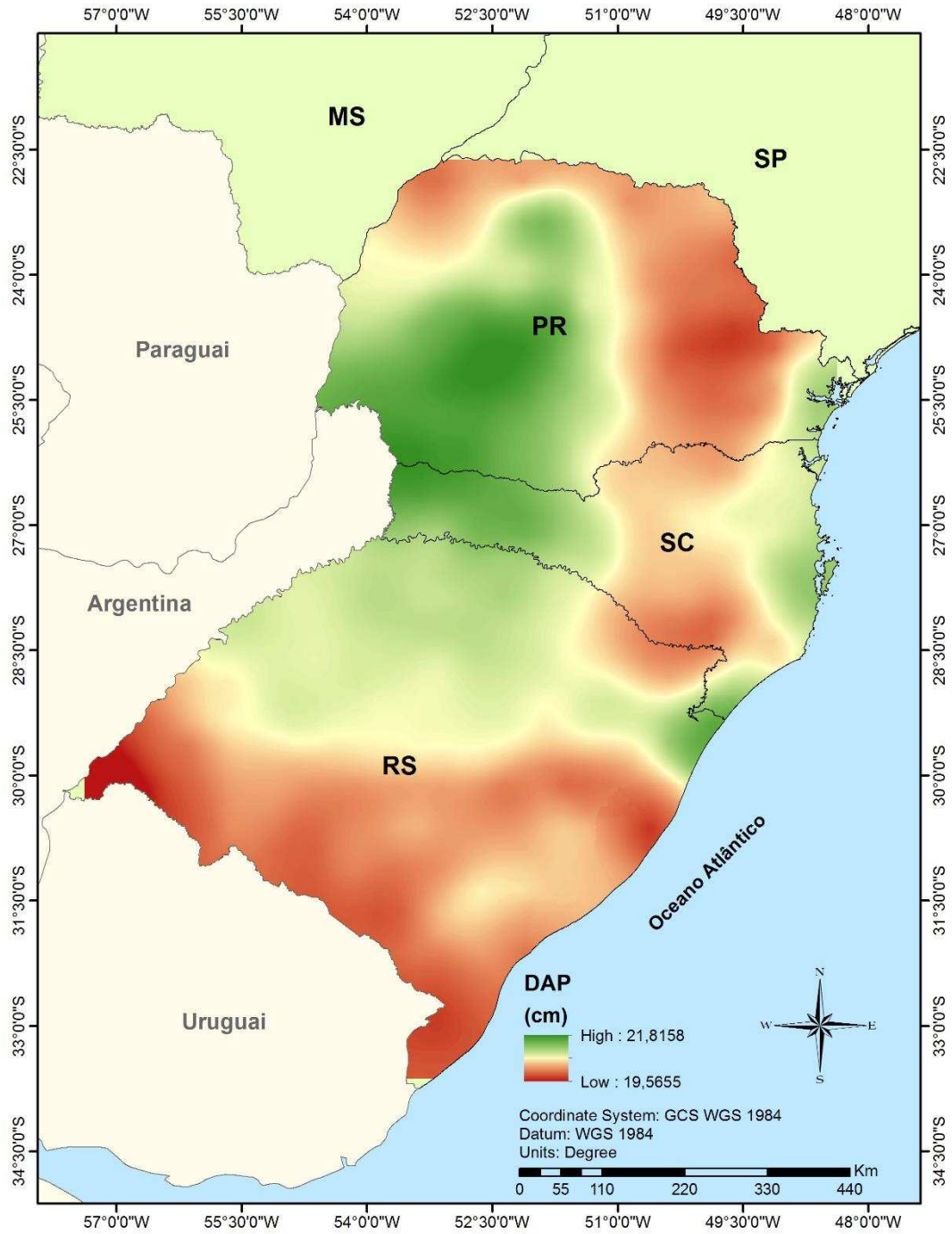


Figura 23. Estimativa do diâmetro a altura do peito (DAP) para *Eucalyptus saligna* na Região Sul do Brasil.

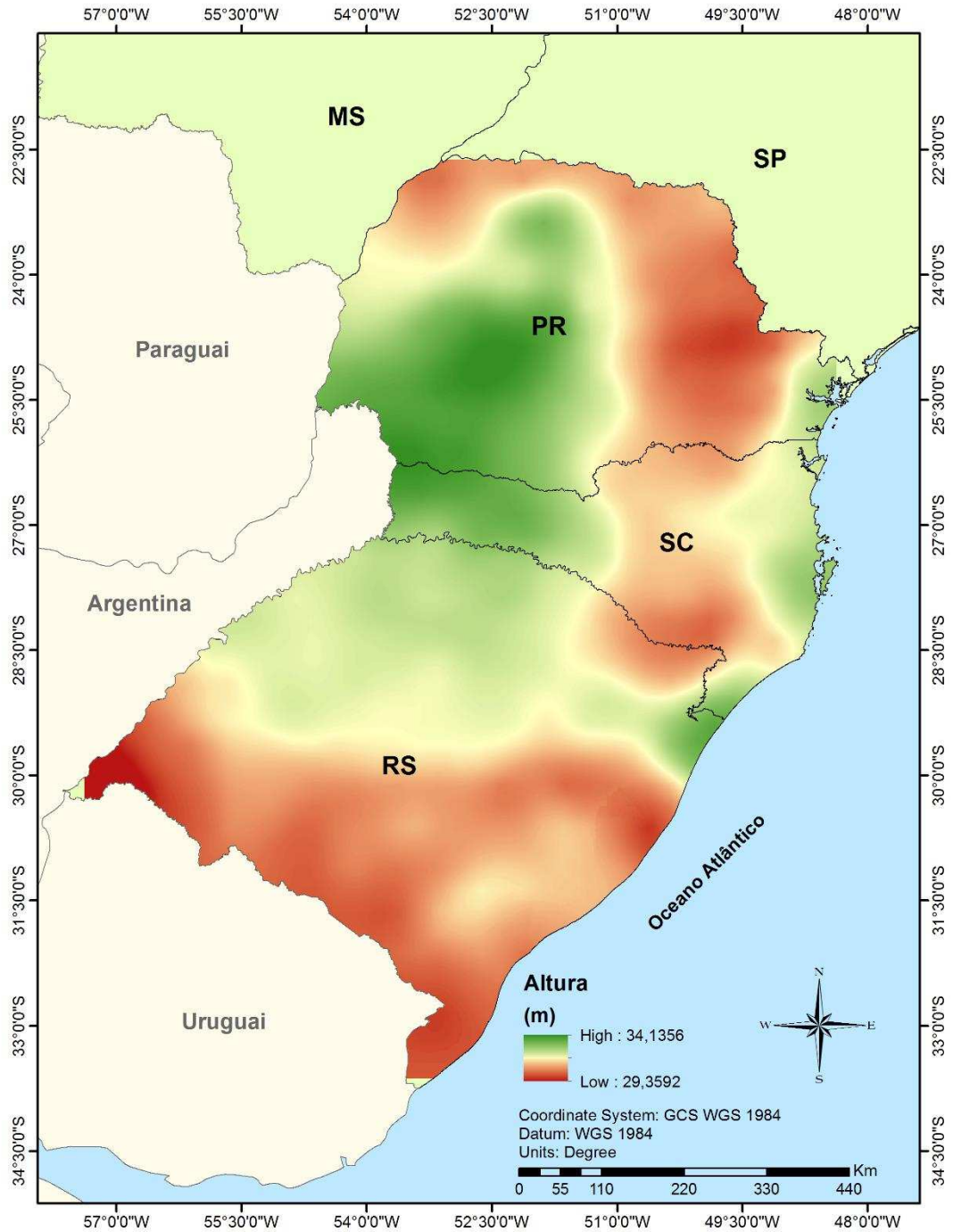


Figura 24. Estimativa da altura para *Eucalyptus saligna* na Região Sul do Brasil.

4. CONCLUSÃO

A técnica de agrupamento possibilitou distinguir 9 regiões climáticas para a Região Sul do Brasil.

As estimativas do modelo 3-PG apontam para maiores produtividades do *Eucalyptus saligna* na porção Centro-Oeste da Região Sul e no litoral dos Estados do Paraná e Santa Catarina.

A altitude e a temperatura do ar foram os fatores climáticos que mais influenciaram na delimitação das áreas mais ou menos produtivas para a região sul do Brasil.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D. et al. Crop evapotranspiration. Rome: FAO, 1998. 297p (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, [S.l.], v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; BARROS, A. H. C.; SILVA, C. O.; GOMES, A. A. N. Classificação climática e regionalização do semiárido do Estado do Piauí sob cenários pluviométricos distintos. Revista Ciência Agronômica, v. 36, pp. 143-151, 2005.
- ANDRADE, E. N. O eucalipto. 2 ed., Jundiaí: CPEF. 664 p. 1961.
- ANDRÉ, R. G. B.; MARQUES, V.S.; PINHEIRO, F. M.A.; FERRAUDO, A.S. Identificação de regiões pluviometricamente homogêneas no estado do Rio de Janeiro, utilizando valores mensais. Revista Brasileira de Meteorologia, v.23, p.501-509, 2008.
- ANTONINI, J.C.A.; SILVA, E.M.; OLIVEIRA, L.F.C.; SANO, E.E. Modelo matemático para estimativa da temperatura média diária do ar no Estado de Goiás. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.44, n.4, p.331-338, 2009.
- ARNOLD, R. J.; CLARKE, B.; LUO, J. Trials of cold-tolerant eucalypt species in cooler regions of South Central China. Canberra: ACIAR Technical reports, 57.106 p. 2004.
- BAESSO, R. C. E. Efeito do CO₂ na eficiência quântica do eucalipto e sua utilização na modelagem de seu crescimento pelo 3-PG. 2012. 130 f. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa.
- BARDIN, L.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; MORAES, J. F. L. Estimativa das temperaturas máximas e mínimas do ar para a região do Circuito das Frutas, SP. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n.6, p.618–624, 2010.
- BERGER, R. et al., Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. Ciência Florestal, v.12, n.2, p.75-87, 2002.

BOOTH, T. H.; PRYOR, L. D. Climatic requirements of some commercially important eucalypt species. *Forest Ecology and Management*, v. 43, n. 1-2, p. 47-60, 1991.

BORA, K. C.; BRITO, G. S.; AUER, C. G.; SANTOS, A. F.; WREGE, M. S. Favorabilidade climática para a ferrugem do eucalipto no estado do Paraná. *Summa Phytopathol., Botucatu*, v. 42, n. 1, p. 24-42, 2016.

BOSCHI, R.S.; OLIVEIRA, S.R.M.; ASSAD, E.D. Técnicas de mineração de dados para análise pluvial decenal do Rio Grande do Sul. *Engenharia Agrícola*, v.31, p.1189-1201, 2011.

CARGNELUTTI FILHO, A.; MALUF, J. R. T.; MATZENAUER, R. Coordenadas geográficas na estimativa das temperaturas máxima e média decendiais do ar no Estado do Rio Grande do Sul. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.38, n.9, p.2448-2456, dez, 2008.

CARVALHO, L. G. de; OLIVEIRA, M. S. de; ALVES, M. C.; VIANELLO, R. L.; SEDIYAMA, G. C.; CASTRO NETO, P.; DANTAS, A. A. A. Clima. In: SCOLFORO, J. R. S; CARVALHO, L. M. T.; OLIVEIRA, A. D. (Org.). *Zoneamento ecológico-econômico do Estado de Minas Gerais: componentes geofísico e biótico*. Lavras: UFLA, p. 89-102, 2008.

CASTRO, F. S.; PEZZOPANE, J. E. M.; CECILIO, R. A.; PEZZOPANE, J. R. M.; XAVIER, A. C. Avaliação do desempenho dos diferentes métodos de interpoladores para parâmetros do balanço hídrico climatológico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.14, n.8, p.871-880, 2010.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. *Irriga*, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1-11, janeiro-março, 2009.

DAVIES, D. L.; BOULDIN, D. W. "A Cluster Separation Measure." *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. v. PAMI-1, nº. 2, p. 224–227, 1979.

DOURADO, C. S.; OLIVEIRA, S. R. M.; AVILA, A. M. H. Análise de zonas homogêneas em séries temporais de precipitação no Estado da Bahia. *Bragantia*, Campinas, v. 72, n. 2, p.192-198, 2013.

ECHEVERRÍA et al., 2006 GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba: IPEF, 427 p., 2002.

FAO. El eucalipto en la repoblacion forestal. Roma, 723 p. 1981.

FARR, T.G.; KOBRICK, M. Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data. *EOS (Transactions, American Geophysical Union)*, v.81, p.583-585. 2000.

FEARNSIDE, P. M. Plantation forestry in Brazil: projection to 2050. *Biomass and Bioenergy*, v. 15, n. 6, p. 437-450, 1998.

FEARNSIDE, P. M. Plantation forestry in Brazil: the potential impacts of climatic change. *Biomass and Bioenergy*, v. 16, n. 2, p. 91-102, 1999.

FERNANDES, A. L. T; FLORÊNCIO, T. de M; FARIA, M. F. de. Análise biométrica de florestas irrigadas de eucalipto nos cinco anos iniciais de desenvolvimento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande-PB v.16, n.5, p.505–513, 2012

FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L. E.; WREGGE, M. S. Mapa de unidades climáticas para o Estado do Paraná para uso florestal. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 30, n. 62, p. 129-145, 2010.

GOMES, D. P.; CARVALHO, D. F.; OLIVEIRA NETO, D. H.; SANTOS, C. A. B. Estimativa da temperatura do ar e da evapotranspiração de referência no estado do Rio de Janeiro. *Irriga*, Botucatu, v. 19, n. 2, p. 302-314, abril-junho, 2014.

GONÇALVES, J. L. M.; ALVARES, C. A.; HIGA, A. R.; SILVA, L. D.; ALFENAS, A. C.; STAHL, J.; FERRAZ, S. F. B.; LIMA, W. P.; BRANCALION, P. H. S.; HUBNER, A.; BOUILLET, J-P.; LACLAU, J-P.; NOUVELLON, Y.; EPRON, D. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 301, n. 1, p. 6 - 27, 2013.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. Relatório 2015. Ano base 2014. Brasília, 2015.

JOVANOVIC, T.; BOOTH, T. Improved species climatic profiles: a report for the RIRDC/L&W Australia/FWPRDC/MDBC Joint Venture Agroforestry Program. 2002. (RIRDC Publication, n. 02/095). Disponível em: <<http://www.rirdc.gov.au/reports/AFT/02-095.pdf>>. Acesso em: 14 jun. 2015.

KELLER FILHO, T.; ASSAD, E. D.; LIMA, P. R. S. R. Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.40, n.4, p.311-322, abr. 2005.

KLIPPEL, V. H. Modelagem ecofisiológica de cultivos de eucalipto em Regiões Subtropicais do Brasil. 2015. 100 f. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2015.

KLIPPEL, V. H.; PEZZOPANE, J. E. M.; PEZZOPANE, J. R. M.; CECÍLIO, R. A.; CASTRO, F. S.; PIMENTA, L. R. Zoneamento agroclimático para teca, cedro australiano, nim indiano e pupunha no estado do Espírito Santo. *Floresta*, Curitiba, PR, v. 43, n. 4, p. 671 - 680, 2013.

LAMPRECHT, H. *Silvicultura nos trópicos*. [s.l.]: Eschborn, 343 p., 1990.

LANDSBERG, J. J.; WARING, R. H. A generalized model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. *Forest Ecology and Management*, v. 95, p. 209-228, 1997.

LANDSBERG, J.; SANDS, P. *Physiological ecology of forest production: principles, processes, and models*. Amsterdam: Elsevier. Academic Press, ed. 1, v.4, 331 p., 2011.

LARCHER, W. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: RiMa, 550 p., 2006.

LIMA, E. A.; SILVA, H. D.; LAVORANTI, O. J. Caracterização dendroenergética de árvores de *Eucalyptus benthamii*. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 31, n. 65, p. 09-17, 2011.

LITTON, C.M.; RAICH, J.W.; RYAN, M.G. Carbon allocation in forest ecosystems (review article). *Global Change Biology*, Oxford, v. 13, p. 2089-2109, 2007.

- LONDERO, E. K.; SCHUMACHER, M. V.; SZYMCZAK, D. A.; ARAÚJO, E. F. Calibração do modelo 3-PG para *Eucalyptus saligna* Smith na região de Guaíba – RS. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 25, n. 2, p. 293-305, 2015.
- LOPES, F. Z.; DINIZ, G. B.; MARQUES, J. R. Relação entre o Multivariate Enso Index (MEI) e a TSM das Regiões dos Niños com a Precipitação em Regiões Homogêneas do Estado do Rio Grande do Sul. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, v. 30, n. 2, p. 11-22, 2007.
- LUCAS, D.D.P.; STRECK, N.A.; BORTOLUZZI, M.P.; TRENTIN, R.; MALDANER, I.C. Temperatura base para emissão de nós e plastocrono de plantas de melancia. *Revista Ciência Agronômica*, v.43, n.2, p.288-292, 2012.
- MARCHIORI, J. N. C.; SOBRAL, M. Dendrologia das Angiospermas – myrtales. Santa Maria: Ed. UFSM, 213-241 p., 1997.
- MATLAB-MATHWORKS. Matlab 11 R13. Boston: MathWorks, 2011. (Software).
- MEDEIROS, R. M.; FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D.; SILVA, L. L.; BANDEIRA, M. M. Variabilidade da temperatura média do ar no Estado da Paraíba-Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* Vol. 08 N. 01 (2015) 128-135.
- MEDEIROS, S. de S.; CECÍLIO, R.A.; MELO JÚNIOR, JÚLIO C.F. de; SILVA JUNIOR, J.L.C. da. Estimativa e espacialização das temperaturas do ar mínimas, médias e máximas na Região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, n.2, p. 247-255, 2005.
- MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. Climatologia: noções básicas e climas no Brasil. São Paulo: Oficina de textos, 2007. 206 p.
- PEREIRA, A R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.
- PEZZOPANE, J.E.M.; SANTOS, E.A.; ELEUTÉRIO, M.M.; REIS, E.F. dos; SANTOS, A.R. Espacialização da temperatura do ar no Estado do Espírito Santo. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.12, n.1, p.151-158, 2004.

PINTO, A. M.; INOUE, M. T.; NOGUEIRA, A. C. Conservação e vigor de sementes de pau-de-balsa (*Ochroma pyramidale*). *Acta Amazônica*, v. 34, n. 2, p. 233-236, 2004.

PREVEDELLO, J.; VOGELMANN, E. S.; KAISER, D. R.; FONTANELA, E.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Agregação e matéria orgânica de um argissolo sob diferentes preparos do solo para plantio de Eucalipto. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 34, n. 78, p. 149-158, 2014.

REIS, M. G. dos; RIBEIRO, A.; BAESSO, R. C. E.; SOUZA, W. G.; FONSECA, S.; LOOS, R. A. Balanço hídrico e de energia para plantios de eucalipto com cobertura parcial do solo. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 117-126, 2014.

ROLIM, G. S.; CAMARGO, M. B. P.; LANIA, D. G.; MORAES, J. F. L. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o Estado de São Paulo. *Bragantia*, v. 66, pp. 711-720, 2007.

SANDS, P. J.; LANDSBERG, J. J. Parameterisation of 3-PG for plantation grown *Eucalyptus globulus*. *Forest Ecology and Management*, v. 163, p. 273-292, 2002.

SANTANA, R. C. et al., Biomassa e conteúdo de nutrientes de procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em alguns sítios florestais do Estado de São Paulo. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n. 56, p. 155-169, dez. 1999.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; LEITE, H. G.; COMERFORD, N. B.; NOVAIS, R. F. Estimativa de biomassa de plantios de eucalipto no Brasil. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.32, n.4, p.697-706, 2008.

SANTANA, R.C.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Eficiência nutricional e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais do estado de São Paulo. *Revista Árvore*, Viçosa- MG, v.26, n.4, p. 447-457, 2002.

SANTOS, G. A.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, L. D.; HIGA, A.; ASSIS, T. F. Adaptabilidade de híbridos multiespécies de *Eucalyptus* ao estado do Rio Grande do Sul. Revista *Árvore*, Viçosa-MG, v.37, n.4, p.759-769, 2013.

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R.; CALIL, F. N. Biomassa em povoamentos de *Eucalyptus* spp. de pequenas propriedades rurais de Vera Cruz, RS. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 17-22, 2011.

SILVA, K. R., Metodologia para a espacialização do balanço hídrico: aplicação no zoneamento edafoclimático para a seringueira no Espírito Santo. 2010. 77f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2010.

SILVA, K. R.; CECÍLIO, R. A.; XAVIER, A. C.; PEZZOPANE, J. R. M.; GARCIA, G. O. Zoneamento edafoclimático para a cultura da seringueira no Espírito Santo. *Irriga*, Botucatu, v. 18, n. 1, p. 1-12, 2013.

STAHL, K.; MOORE, R.D.; FLOYER, J.A.; ASPLIN, M.G.; McKENDRY, I.G. Comparison of approaches for spatial interpolation of daily air temperature in a large region with complex topography and highly variable station density. *Agricultural and Forest Meteorology*, n. 139, p.224-236, 2006.

STAPE, J.L.; BINKLEY, D.; RYAN, M.G. Eucalyptus production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. *Forest Ecology and Management*, v. 193, p. 17–31, 2004.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. New Jersey: Centerton, 1955. 104 p. (Publications in Climatology, v. 8, n.1).

TONINI, H. Crescimento e produção de clones de *Eucalyptus saligna* Smith, na depressão central e serra do Sudoeste, Rio Grande do Sul. 2003. 289f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

VANHONI, F.; MENDONÇA, F. O clima do litoral do estado do Paraná. *Revista Brasileira de Climatologia*, agosto, 2008.

WREGGE, M.S.; STEINMETZ, S; GARRASTAZU, M.C.; REISSER JUNIOR, C.; ALMEIDA, I.R. DE; HERTER, F.G.; CARAMORI, P.H.; RADIN, B.;

MATZENAUER, R.; BRAGA, H.J.; PRESTES, S.D.; CUNHA, G.R.; MALUF, J.R.T.; PANDOLFO, C. Atlas Climático da Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. 1. ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas; 2011. 333 p.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). *Int. J. Climatol.* 2015.