

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GABRIELA SCHEINPFLUG BRITO

CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS PARA OCORRÊNCIA DA FERRUGEM DO
EUCALIPTO NA REGIÃO SUL DO BRASIL

CURITIBA
2013

GABRIELA SCHEINPFLUG BRITO

CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS PARA A OCORRÊNCIA DA FERRUGEM DO
EUCALIPTO NA REGIÃO SUL DO BRASIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Celso Garcia Auer

Co-orientadores: Dr. Marcos Silveira Wrege

Prof. Dr. Álvaro Figueredo dos Santos

CURITIBA
2013

Ficha catalográfica elaborada por Denis Uezu – CRB 1720/PR

Brito, Gabriela Scheinpflug

Cenários climáticos futuros para a ocorrência da ferrugem do eucalipto na região sul do Brasil / Gabriela Scheinpflug Brito. – 2013

78 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Celso Garcia Auer

Coorientadores: Dr. Marcos Silveira Wrege

Prof. Dr. Álvaro Figueredo dos Santos

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 27/08/2013.

Área de concentração: Silvicultura

1. Eucalipto – Doenças e pragas. 2. Eucalipto – Brasil, Sul. 3. Mudanças climáticas – Brasil, Sul. 4. Ferrugem nas árvores. 5. Fitopatologia. 6. Teses. I. Auer, Celso Garcia. II. Wrege, Marcos Silveira. III. Santos, Álvaro Figueredo dos. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 581.2

CDU – 632:582.883.4



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da
Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

PARECER

Defesa n.º. 987

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após argüir o(a) mestrando(a) *Gabriela Scheinpflug Brito* em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS PARA A OCORRÊNCIA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NA REGIÃO SUL DO BRASIL**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Mestre* em Engenharia Florestal, área de concentração em SILVICULTURA.

Dr. Luciene Martins Moreira

Pontifícia Universidade Católica do Paraná
Primeiro examinador

Dr. Milton José Sousa
Universidade Federal do Paraná

Segundo examinador

Dr. Celso Garcia Auer
Universidade Federal do Paraná

Orientador e presidente da banca examinadora



Curitiba, 27 de agosto de 2013.

Antonio Carlos Batista
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

Jorge Luis Monteiro de Matos
Vice-coordenador do curso

*Aos meus pais José Castello Brito e Rosemary Scheinpflug,
pelo exemplo e por todo carinho e apoio que recebi.*

*A meu esposo Givago Augusto Rigo Costenaro
pela sua compreensão, apoio e paciência.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela sua presença em todos os momentos.

Ao Professor Doutor Celso Garcia Auer, pela amizade, orientação, compreensão e por possibilitar a ampliação de meus conhecimentos.

Ao Pesquisador da Embrapa Florestas Doutor Marcos Silveira Wrege, pela amizade e orientação, tornando possível a confecção dos mapas.

Ao Professor Doutor Álvaro Figueredo dos Santos, pela colaboração, pelo auxílio e sugestões que colaboraram para o enriquecimento do trabalho.

Às colegas Dagma Kratz e Patrícia Pereira Pires, pela amizade, companheirismo e disposição em ajudar.

Aos funcionários do Laboratório de Patologia Florestal da Embrapa Florestas, Davi Nunes da Veiga e Caroline de Bastos Bühner pela amizade e auxílio que sempre deram.

Aos colegas: Karen Christiane Bora, Hágata Siqueira Hennipman Pedro Henrique Riboldi Monteiro e José Antônio Sbravatti Júnior, Carola Gutfreund, Thaísa Wendhausen Ramos da Silva, Bárbara Eckstein, Paula Rachel Rabelo Correa e Francine Bontorin Silva, pela cooperação, pela amizade e pela agradável convivência.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal da UFPR.

Ao programa CAPES-REUNI, pela concessão da bolsa de mestrado.

À Embrapa Florestas, pelo suporte para desenvolvimento do meu projeto

À minha família, sempre apoiando e sempre presente.

Aos amigos, pelos momentos de descontração e apoio.

À todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A cultura do eucalipto no Brasil tem se desenvolvido rapidamente nos últimos anos, chegando a uma área de aproximadamente cinco milhões de hectares, destinados à produção de celulose, carvão, moirões de cerca e madeira serrada. Dentre as principais doenças fúngicas na cultura do eucalipto destaca-se a ferrugem, causada pelo fungo *Puccinia psidii*. Uma medida que pode ser usada no controle desta doença é a realização de mapeamentos baseados em dados climáticos favoráveis à ferrugem, possibilitando identificar áreas consideradas sem risco para os plantios. Contudo, os cenários das mudanças climáticas projetados pelo IPCC poderão alterar o padrão de distribuição de patógenos e doenças. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi analisar os futuros cenários de ocorrência da doença na região Sul do Brasil, identificando sua distribuição geográfica e temporal, com base nas variáveis climáticas favoráveis para a infecção por *Puccinia psidii*. A partir de estudos epidemiológicos já publicados, foram coletados dados das variáveis climáticas que influenciam o processo de infecção por *Puccinia psidii* em eucaliptos (temperatura média e período de molhamento foliar noturno). Para a montagem dos mapas, foram escolhidos modelos climáticos futuros baseados nos cenários A2 e B1 do IPCC, nos períodos de 2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2100. Com base nos limites bioclimáticos de desenvolvimento de *Puccinia psidii*, foram classificadas quatro classes de risco de ocorrência da doença (Alto Risco, Médio Risco, Baixo Risco e Sem Risco), sendo que a área de cada uma destas classes foi medida e convertida em porcentagem, para verificar possíveis tendências de acréscimo ou decréscimo das áreas de risco. Primeiramente foi criado um cenário com as condições atuais do clima e, a partir deste, foram criados os cenários futuros. Os índices climáticos foram estabelecidos na escala temporal mensal. Após a confecção dos mapas verificou-se que, no cenário atual o verão é a estação mais favorável ao desenvolvimento da ferrugem, com grandes áreas de alto risco, enquanto o inverno é a estação mais desfavorável, com grande parte da área classificada como sem risco. Com o passar das décadas, em ambos os cenários futuros as classes de baixo risco e sem risco da doença tendem a diminuir, devido principalmente ao aumento das temperaturas mínimas. Também foi observada a tendência de inversão do padrão atual, ou seja, no decorrer dos anos o verão tende a tornar-se menos favorável, enquanto o inverno passa a ser mais favorável. Observou-se também que o molhamento foliar sofre poucas alterações com o passar dos anos, de modo que a maioria das mudanças será devida às alterações de temperatura.

Palavras-chave: distribuição geográfica, distribuição temporal, *Puccinia psidii*, mudanças climáticas, *Eucalyptus*.

ABSTRACT

The eucalyptus cultivation in Brazil has quickly developed in recent years, reaching an area near five million hectares, for pulp, coal, fence posts and sawlogs production. One of the major fungal diseases in eucalyptus cultivation is rust, caused by *Puccinia psidii*. A way to control this disease is to perform mappings based on climate data favorable to rust, identifying free rust areas to plant. However, climate change scenarios projected by the IPCC can change the standard of pathogens distribution and their diseases. The objective of this study was to analyze future scenarios of disease occurrence in southern Brazil, identifying geographical and temporal distribution, based on climatic favorable variables for *Puccinia psidii* infection. From epidemiological studies already published, were collected climatic variables favorable to the infection process of *Puccinia psidii* in eucalyptus (average temperature and leaf wetness night). To assemble the maps, models were chosen based on future climate scenarios A2 and B1 from IPCC, the periods 2011-2040, 2041-2070 and 2071-2100. According to the bioclimatic limits of *Puccinia psidii* development were classified four favorable disease zones (High Risk, Medium Risk, Low Risk and No Risk), and each zone areas was measured and converted into percentage, to identify possible trends of increasing or decreasing the risk areas. First we created a scenario with the current climate conditions, and from this, future scenarios were created. After maps preparation showed that, in the current scenario the summer is the most favorable season to rust development, with large high risk areas, while the winter is the less favorable season, with much of the area classified as no risk. Over the decades, in both future scenarios areas classified as low risk and no risk of the disease tend to decrease, mainly due to the increase in minimum temperatures. It was also a tendency for inversion of the current pattern, that is, over the years summer tends to be less favorable, and the winter be more favorable. It was also observed that the leaf wetness varies little over the years, so that most of the changes are due to temperature changes.

Key-words: Geographical distribution, Temporal distribution, *Puccinia psidii*, Climate change, *Eucalyptus*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- FIGURA 1 - FORMAÇÃO DE UREDINIÓSPOROS DE *Puccinia psidii* SOBRE FOLHA DE *Eucalyptus sp*22
- FIGURA 2 - SINTOMA DA FERRUGEM EM MUDA DE *Eucalyptus sp.*- ENCARQUILHAMENTO, ÁREAS HIPERTROFIADAS E VERRUCOSAS EM FOLHAS E HASTES23
- FIGURA 3 - ÁREAS DE RISCO DE OCORRÊNCIA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NA REGIÃO SUL DO BRASIL NO DECORRER DO ANO NO CENÁRIO ATUAL40
- FIGURA 4 - EVOLUÇÃO DAS ÁREAS DE RISCO DE DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO CENÁRIO B1 NA REGIÃO SUL DO BRASIL NO PERÍODO DE VERÃO. (A DEZEMBRO. B. JANEIRO. C FEVEREIRO)..... 43
- FIGURA 5 - EVOLUÇÃO DAS ÁREAS DE RISCO DE DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO CENÁRIO B1 NA REGIÃO SUL DO BRASIL NO PERÍODO DE OUTONO. (A MARÇO. B. ABRIL. C MAIO)..... 44
- FIGURA 6 - EVOLUÇÃO DAS ÁREAS DE RISCO DE DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO CENÁRIO B1 NA REGIÃO SUL DO BRASIL NO PERÍODO DE INVERNO. (A JUNHO. B. JULHO. C. AGOSTO).....45
- FIGURA 7 - EVOLUÇÃO DAS ÁREAS DE RISCO DE DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO CENÁRIO B1 NA REGIÃO SUL DO BRASIL NO PERÍODO DE PRIMAVERA. (A. SETEMBRO. B. OUTUBRO. C. NOVEMBRO)..... 46
- FIGURA 8 - EVOLUÇÃO DAS ÁREAS DE RISCO DE DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO CENÁRIO A2 NA REGIÃO SUL DO BRASIL NO PERÍODO DE VERÃO. (A. DEZEMBRO. B. JANEIRO. C. FEVEREIRO) 53
- FIGURA 9 - EVOLUÇÃO DAS ÁREAS DE RISCO DE DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO CENÁRIO A2 NA REGIÃO SUL DO BRASIL NO PERÍODO DE OUTONO. (A. MARÇO. B. ABRIL. C. MAIO).....54
- FIGURA 10 - EVOLUÇÃO DAS ÁREAS DE RISCO DE DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO CENÁRIO A2 NA REGIÃO SUL DO BRASIL NO PERÍODO DE INVERNO. (A. JUNHO. B. JULHO. C. AGOSTO)..... 55

FIGURA 11 - EVOLUÇÃO DAS ÁREAS DE RISCO DE DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO CENÁRIO A2 NA REGIÃO SUL DO BRASIL NO PERÍODO DE PRIMAVERA. (A. SETEMBRO. B. OUTUBRO. C. NOVEMBRO) 56

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - ÁREAS, EM PORCENTAGEM, DAS CLASSES DE RISCO NO DECORRER DO ANO NO PERÍODO DE REFERÊNCIA (CENÁRIO ATUAL).....	38
GRÁFICO 2 - EVOLUÇÃO DAS ÁREAS, EM PORCENTAGEM, DA CLASSE DE ALTO RISCO PARA DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO DECORRER DAS DÉCADAS NO CENÁRIO B1.....	47
GRÁFICO 3 - EVOLUÇÃO DAS ÁREAS, EM PORCENTAGEM, DAS CLASSES DE MÉDIO RISCO PARA DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO DECORRER DAS DÉCADAS NO CENÁRIO B1.....	48
GRÁFICO 4 - EVOLUÇÃO DAS ÁREAS, EM PORCENTAGEM, DA CLASSE DE BAIXO RISCO PARA DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO DECORRER DAS DÉCADAS NO CENÁRIO B1.....	49
GRÁFICO 5 - EVOLUÇÃO DAS ÁREAS, EM PORCENTAGEM, SEM RISCO PARA DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO DECORRER DAS DÉCADAS NO CENÁRIO B1.....	50
GRÁFICO 6 - EVOLUÇÃO DAS ÁREAS, EM PORCENTAGEM, DA CLASSE DE ALTO RISCO PARA DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO DECORRER DAS DÉCADAS NO CENÁRIO A2.....	57
GRÁFICO 7 - EVOLUÇÃO DAS ÁREAS, EM PORCENTAGEM, DA CLASSE DE MÉDIO RISCO PARA DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO DECORRER DAS DÉCADAS NO CENÁRIO A2.....	58
GRÁFICO 8 - EVOLUÇÃO DAS ÁREAS, EM PORCENTAGEM, DA CLASSE DE BAIXO RISCO PARA DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO DECORRER DAS DÉCADAS NO CENÁRIO.....	59
GRÁFICO 9 - EVOLUÇÃO DAS ÁREAS, EM PORCENTAGEM, SEM RISCO PARA DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO DECORRER DAS DÉCADAS NO CENÁRIO A2.....	60

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	CLASSES DE RISCO PARA OCORRÊNCIA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO EM FUNÇÃO DOS INTERVALOS DE TEMPERATURA MÉDIA E PERÍODO DE MOLHAMENTO FOLIAR CONSIDERANDO A INFECÇÃO DE UREDINIÓSPOROS DE <i>Puccinia psidii</i>	35
TABELA 2 -	ÁREAS, EM PORCENTAGEM, DAS CLASSES DE RISCO NO DECORRER DO ANO NO PERÍODO DE REFERÊNCIA (CENÁRIO ATUAL).....	37
TABELA 3 -	ÁREAS (EM PORCENTAGEM) DE ALTO RISCO PARA DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO DECORRER DAS DÉCADAS NO CENÁRIO B1.....	47
TABELA 4 -	ÁREAS (EM PORCENTAGEM) DE MÉDIO RISCO PARA DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO DECORRER DAS DÉCADAS NO CENÁRIO B1.....	48
TABELA 5 -	ÁREAS (EM PORCENTAGEM) DE BAIXO RISCO PARA DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO DECORRER DAS DÉCADAS NO CENÁRIO B1.....	49
TABELA 6 -	ÁREAS (EM PORCENTAGEM) SEM RISCO DE OCORRÊNCIA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO DECORRER DAS DÉCADAS NO CENÁRIO B1.....	50
TABELA 7 -	ÁREAS (EM PORCENTAGEM) DE ALTO RISCO PARA DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO DECORRER DAS DÉCADAS NO CENÁRIO A2.....	57
TABELA 8 -	ÁREAS (EM PORCENTAGEM) DE MÉDIO RISCO PARA DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO DECORRER DAS DÉCADAS NO CENÁRIO A2.....	58
TABELA 9 -	ÁREAS (PORCENTAGEM) DE BAIXO RISCO PARA DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO DECORRER DAS DÉCADAS NO CENÁRIO A2.....	59
TABELA 10 -	ÁREAS (EM PORCENTAGEM) SEM RISCO DE FERRUGEM DO EUCALIPTO NO DECORRER DAS DÉCADAS NO CENÁRIO A2.....	60

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE 1 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO PARA DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA NO CENÁRIO ATUAL (TM)	75
APÊNDICE 2 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO PARA DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA NO CENÁRIO A2 NO PERÍODO DE 2011 A 2040 (TMA-1).....	75
APÊNDICE 3 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO PARA DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA NO CENÁRIO A2 NO PERÍODO DE 2041 A 2070 (TMA-2).....	76
APÊNDICE 4 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO PARA DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA NO CENÁRIO A2 NO PERÍODO DE 2071 A 2100 (TMA-3).....	76
APÊNDICE 5- COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO PARA DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA NO CENÁRIO B1 NO PERÍODO DE 2011 A 2040 (TMB-1).....	77
APÊNDICE 6- COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO PARA DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA NO CENÁRIO B1 NO PERÍODO DE 2041 A 2070 (TMB-2).....	77
APÊNDICE 7 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO PARA DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA NO CENÁRIO B1 NO PERÍODO DE 2071 A 2100 (TMB-3).....	78

LISTA DE SIGLAS

ABRAF - Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas

ANA - Agência Nacional de Águas

BRACELPA - Associação Brasileira de Celulose e Papel

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

IAPAR - Instituto Agrônômico do Paraná

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Changes*)

SRES - *Special Report on Emissions Scenarios*

USGS - *United States Geological Survey*

WMO - *World Meteorological Organization*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVO GERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1. HISTÓRICO E IMPORTÂNCIA DO EUCALIPTO.....	17
3.2. A FERRUGEM CAUSADA POR <i>Puccinia psidii</i>	19
3.2.1 Danos causados pela ferrugem do eucalipto	20
3.2.2 Sintomatologia da ferrugem do eucalipto	21
3.2.3 Ciclo de vida e condições ambientais	23
3.3 MUDANÇAS CLIMÁTICAS	25
3.4 IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	27
3.5 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E PROBLEMAS FITOSSANITÁRIOS.....	28
3.5.1 Impacto das mudanças climáticas na ferrugem do eucalipto	30
3.6 CONTROLE DA FERRUGEM DO EUCALIPTO	31
4. MATERIAL E MÉTODOS	32
4.1 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS CLIMÁTICOS DA DOENÇA PARA ELABORAÇÃO DE MAPAS	32
4.2 ELABORAÇÃO DOS MAPAS ATUAIS.....	33
4.2.1 Elaboração dos mapas de temperatura do ar	33
4.2.2 Elaboração dos mapas de período de molhamento foliar	34
4.2.3 Agrupamento dos mapas de período de molhamento foliar e de temperatura.....	35
4.3 ELABORAÇÃO DOS MAPAS CONFORME PROJEÇÕES FUTURAS DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS.....	36
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1 CENÁRIO CLIMÁTICO ATUAL DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NA REGIÃO SUL DO BRASIL.	37
5.2 CENÁRIO CLIMÁTICO B1 DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NA REGIÃO SUL DO BRASIL.....	41
5.3 CENÁRIO CLIMÁTICO A2 DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NA REGIÃO SUL DO BRASIL.	51
6. CONCLUSÕES	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
APÊNDICE	74

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o eucalipto vem se destacando na economia internacional, tornando-se de grande importância no produto interno bruto de diversos países. É a principal espécie florestal plantada e ocupa uma área com cerca de 19,5 milhões de hectares (GLOBAL EUCALYPTUS MAP, 2008).

O Brasil, seguindo esta tendência mundial, detém a segunda maior área de plantios de eucaliptos do mundo, sendo superado somente pela Índia. Segundo dados da ABRAF (2013), o total da área de plantios em 2012 foi de aproximadamente 5,1 milhões de ha, sendo 590 mil hectares somente na região Sul do Brasil. Também é preciso atentar ao fato de que a indústria de base florestal tem uma participação notável no PIB do nacional, mostrando a forte influência que este setor exerce na economia do país.

A fácil adaptação, rápido crescimento e a quase inexistência de pragas naturais, resultando em uma alta produtividade, foram os principais motivos para a ampliação desta cultura no Brasil. Porém, a partir da década de 80, este cenário começou a mudar. Segundo Ruiz (1988) e Ferreira (1989), o avanço dos plantios para regiões mais quentes e úmidas e o uso de espécies suscetíveis criaram condições favoráveis à ocorrência de diversas doenças, de forma que os plantios começaram a sofrer severos danos no Brasil. Entre elas, destacam-se como mais limitantes e prejudiciais no estabelecimento de novos plantios e condução de brotações, a ferrugem, causada pelo fungo *Puccinia psidii* Winter, e o cancro causado pelo fungo *Chrysosporthe cubensis* (Bruner) Gryzenh.& M. J. Wingf (ex *Cryphonectria cubensis* (Bruner) Hodges) (ALFENAS *et al.*, 2009).

O fungo *Puccinia psidii* é um patógeno nativo da América do Sul, que atinge plantas da família Myrtaceae. Devido à expansão dos plantios de eucaliptos e proximidade com as plantas nativas, a cultura começou a ser igualmente parasitada pelo fungo, causando danos expressivos em plantações jovens, e trazendo prejuízos de milhões de dólares.

Mesmo com a realização de diversos estudos desta doença, ainda existem muitas lacunas de informações a serem preenchidas, principalmente sobre a distribuição da ferrugem do eucalipto na região Sul do Brasil.

Sabe-se que o fungo necessita da ocorrência de temperaturas amenas para seu desenvolvimento, assim como ocorrência de molhamento foliar. Além disso, as áreas mais favoráveis para o desenvolvimento da ferrugem no Brasil são as regiões Sudeste e Nordeste. Porém, sua ocorrência também é comum em outras regiões, inclusive na região Sul que, mesmo tendo o inverno com temperaturas muito baixas, pode permitir o desenvolvimento do fungo durante alguns períodos do ano.

Na atualidade, existem diversos estudos e debates sobre o clima e meio ambiente, no qual cientistas defendem que o mundo está passando por um período de grandes mudanças no clima, causadas principalmente por interferências antrópicas, que irão resultar em temperaturas mais elevadas no decorrer das próximas décadas. As áreas que atualmente são ideais para o desenvolvimento da doença, tendem a ter uma temperatura mais elevada no futuro, o que poderá inibir o desenvolvimento do patógeno, levando a uma diminuição da área favorável para o desenvolvimento da ferrugem no Brasil (ALFENAS *et al.*, 2009; MAFIA *et al.*, 2011).

O IPCC (*Intergovernmental Painel on Climate Changes*) tem definidos cenários SRES (*Special Report on Emissions Scenarios*) que compreendem famílias de cenários, que consideram diferentes projeções de emissões de gases de efeito estufa, relacionando aspectos de desenvolvimento social, econômico e tecnológico, crescimento populacional, preocupação com o meio ambiente e diferenças regionais, denominados de principais forças condutoras. As famílias estão divididas em quatro: A1, A2, B1 e B2, e estes cenários servem de base para projeções quantitativas do clima do planeta no futuro, sendo que, em todos os cenários observa-se o aumento da temperatura do planeta Terra (IPCC, 2007).

Quando é tratada a região Sul do Brasil, onde as médias de temperaturas são mais baixas que o restante do país, acredita-se que as mudanças climáticas possam levar a uma significativa alteração na distribuição das áreas favoráveis ao desenvolvimento da doença. Locais que atualmente são muito frios para o desenvolvimento do patógeno tendem a aumentar a temperatura nas próximas décadas, com possíveis efeitos na futura distribuição da doença nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Estas informações são importantes para futuras estratégias de controle da ferrugem do eucalipto na região Sul.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Relacionar a distribuição espacial e temporal da ferrugem do eucalipto com variáveis climáticas na região Sul do Brasil para o clima atual e para projeções futuras.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Mapear as áreas de risco para a ferrugem do eucalipto na região Sul do Brasil a partir de dados climáticos e parâmetros de infecção por *Puccinia psidii*.
- Realizar projeções das futuras distribuições das áreas de risco da doença na região Sul do Brasil.
- Comparar o cenário atual com os cenários futuros, para identificar as alterações do comportamento das áreas de risco e sua tendência de evolução com o passar das décadas em cada período analisado.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. HISTÓRICO E IMPORTÂNCIA DO EUCALIPTO

Eucalipto é uma designação vulgar usada para árvores do gênero *Eucalyptus* e árvores pertencentes aos gêneros *Corymbia* e *Angophora*, sendo todos os três pertencentes à família Myrtaceae. Somente dentro do gênero *Eucalyptus* existem aproximadamente 730 espécies, originárias da Austrália, Tasmânia e outras ilhas da Oceania (QUEIROZ, 2009).

As sementes de eucalipto começaram a ser disseminadas no mundo no final do século XVIII e começo do século XIX (GUIA DO EUCALIPTO, 2008), tornando-se hoje um dos gêneros mais cultivados e com maior importância econômica mundial, dentro das culturas florestais (COUTINHO *et al.*, 1998). De acordo com Santos *et al.* (2001), as espécies mais plantadas e usadas mundialmente são *E. globulus*, *E. grandis* e seus híbridos.

A estimativa de áreas plantadas com o gênero *Eucalyptus* no mundo no ano de 2008 foi de aproximadamente 19,5 milhões de hectares, sendo que aproximadamente 52% desta área concentram-se em apenas três países: Índia, com 20%, Brasil, com 19% e China, com 13%. Além de ser o segundo país com a maior área plantada, o Brasil também é o segundo maior produtor mundial de celulose de eucalipto (GLOBAL EUCALYPTUS MAP, 2008).

O primeiro registro do gênero *Eucalyptus* no Brasil é do Jardim Botânico do Rio de Janeiro, entre 1824 e 1829 (BERTOLA, 2001). No entanto, sabe-se que até início do século XX o eucalipto era plantado apenas como planta ornamental, quebra ventos ou por supostas propriedades sanitárias.

O seu plantio no país, com o objetivo de uso de sua madeira, só começou no ano de 1903, no estado de São Paulo, para a produção de dormentes necessários para a construção da ferrovia da Companhia Paulista de Estradas de Ferro. Devido ao seu rápido crescimento, mesmo em solos pobres, e boa adaptação ao clima, foram implantados diversos hortos florestais no estado de São Paulo (BRACELPA, 2007) de maneira que, no final da década de 30, o eucalipto já era plantado em

escala comercial em diversas áreas, para uso como dormentes para construção de casas e estradas de ferro, assim como combustível para siderurgia e fornos domésticos (VITAL, 2007).

O total da área ocupada por plantios de *Eucalyptus* no Brasil em 2012 foi de aproximadamente 5,1 milhões de hectares, mantendo-se constante em relação ao ano de 2010. Porém deve-se destacar que, de 2005 a 2011, houve um crescimento de 43,6% da área ocupada no País. Somente na região Sul, os plantios ocupam uma área de 589 mil hectares, distribuídos em 198 mil ha no Paraná, 107 mil ha em Santa Catarina e 285 mil ha no Rio Grande do Sul, o que equivale a 11,8% do total dos plantios do país (ABRAF, 2013).

O principal fator que alavancou esse crescimento em área plantada foi o estabelecimento de novos plantios para suportar a demanda futura dos projetos industriais do segmento de Papel e Celulose. Atualmente, este segmento já concentra 72,5% das áreas de cultura do eucalipto, enquanto os segmentos de siderurgia a carvão vegetal e de painéis de madeira retêm 19,5% e 7,3%, respectivamente, seguidos pelos produtores independentes, com 0,7% da área de plantios com o referido gênero (ABRAF, 2013). Um fato importante a ser levado em conta é que o Brasil, na indústria de papel, ocupa o 9º lugar no *Ranking* Internacional dos maiores produtores, enquanto na celulose encontra-se em 4º lugar (BRACELPA, 2013).

Em relação à economia, em 2011 a indústria de base florestal colaborou com 3,5% do PIB nacional (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2012), participação esta que já foi muito maior, pois, de acordo com Brepohl (1980), a participação do PIB do setor florestal brasileiro no período entre 1959 e 1974 ficou em torno de 7%. Em 2011, o saldo da balança comercial florestal totalizou USD 5,5 bilhões, e a participação no superávit da balança comercial nacional foi de 28% (ABRAF, 2013).

Além do seu rápido crescimento e facilidade de adaptação, outra vantagem da cultura era o fato do eucalipto ser uma essência florestal praticamente livre de doenças no Brasil até por volta da década de 1970 (FERREIRA, 1989). Porém, quando os plantios com espécies florestais exóticas começaram a avançar para regiões mais quentes e úmidas do país, aliados ao uso de espécies mais suscetíveis e o uso consecutivo das mesmas áreas, proporcionou-se condições favoráveis à ocorrência de diversas doenças, principalmente a ferrugem, causada pelo fungo *Puccinia psidii* Winter, e o cancro, causado pelo fungo *Chrysosporthe cubensis*

(Bruner) Gryzenh.& M. J. Wingf. Sendo assim, as culturas florestais exóticas começaram a sofrer severos danos no Brasil, tendo seu crescimento, qualidade e rendimento prejudicados (RUIZ, 1988; FERREIRA, 1989).

3.2. A FERRUGEM CAUSADA POR *Puccinia psidii*

As ferrugens são doenças fúngicas causadas por basidiomicetos pertencentes à Ordem Uredinales (APARECIDO, 2009). O patógeno *Puccinia psidii* pertence ao filo Basidiomycota, classe Urediniomycetes, família Pucciniaceae (AUER *et al.*, 2010). Este fungo causa uma doença conhecida como ferrugem do eucalipto, ou ferrugem das mirtáceas, e foi descrito pela primeira vez em 1884 no Brasil, em folhas de goiabeira (*Psidium guajava*) (SIMETO *et al.*, 2006).

A primeira vez que foi detectada em eucalipto foi em 1943, no município de Itaguaí, no Rio de Janeiro, incidindo sobre mudas de *Eucalyptus citriodora* (= *Corymbia citriodora*). Este fungo é nativo da América do sul, e adaptou-se ao novo hospedeiro exótico (JOFFILY, 1944). Algumas das espécies de *Eucalyptus* que já foram relatadas como hospedeiras da ferrugem são *E. grandis*, *E. urophylla*, *E. nitens*, *E. phaeotricha*, *C. citriodora*, *E. cloeziana*, *E. obliqua*, *E. pilularis*, *E. Saligna* (COUTINHO *et al.*, 1998), *E. globulus*, *E. dunnii* e *E. Bentharii* (ALFENAS *et al.*, 2009.). Ainda, segundo estes autores, as mais suscetíveis à ferrugem são *E. grandis*, *E. cloeziana*, *E. dunnii*, *E. benthamii*, *E. phaeotricha*, *E. globulus* e *E. nitens*.

Até o momento, esta é a única ferrugem confirmada que ataca espécies do gênero *Eucalyptus*, além de atacar outros 10 gêneros da família Myrtaceae (COUTINHO *et al.*, 1998). É uma doença comum em espécies nativas desta família, assim como mudas de árvores jovens de eucalipto (AUER *et al.*, 2010).

Segundo Ferreira (1989), esta doença está distribuída em todo Brasil, sendo mais importante nas regiões Sudeste e Nordeste, porém pode ser encontrada nos três estados da região Sul. Também é encontrada em outros países da América do Sul (Argentina, Colômbia, Equador, Paraguai, Uruguai e Venezuela), na América Central (Costa Rica, Cuba, Dominica, Republica Dominicana, El Salvador, Guatemala, Jamaica, Porto Rico e Trinidad Tobago), na América do Norte (México e Estados Unidos, restrito à Flórida e Havaí) e Ásia (Japão) (CROP, 2012).

É uma doença muito comum, causadora de danos em plantações jovens, com idade inferior a dois anos, principalmente em clones e procedências suscetíveis, podendo levá-los à morte. Em mudas, a ocorrência do fungo é muito comum, porém nos viveiros esta doença pode ser facilmente controlada com produtos químicos (FERREIRA, 1989).

O fungo ataca tecidos jovens e em crescimento (COUTINHO *et al.*, 1998), assim como os tufos de brotações recém-emitidas, reduzindo a fotossíntese e o crescimento de árvores severamente afetadas (AUER *et al.*, 2010). O ataque às folhas e brotações provoca a deformação das mesmas e induz ao enfezamento, ou mesmo a morte total de árvores severamente afetadas, causando queda na produtividade dos plantios. A intensidade do dano dependerá do local, do manejo silvicultural adotado e da espécie/procedência utilizada (FERREIRA, 1989).

Ainda não existe um trabalho a respeito da distribuição geográfica da ferrugem do eucalipto para a região Sul do Brasil. Os únicos trabalhos a respeito da distribuição de doenças florestais na região Sul são o de armilariose em pínus (ROSOT *et al.*, 2005), e o da gomose da acácia-negra (SANTOS; LUZ, 2007). O mapeamento da distribuição de uma doença ajuda a melhorar o entendimento de aspectos espacial e temporal dos processos da mesma, fornecendo informações para agricultores e pesquisadores, auxiliando na tomada de decisões, tanto para a implantação de novos plantios quanto para o controle naqueles já existentes (HAMADA *et al.*, 2012).

3.2.1 Danos causados pela ferrugem do eucalipto

Esta enfermidade vem sendo considerada como um dos principais problemas limitantes da cultura, causando danos severos em plantios, com redução da produção de celulose (MASSON *et al.*, 2007).

Segundo Furtado (2010), a estimativa de danos causados pela ferrugem do eucalipto no Brasil pode chegar a 400 milhões de dólares por ano. Ferreira (1983) relatou ataques esporádicos da ferrugem ocorridos no Vale do Rio Doce e Zona da Mata entre 1974 e 1979 em viveiros e plantios jovens, porém nos anos de 1979 a 1980 ocorreram diversos ataques severos em *Eucalyptus grandis* procedentes da

África do Sul e *E. cloeziana* de origens desconhecidas. Ainda existem registros de surtos importantes no Sudeste da Bahia, Nordeste do Espírito Santo e Vale do Rio Doce em Minas Gerais, onde são afetadas plantações novas ou brotações de tocos em eucaliptos suscetíveis (FERREIRA, 1989).

Demuner e Alfenas (1991) relataram um ataque de ferrugem em 1986 na região de Teixeira de Freitas, BA, onde cerca de 120 hectares foram quase que totalmente dizimados pelo patógeno, o que gerou um prejuízo, na época, de cerca de 70 mil dólares.

Furtado *et al.* (2009) indicam que as perdas em produtividade causada pela doença podem chegar até a 30% do incremento anual das árvores.

3.2.2 Sintomatologia da ferrugem do eucalipto

Os sintomas geralmente aparecem em tecidos jovens de folhas e caules, como pontuações cloróticas, que tornam-se pústulas ou soros de coloração amarelo vivo na região abaxial das folhas que, dependendo da intensidade do ataque, podem coalescer e recobrir toda a superfície das brotações do eucalipto. Os tecidos afetados morrem e secam, parecendo queimados, e as manchas nas folhas comumente são delimitadas por um halo escuro arroxeado. A planta pode reagir emitindo novas brotações, porém, mesmo com o desaparecimento da massa amarela, ficam lesões salientes, rugosas e de coloração marrom (SANTOS *et al.*, 2001).

A esporulação urediniospórica, pulverulenta e de coloração amarela (FIGURA 1) é a sua principal característica, sendo que em materiais altamente suscetíveis, causa deformações, necroses, hipertrofia, minicancros e morte das porções terminais de crescimento (ALFENAS *et al.*, 2009).



FIGURA 1 – FORMAÇÃO DE UREDINIÓSPOROS DE *Puccinia psidii* SOBRE FOLHA DE *Eucalyptus* sp.
FONTE: MORALESRAMIREZ (2008)

Em campo, além dos sintomas já citados, Moraes *et al.* (1982) observaram a seca dos ponteiros e perda de dominância apical, e em casos de re-infestações após as reações das plantas, as mesmas acabam assumindo um aspecto de super brotação.

Em plantas hospedeiras como jabuticabeira e goiabeira, os sintomas geralmente aparecem nos frutos, sendo menos comuns nas folhas. Em outros hospedeiros também pode afetar as folhas, botões florais e frutos (ALFENAS *et al.*, 2009). Os primeiros sintomas da ferrugem do eucalipto se tornam visíveis entre dois e quatro dias após o hospedeiro ter sido inoculado com urediniosporos (COUTINHO *et al.* 1998).

Segundo Ferreira (1989), o ataque da ferrugem restringe-se aos órgãos tenros das plantas, o que engloba os primórdios foliares com seus pecíolos e aos terminais de galhos, ramos e haste principal. Os primeiros sinais são minúsculas pontuações, levemente salientes, verde-claras ou vermelho-amareladas. Estas pontuações tornam-se pústulas de urediniosporos amarelos em dois ou três dias, e depois aumentam de tamanho. Nos dias seguintes ao surgimento das primeiras pústulas, têm-se o início das infecções secundárias dentro da mesma planta, devido à disseminação dos urediniosporos por orvalho ou chuva. Em poucos dias, os

órgãos tenros de um terminal de galho ou haste principal podem estar totalmente tomados pela ferrugem, com a intensa e típica esporulação urediniospórica. Os rebentos foliares, seus pecíolos e as partes mais apicais dos galhos e haste principal ficam encarquilhados e totalmente tomados pela esporulação. Porém, a esporulação amarelo-gema-de-ovo desaparece de uma a duas semanas após sua manifestação, e os órgãos afetados passam a apresentar áreas hipertrofiadas, verrucosas, com coloração ferrugínea que, aparentemente, são reações da planta às infecções (FIGURA 2).



FIGURA 2 - SINTOMA DE ENCARQUILHAMENTO, ÁREAS HIPERTROFIADAS E VERRUCOSAS EM FOLHAS E HASTES CAUSADAS PELA FERRUGEM EM EUCALIPTO.

FONTE: MORALES RAMIREZ (2008)

3.2.3 Ciclo de vida e condições ambientais

Puccinia psidii é um fungo biotrófico, ou seja, só cresce e se multiplica em tecidos vivos do hospedeiro, dificultando seu cultivo *in vitro* (ALFENAS *et al.*, 2009). O fungo tem um ciclo de vida macrocíclico, onde ocorrem os estados de aécio, uredíneo, télia e basídio (COUTINHO *et al.*, 1998).

O ciclo se inicia a partir do urediniosporo, que atinge e infecta uma brotação nova de um clone ou procedência suscetível. De seis a dez dias após a infecção nota-se a presença de lesões, onde o fungo forma nova esporulação que se

dissemina através do vento, infectando outras plantas e causando epidemias (FURTADO *et al.*, 2010). Os órgãos maduros do eucalipto não são considerados bons para a infecção pelo fungo (ALFENAS *et al.*, 2009).

Tanto mudas e plantios jovens, como também mirtáceas nativas, podem servir como fonte de inóculo primário (SANTOS *et al.*, 2001) sendo que, em geral, os urediniósporos são propagados pela chuva, vento e insetos (COUTINHO *et al.*, 1998).

A penetração de urediniósporos é geralmente direta, através da cutícula e epiderme, mediante a formação de apressório. A colonização da planta pelo fungo é intercelular, com a formação de haustórios intracelulares (ALFENAS *et al.*, 2009).

O estágio I – écio por enquanto só foi registrado em jambeiro, mas é provável que também ocorra em outras mirtáceas hospedeiras do patógeno (FIGUEIREDO *et al.*, 1984). O estágio II - urédia é comumente encontrado, podendo ser produzido tanto em condições naturais como em inoculações artificiais. É por meio de suas pústulas de urediniósporos, de coloração amarela, que se faz o diagnóstico prático da doença em condições de campo. Já os estádios III - télia e IV - basídio dificilmente são encontrados em condições naturais (FERREIRA, 1989). A fase uredinial é a mais comum e principal forma de disseminação da *P. psidii*, porém, em épocas mais quentes, também podem ser produzidos teliósporos, apesar de menos frequentes (ALFENAS *et al.*, 2009).

Piza e Ribeiro (1988) enfatizam a importância do ambiente, principalmente do clima, sobre o desenvolvimento de doenças, podendo atuar sobre o patógeno, sobre o hospedeiro e sobre a interação patógeno-hospedeiro. Sendo assim, doenças endêmicas podem tornar-se epidêmicas, se ocorrerem mudanças no ambiente que favoreçam a rápida multiplicação e dispersão do patógeno (ALFENAS *et al.*, 2009).

Segundo Aparecido (2009), o ciclo vital do fungo *P. psidii* depende da ocorrência de temperaturas amenas, sendo que temperaturas muito elevadas são adversas ao seu desenvolvimento. Santos *et al.* (2001) mencionam como fatores críticos não só a ocorrência de temperaturas moderadas, mas também a necessidade de haver altos índices de umidade relativa do ar.

De acordo com Ruiz (1988), as condições consideradas ótimas para a infecção são a ocorrência de temperaturas na faixa de 18 a 25 °C, sendo considerada como ótima a temperatura de 23 °C, em conjunto com a ocorrência de períodos prolongados de molhamento foliar (orvalho noturno ou garoas por períodos

superiores a 6 horas por 5 a 7 dias consecutivos) e a existência de órgãos juvenis (folhas jovens e terminais de crescimento), enquanto a existência de órgãos maduros, ausência de molhamento foliar e temperatura acima de 30 °C ou abaixo de 10 °C desfavorecem à infecção (RUIZ *et al.*, 1989).

Masson (2009) em seus estudos de campo, no sul da Bahia, verificou que em uma das áreas avaliadas foi registrada uma média de molhamento foliar de 3,73 horas e uma média de temperatura máxima de 22,61 °C, o índice de infecção continuou sendo alto, e em uma segunda área foi registrada uma média de molhamento foliar de 3,14 horas e uma temperatura média máxima de 25,34 °C, e a infecção, ainda assim, manteve-se em altos níveis. De maneira geral, nota-se que nos períodos em que o molhamento foliar esteve próximo de 4 horas, o índice de infecção em geral foi elevado. Assim, este valor de 4 horas como período mínimo de molhamento foliar poderia ser utilizado para estudos da distribuição espacial da ferrugem (BORA, 2013).

3.3 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O tema sobre as mudanças climáticas começou a ser discutido no final da década de 1980, dentro do Programa das Nações Unidas voltado ao Meio Ambiente, assim como da organização Meteorológica Mundial, criando o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, o IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Changes), com o objetivo de estudar as mudanças que vinham ocorrendo no clima (HAMADA *et al.*, 2006).

O IPCC é responsável por estudar e avaliar as mudanças climáticas em conjunto com pesquisadores de diversos órgãos e países, e já lançou quatro relatórios de 1990 até 2007, abordando dados referentes ao aumento da concentração de gases de efeito estufa de origem antrópica e informações sobre as consequências desse aumento sobre a eficiência de resfriamento do Planeta Terra (GHINI *et al.*, 2011).

Segundo o quarto relatório do IPCC (2007), as manifestações das mudanças climáticas devido ao aumento da concentração de gás carbônico (CO₂) na atmosfera podem ser observadas através de dados e médias de variáveis climáticas, onde

evidencia-se o aumento de temperatura e o aumento de intensidade e frequência de eventos extremos do clima, como ondas de calor, secas, chuvas, entre outros. Com o ajuste dos dados observados e simulados, o IPCC realizou projeções matemáticas de emissões dos gases de efeito estufa, criando cenários climáticos que contém previsões sobre o clima do Planeta baseadas nas alterações da atmosfera causadas pela atividade humana.

As alterações nas concentrações e quantidades de gases de efeito estufa e aerossóis atuam na radiação solar e nas características da superfície da Terra, de forma que o balanço de energia do sistema climático global também sofre alterações (ÁVILA, 2007).

A previsão do IPCC é de que a temperatura média global aumente entre 1,8°C e 4°C nos próximos 100 anos, quando comparada às médias de 1990. Este aumento pode ser ainda maior (6,4°C) se a população e a economia continuarem crescendo rapidamente e se for mantido o consumo intenso dos combustíveis fósseis. Entretanto, a estimativa mais confiável fala em um aumento médio de 3°C (ÁVILA, 2007).

Os cenários SRES (*Special Report on Emissions Scenarios*) do IPCC compreendem quatro famílias: A1, B1, A2 e B2, sendo A2 o mais pessimista e B1 o mais otimista (IPCC, 2000). Essas famílias de cenários consideram diferentes projeções de emissões de gases de efeito estufa, relacionando aspectos de desenvolvimento social, econômico e tecnológico, crescimento populacional, preocupação com o meio ambiente e diferenças regionais, denominados de principais forças condutoras, e levam em consideração as tendências de homogeneização global ou heterogeneidade de cada região (IPCC 2007), como mostra-se a seguir:

A1 - rápido crescimento econômico, crescimento populacional atingindo um pico em meados do século e declinando em seguida e rápida introdução de novas e mais eficientes tecnologias. Maior homogeneização econômica, cultural e social. Considera direções alternativas de mudança tecnológica no sistema de energia.

A2 - futuro muito heterogêneo, com preservação das identidades locais e da tradição, com um alto crescimento populacional. O desenvolvimento

econômico é regionalizado e o crescimento econômico per capita e a mudança tecnológica são mais fragmentados e mais lentos.

B1 - Mundo convergente com a mesma população global, que atinge o pico em meados do século e declina em seguida, como na família A1, porém com rápida mudança nas estruturas econômicas, com redução na utilização de material e a introdução de tecnologias limpas e eficientes na utilização de recursos. A ênfase é nas soluções globais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental, incluindo a melhoria na equidade, porém sem iniciativas climáticas adicionais.

B2 - A ênfase está em soluções locais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental. O crescimento populacional aumenta continuamente, a uma taxa inferior ao cenário A2, com níveis intermediários de desenvolvimento econômico e mudança tecnológica menos rápida e mais diversa, do que no B1 e A1. É orientado para a proteção do meio ambiente e a equidade social, mas com foco nos níveis local e regional.

A partir destes cenários, criam-se os modelos climáticos globais para a realização das projeções quantitativas do clima do Planeta Terra no futuro. Estas projeções são importantes ferramentas, tanto para a simulação e entendimento do clima, como também para fornecer estimativas quantitativas confiáveis das mudanças do clima futuro em escalas continentais (IPCC, 2007).

3.4 IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Os possíveis efeitos negativos das mudanças climáticas são: redução geral no potencial de produção agrícola na maior parte das regiões tropicais e subtropicais; reduzida disponibilidade de água em regiões onde já era escassa; risco maior de enchentes; maior demanda por refrigeração devido a maiores temperaturas no verão, dentre outros. Haverá influência destas mudanças na produção de alimentos e outras culturas de importância econômica para diversos países, por serem altamente dependentes do clima (EVANGELISTA, 2006; IPCC, 2007).

Os efeitos dos impactos climáticos podem diferenciar-se de acordo com a vulnerabilidade de cada sistema, sendo que os países em desenvolvimento são considerados mais vulneráveis a estas mudanças (HAMADA *et al.*, 2006).

Se as previsões de aumento de temperaturas se confirmarem, muitas regiões do Brasil que possuem cultivos em áreas de limites climáticos para a cultura, se tornarão desfavoráveis ao desenvolvimento vegetal. Acredita-se que culturas tolerantes a altas temperaturas serão beneficiadas até o seu limite próprio de tolerância ao estresse térmico, enquanto regiões que possuem temperaturas muito baixas para o desenvolvimento de determinadas culturas suscetíveis a geadas, por exemplo, podem passar a ter condições favoráveis ao desenvolvimento destas plantas (ASSAD *et al.*, 2004). Desta maneira, existe a necessidade de estudos sobre as causas e os efeitos das mudanças climáticas no país, para poder auxiliar na formação de políticas públicas de mitigação e de adaptação, a fim de amenizar os danos (HAMADA *et al.*, 2006).

Assad *et al.* (2004), realizaram um estudo baseado em projeções futuras de clima do IPCC, com aumentos de 1°C, 3°C e 5,8°C, para analisar o impacto na cultura do café, onde verificaram que, mesmo com o menor aumento de temperatura, ele provocaria uma grande redução de áreas favoráveis para plantios, de maneira que o cultivo do café ficaria muito restrito.

3.5 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E PROBLEMAS FITOSSANITÁRIOS

Pelo fato do Brasil ser um país onde a agricultura é uma das bases da economia, a influência das mudanças climáticas sobre fitopatógenos vem a ser de grande importância. Sabe-se que a incidência de pragas e doenças nos cultivos agrícolas é decorrente da interação planta hospedeira, patógeno e condições ambientais, e que o clima exerce forte influência na ocorrência e severidade das doenças, de maneira que a mudança no clima no futuro pode trazer impactos tanto negativos, quanto positivos, ou mesmo neutros para todas as culturas (MANZATTO, 2011).

Apesar da importância, há poucos trabalhos publicados a respeito dos efeitos das mudanças climáticas sobre doenças de plantas, tanto no Brasil como no mundo,

de forma que maiores estudos sobre as pragas e doenças sejam necessários. Existem também muitas dificuldades por haver uma ausência de séries históricas de problemas fitossanitários para a comprovação de casos, além da existência de outros diversos fatores que causam flutuações nas populações de patógenos e pragas, como por exemplo, tratamentos culturais, nutrição das plantas, cultivares utilizadas, entre outros, dificultando a correlação entre as mudanças climáticas e os problemas fitossanitários (GHINI *et al.*, 2011).

O efeito das mudanças climáticas no ambiente também pode influenciar o comportamento dos organismos que atuam sobre as plantas, como os causadores de doenças e pragas de cada cultura (HAMADA *et al.*, 2006). Para que se possam estimar os impactos das alterações climáticas sobre as doenças de plantas, é necessário analisar como as variáveis ambientais afetam o desenvolvimento do patógeno (TARDIVO; GHINI; HAMADA, 2010).

Também, existe a necessidade de determinar os impactos nas doenças secundárias, que podem vir a ter maior importância com a alteração do clima. Outra consequência das mudanças climáticas são as alterações de ocorrência da doença no espaço geográfico e temporal, de modo que doenças deixariam de ocorrer em um lugar mas apareceriam em outro, ou ainda alterações nas épocas do ano em que a doença ocorre (GHINI *et al.*, 2011).

A partir dos modelos climáticos pode ser possível simular os cenários das mudanças climáticas globais, os diferentes níveis de severidade de doenças, sua distribuição geográfica e até determinar seus potenciais danos, permitindo o desenvolvimento de táticas de controle e estratégias, para facilitar a tomada de decisões, porém isso depende também das possíveis alterações da dispersão e sobrevivência entre estações do ano ou de cultivo e das mudanças fisiológicas e ecológicas da planta hospedeira (GHINI *et al.*, 2011).

As previsões de médias de temperatura indicam que a mancha bacteriana do meloeiro poderá vir a se tornar fator limitante para a condução da cultura na região Nordeste, podendo atingir 100% da área cultivada em períodos chuvosos, além do fato do patógeno ser favorecido pelo estresse devido às irregularidades climáticas (BRUNELLI *et al.*, 2008).

No caso da Sigatoka-negra da Bananeira no Brasil há uma tendência de redução na área de desenvolvimento da doença no país, em relação ao clima atual,

devido principalmente a diminuição da umidade relativa do ar, que deve ser de no mínimo 70% para o desenvolvimento da doença (GHINI *et al.*, 2007).

Acerca da etiologia dos agentes causadores das gomoses da acácia-negra, acredita-se que aumento das temperaturas pode vir acompanhado do aumento da incidência e severidade destas doenças no Sul do Brasil, principalmente no caso da gomose causada pelo patógeno *Phytophthora nicotianae* (SANTOS *et al.*, 2011).

Monteiro *et al.* (2012) avaliando o efeito das mudanças climáticas na favorabilidade à ocorrência de míldio (*Plasmopara viticola*), na região de Bento Gonçalves-RS, no período de 2020 a 2050, com base em dados de esporulação e infecção relacionados à temperatura e períodos de umidade, constataram que com as mudanças haveria uma diminuição na eficiência de infecção, porém um grande aumento na esporulação, o que compensaria o primeiro fator. Desta maneira, os autores acreditam que em um futuro próximo haverá um aumento na doença, e enfatizam a necessidade de modificar e aprimorar sistemas de controle e prevenção.

3.5.1 Impacto das mudanças climáticas na ferrugem do eucalipto

No Brasil, as informações epidemiológicas de doenças florestais existentes, baseadas em temperatura e umidade relativa e seus efeitos na relação patógeno-hospedeiro, dificultam a criação de modelos climáticos, atuais e futuros. Em geral, os dados existentes referem-se às curvas de crescimento do patógeno em condições *in vitro* ou em estufas de incubação (SANTOS *et al.*, 2011). Na cultura do eucalipto, existem poucos estudos sobre os efeitos potenciais das mudanças climáticas sobre a incidência de doenças (MAFIA *et al.*, 2011).

Acredita-se que a área favorável para o desenvolvimento da *Puccinia psidii* no Brasil tenda a diminuir, uma vez que temperaturas muito elevadas inibem o desenvolvimento do fungo, com exceção da região sul, onde ocorrem temperaturas mais amenas, podendo haver uma tendência da doença tornar-se mais intensa com o passar dos anos devido ao aumento da temperatura (ALFENAS *et al.*, 2009). Deste modo, em regiões mais quentes do país, a doença tenderia a desaparecer, exceto se houver variabilidade genética em suas populações, tornando-os tolerantes às temperaturas mais elevadas (MAFIA *et al.*, 2011).

3.6 CONTROLE DA FERRUGEM DO EUCALIPTO

O controle da *Puccinia psidii* pode ser realizado através do uso de materiais geneticamente resistentes, o qual é considerado o método mais adequado, (FERREIRA, 1989; KRUGNER e AUER, 2005). Estes materiais podem ser obtidos devido à grande variabilidade genética inter e intra-específicas, evitando o plantio de espécies e progênies suscetíveis em locais que apresentam condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento do fungo. Neste método, indivíduos resistentes são selecionados em campo e usados para formação de mudas, via multiplicação por propagação vegetativa (ALFENAS *et al.*, 2009).

Xavier *et al.* (2007) avaliando a resistência de *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus nitens*, procedentes de regiões do Chile, constataram que existe variabilidade entre cada espécie avaliada, assim como entre as diferentes procedências da mesma espécie. De maneira geral, *E. nitens* mostrou maior suscetibilidade à *Puccinia psidii* que *E. globulus*.

Outra alternativa é o uso de espécies de rápido crescimento, passando do estado de folhas juvenis suscetíveis ao de folhas adultas precocemente, como ocorre com *Eucalyptus globulus* e *E. nitens* (ALFENAS *et al.*, 2009).

Ferreira (1989) e Alfenas *et al.* (2009) recomendam o uso de fungicidas em casos de ataque intenso no viveiro, a qual é considerada eficiente (FERREIRA e MILANI, 2002). O uso de fungicidas pode também ser feito em campo, mas somente em casos de plantios de alto valor (ALFENAS *et al.*, 2009).

Vários produtos foram recomendados na literatura, como: triadimenol, azoxystrobin, mancozeb e oxicloreto de cobre (ALFENAS *et al.*, 2009). Porém, o autor ressalta que existe um fator complicador na recomendação técnica de fungicidas para o controle da ferrugem, que é a falta de produtos registrados para essa cultura. Santos e Auer (2011) observam que, com o contínuo desenvolvimento das indústrias, o mercado constantemente oferece novos produtos com melhor eficiência, porém é preciso que se realizem testes de forma isolada ou em conjunto com outros produtos químicos denominados como indutores de resistência, para avaliar o efeito sinérgico da aplicação conjunta.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado nas dependências da Embrapa Florestas, situada em Colombo, Paraná. A partir dos mapas gerados neste trabalho, pode-se fazer uma análise da tendência de comportamento temporal e espacial das áreas de risco de desenvolvimento da doença ao longo de décadas, considerando-se projeções futuras de alterações do clima para os períodos de 2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2100, de acordo com os cenários A2 (mais pessimista) e B1 (mais otimista) projetados pelo IPCC, e comparar esta evolução com o cenário atual.

4.1 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS CLIMÁTICOS DA DOENÇA PARA ELABORAÇÃO DE MAPAS

Primeiramente, a projeção dos cenários climáticos futuros foi organizada por Hamada *et al.* (2008), com base em modelos climáticos feitos pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). Para a elaboração dos mapas, em Sistemas de Informações Geográficas (SIG), foram utilizadas como base as temperaturas médias mensais e médias mensais do período de molhamento foliar, variáveis que foram correlacionadas aos parâmetros relacionados ao processo de infecção da planta por *Puccinia psidii*.

O fungo tem uma faixa considerada ótima de desenvolvimento, tanto de temperatura do ar, como de umidade relativa e período de molhamento foliar. Para determinação da faixa de temperatura ótima utilizaram-se os dados de Ruiz (1988) e Masson (2009), ambos considerados como referência.

Assim, a faixa de temperatura considerada ideal para infecção da planta pelo fungo foi de 18 a 25°C. Temperaturas nas faixas entre 15 a 18°C e 25 a 30°C foram consideradas intermediárias, enquanto temperaturas abaixo dos 15°C e acima dos 30°C foram consideradas desfavoráveis para o processo de infecção.

O período de molhamento foliar foi adotado com base nas observações feitas em campo por Masson (2009), considerando-se que o período de molhamento foliar de quatro horas foi favorável à infecção pela *Puccinia psidii*.

4.2 ELABORAÇÃO DOS MAPAS ATUAIS

Inicialmente, foram elaborados dois mapas base da região sul do Brasil: um com as médias de temperaturas e outro com o período de molhamento foliar. Ambos os mapas foram cruzados, obtendo-se um mapa resultante com quatro classes diferentes.

Os dados climáticos do presente, usados neste trabalho, fazem parte de uma rede de estações meteorológicas do IAPAR, INMET e ANA, tendo sido organizados por Wrege *et al.* (2011). Foram usados dados de temperaturas médias mensais e médias mensais de horas de molhamento foliar. Neste último caso, os dados foram organizados por Hamada *et al.* (2008).

4.2.1 Elaboração dos mapas de temperatura do ar

Os dados climáticos usados foram referentes ao período de 1976 a 2005, segundo normas da WMO (1984), que considera que o período ideal de registros históricos deve ser de 30 anos, o que representa melhor as características do clima em uma região. Segundo a WMO, o período deveria ser de 1961 a 1990, que é o referente às normais climáticas. Mas, atualmente, este período foi considerado desatualizado devido às alterações do clima e preferiu-se usar os dados mais recentes disponíveis (WREGE *et al.*, 2011). Além disso, os planos de informação existentes deste período apresentam-se com uma boa resolução espacial, diferentemente do que ocorre com os planos de informação do período 1961 a 1990, que foram elaborados com uma quantidade de estações meteorológicas muito pequena, que não representam espacialmente todos os locais da região sul do Brasil. Para elaborar os planos de informação das variáveis climáticas, foi usada a técnica de regressão linear múltipla, onde foram relacionados as variáveis climáticas (variáveis dependentes) às variáveis altitude, latitude e longitude (variáveis independentes). O modelo digital de elevação (MDE), denominado GTOPO30, foi

elaborado pelo USGS (*United States Geological Survey*). O modelo de regressão utilizado foi o seguinte:

$$y = \alpha + \beta \times \text{latitude} + \chi \times \text{longitude} + \delta \times \text{altitude}$$

Onde, y corresponde a temperatura (°C); α é a constante; β é o coeficiente da altitude, χ é o coeficiente da longitude e δ é o coeficiente da altitude. Os valores destas constantes podem ser consultados nas tabelas dos apêndices de 1 a 7.

Através de operações algébricas entre os planos de informação contendo as variáveis climáticas, obtiveram-se diversos mapas resultantes, que foram classificados em três áreas de favorabilidade para o desenvolvimento do fungo, baseadas em três faixas de temperatura (RUIZ, 1988):

- 1) < 15 °C e > 30 °C - desfavorável
- 2) 15 a 18 °C e 25 – 30°C - intermediário
- 3) 18 a 25 °C - favorável

Todos os mapas foram gerados na escala 1:250.000, que é escala do modelo digital de elevação GTOPO30.

4.2.2 Elaboração dos mapas de período de molhamento foliar

Os dados primários de molhamento foliar foram elaborados por HAMADA *et al.* (2008), utilizando o período de 1961 a 1990, segundo normas da WMO (1984). O mapeamento desta variável foi feito usando krigagem ordinária, obtendo-se mapas na escala 1:250.000.

Os mapas obtidos foram divididos em duas classes: (1) Molhamento foliar \geq 4 horas – favorável e (2) Molhamento foliar < 4 horas - desfavorável

4.2.3 Agrupamento dos mapas do período de molhamento foliar e de temperatura

Para formar um único mapa, a partir dos mapas de temperaturas médias e molhamento foliar, foram realizadas sobreposições entre os diferentes planos de informação em sistemas de informações geográficas, com o uso de funções de intersecção. Para tornar possível esta operação, primeiramente todos os mapas foram passados para um mesmo formato (formato vetor).

O cruzamento das informações de temperaturas médias e período de molhamento foliar resultou em quatro áreas diferentes, que foram classificadas como classes de risco: Alto Risco, Médio Risco, Baixo Risco e Sem Risco, conforme a tabela 1.

TABELA 1 - CLASSES DE RISCO PARA OCORRÊNCIA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO EM FUNÇÃO DOS INTERVALOS DE TEMPERATURA MÉDIA E PERÍODO DE MOLHAMENTO FOLIAR CONSIDERANDO A INFECÇÃO POR UREDINIÓSPOROS DE *Puccinia psidii*.

CLASSES DE RISCO	TEMPERATURA MÉDIA (°C)	PERÍODO DE MOLHAMENTO FOLIAR (HORAS)
Alto Risco	18 a 25 °C	≥ 4
Médio Risco	15 a 18 °C	≥ 4
	25 a 30 °C	≥ 4
	18 a 25 °C	< 4
Baixo Risco	15 a 18 °C	< 4
	25 a 30 °C	< 4
Sem Risco	< 15 °C e > 30°C	*

*O período de molhamento foliar não influencia.

FONTE: O autor (2013).

Para cada classe, foram calculadas as áreas, transformadas posteriormente em porcentagem, usando-se regra de três, conforme é apresentado em seguida:

$$X\% = \frac{\text{área classe} \times 100}{\text{área da Região Sul}}$$

Onde X % = Área da classe em porcentagem

4.3 ELABORAÇÃO DOS MAPAS CONFORME PROJEÇÕES FUTURAS DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

Os mapas com projeções de alterações climáticas para o futuro foram feitos com base nos dados de HAMADA *et al.* (2008), utilizando-se modelos climáticos, onde se faz o prognóstico das médias nas décadas futuras, até 2100.

Os cenários do IPCC adotados neste estudo foram: A2, considerado o mais pessimista, por ser o cenário com maiores emissões de gases do efeito estufa no decorrer dos anos; e B1, considerado o mais otimista, por ter a maior redução da emissão de gases do efeito estufa no decorrer dos anos. Para cada um dos cenários foram realizadas três projeções do clima correspondentes a três períodos de tempo: 2011 a 2040, 2041 a 2070, e 2071 a 2100.

A metodologia de elaboração dos planos de informação dos cenários futuros foi a mesma que a do clima presente, utilizando-se inclusive as mesmas classes de separação de faixas ótimas para desenvolvimento de *P. psidii*, cruzando-se os mapas primários, formando um mapa final resultante da projeção de alteração climática para cada período futuro, conforme citado anteriormente.

Assim como nos mapas do presente, os mapas futuros obtidos tiveram as áreas das classes de risco calculadas e posteriormente transformadas em porcentagem por regra de três.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CENÁRIO CLIMÁTICO ATUAL DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NA REGIÃO SUL DO BRASIL.

Nos mapas mensais do cenário atual, observou-se que o período de maior risco de ocorrência da ferrugem é o verão, com uma área de Alto Risco acima de 67% em todos os meses (TABELA 2). As áreas menos favoráveis (Médio Risco e Baixo Risco) que ocorrem neste período, no oeste do Rio Grande do Sul, são devidas principalmente ao período de molhamento foliar menor que quatro horas. As áreas com as classes de Médio e Baixo Risco ocorridas no noroeste do Paraná são devidas principalmente às temperaturas elevadas (acima dos 25°C). Existe uma pequena área no alto da Serra do Mar em Santa Catarina com Médio Risco, devido às temperaturas mais baixas, presentes em elevadas altitudes.

TABELA 2 - ÁREAS EM PORCENTAGEM DAS CLASSES DE RISCO NO DECORRER DO ANO NO PERÍODO DE REFERÊNCIA (CENÁRIO ATUAL).

ÁREAS (%)	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Alto Risco	72,5	87,7	95,6	74,3	7,9	0,3	0,3	3,2	14,1	59,5	58,9	67,5
Médio Risco	20,5	12,2	4,4	3,6	64,1	21,1	17,9	43,8	63,3	38,7	40,8	29,8
Baixo Risco	7,0	0,1	0,0	21,3	0,6	3,2	4,4	2,8	0,1	0,0	0,1	2,7
Sem Risco	0,0	0,0	0,0	0,8	27,4	75,4	77,4	50,3	22,6	1,8	0,1	0,0

Apesar das constatações, observou-se que o mês mais favorável ocorreu no outono, onde março apresentou 95,6% da área da região Sul ocupada com a classe de Alto Risco de desenvolvimento da ferrugem (TABELA 2). Porém, a partir de abril começam a surgir áreas onde a temperatura tende a cair, tornando a estação de outono menos favorável à doença do que o verão (FIGURA 3 e GRÁFICO 1).

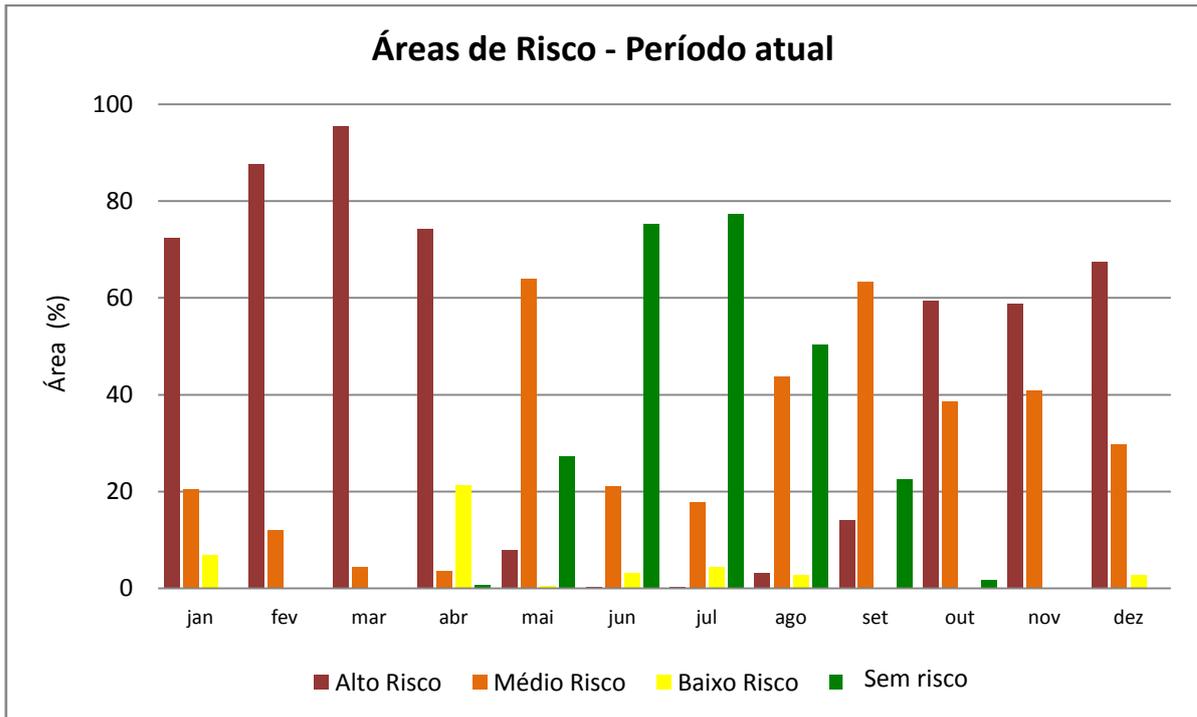


GRÁFICO 1 - ÁREAS EM PORCENTAGEM DAS CLASSES DE RISCO NO DECORRER DO ANO NO PERÍODO DE REFERÊNCIA (CENÁRIO ATUAL).

FONTE: O autor (2013)

A estação de inverno é o período de menor favorabilidade ao desenvolvimento da ferrugem, com a classe Sem Risco de doença chegando a 75,4% e 77,4% nos meses de junho e julho, respectivamente (TABELA 2). Esta área Sem Risco ocorre devido à ocorrência de temperaturas médias baixas (abaixo de 15°C) que, mesmo com molhamento foliar favorável, não permitem o desenvolvimento do fungo. As únicas áreas que apresentaram Médio Risco durante o inverno foram as regiões do litoral de Santa Catarina e Paraná e extremo oeste do Rio Grande do Sul. No norte e oeste do Paraná continuou presente áreas na classe de Alto Risco, além das áreas de Médio e Baixo Risco, durante toda a estação (FIGURA 3).

A partir dos meados da primavera, as áreas da classe com Alto Risco de ocorrência da doença voltam a ser dominantes (TABELA 2), formando-se apenas pequenas áreas Sem Risco no alto da Serra do Mar de Santa Catarina e Rio Grande do Sul ao final da estação (FIGURA 3), devido às baixas temperaturas que ainda

ocorrem em locais de grande altitude nesta época do ano. O último mês da primavera tende a assemelhar-se mais com os meses do verão.

Estas observações corroboram com os resultados obtidos por Bora (2013), onde o autor verificou que os meses com maior favorabilidade à ferrugem do eucalipto no estado do Paraná, a partir de dados de infecção de *Puccinia psidii*, corresponderam ao período entre outubro e abril, principalmente na estação do verão, e o período menos favorável ocorreu de maio a setembro, principalmente na estação do inverno. Ruiz (1988) igualmente mencionou que as condições mais favoráveis para o desenvolvimento da doença na região Sul do Brasil encontram-se principalmente na estação do verão.

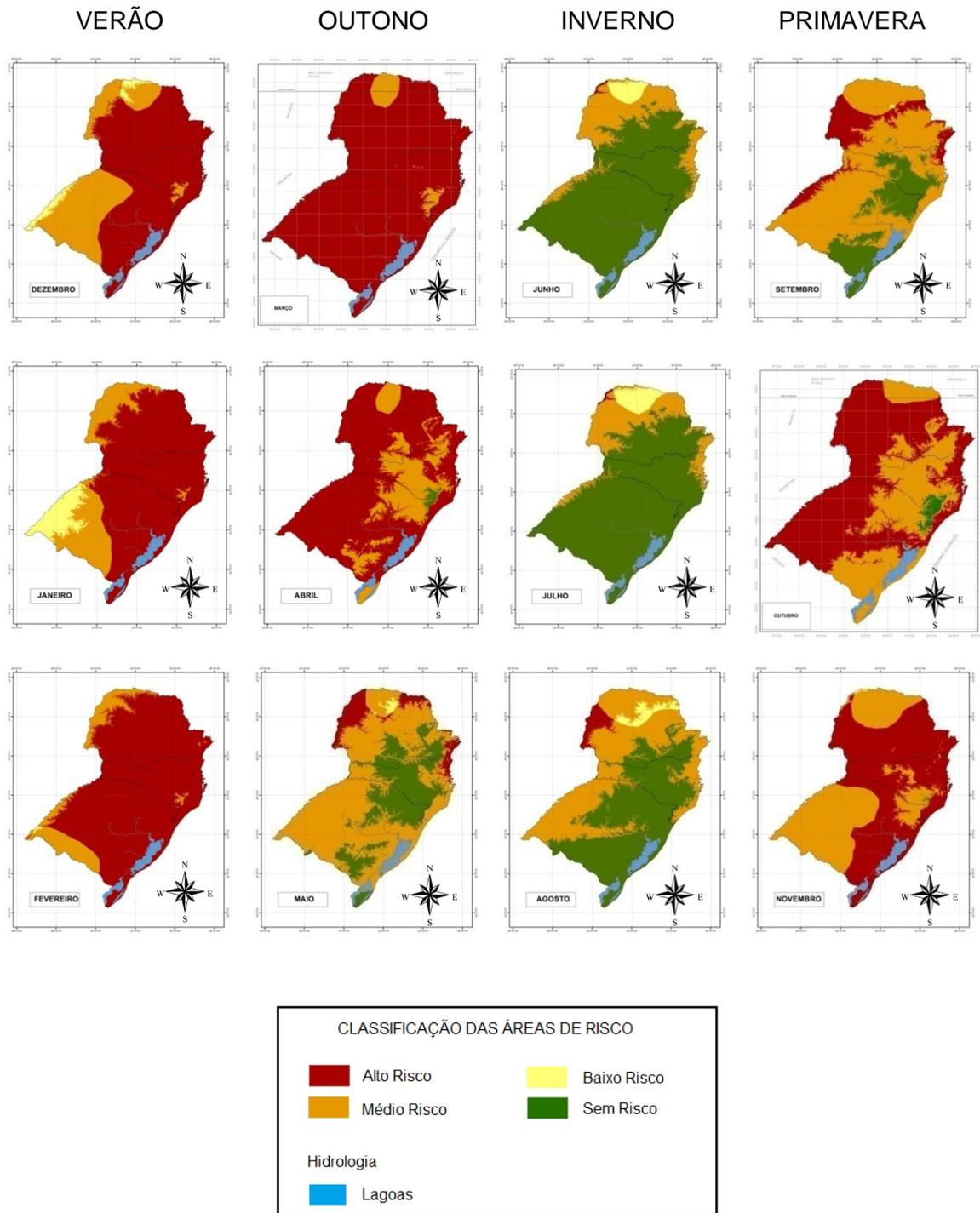


FIGURA 3 - ÁREAS DE RISCO DE OCORRÊNCIA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NA REGIÃO SUL DO BRASIL NO DECORRER DO ANO NO CENÁRIO ATUAL.

FONTE: O autor (2013).

5.2 CENÁRIO CLIMÁTICO B1 DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NA REGIÃO SUL DO BRASIL

No cenário B1 (mais otimista dentro das projeções do IPCC), quando comparando com o cenário atual, observa-se a mudança das áreas de risco no decorrer do tempo para diferentes estações.

No período de 2011 a 2040, no verão, observa-se que a área com a classe de Alto Risco de ocorrência da ferrugem diminui em relação ao período atual, quando o mês de dezembro apresentou uma diminuição da área de Alto Risco para 50,1%, mantendo-se decrescente até fevereiro com 28,1% (GRÁFICO 2). Ainda assim, deve-se atentar ao fato de que no verão ainda existem grandes áreas ocupadas com a classe Médio Risco (FIGURA 4 e GRÁFICO 3).

No outono, encontram-se os meses mais favoráveis à ferrugem, abril e maio (FIGURA 5) com 96,3% e 95,2% da área ocupada com a classe de Alto Risco (TABELA 3), sendo o restante da área classificada como Médio Risco, devido somente ao fato do período de molhamento foliar ser inferior a 4 horas.

No inverno, as áreas de Alto Risco decrescem (FIGURA 6), chegando a 15,5% e 37,3% em junho e julho, respectivamente (TABELA 3). Grande parte da Região Sul ainda é ocupada por áreas com Médio Risco, devido às temperaturas concentrarem-se entre 15 e 18 °C com molhamento foliar acima de quatro horas, ou por ocorrência de temperatura ideal (entre 18 e 25°C) com molhamento foliar abaixo de quatro horas. Ao final do inverno, no mês de agosto, a área ocupada com a classe de Alto Risco volta a subir para 88,5% (TABELA 3) mantendo-se alta durante toda a primavera até a entrada do verão (GRÁFICO 2). Sendo assim, as estações que concentram a maior área com a classe de Alto Risco neste período de tempo são outono (FIGURA 5) e primavera (FIGURA 7), enquanto predominam áreas de Médio Risco no verão e inverno (FIGURAS 4 e 6). A classe Sem Risco quase não ocorre, e aparece apenas nos meses de junho e julho, com cerca de 0,1% da área, localizadas no alto da serra catarinense (FIGURA 6 e TABELA 6).

No período de 2041 a 2070, a tendência se mantém mostrando outono e primavera como estações com maior área de Alto Risco (FIGURAS 5 e 7). As áreas ocupadas pela classe de Alto Risco aumentam nos meses de junho, julho e agosto para 72,9%, 71,8% e 89,3%, respectivamente (GRÁFICO 2). Sendo assim, o inverno

também passa a apresentar grandes áreas de Alto Risco de ocorrência da ferrugem na região Sul (FIGURA 6). As exceções são as regiões serranas, pela ocorrência de temperaturas entre 15 e 18°C, e a região norte do Paraná, devido ao baixo molhamento foliar, porém são consideradas na classe de Médio Risco, onde os cuidados em relação à doença devem ser mantidos.

O verão deixa de ter a sua maior área ocupada com a classe de Alto Risco, que diminui para 28,1%, 25,4% e 16,3% nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, respectivamente (TABELA 3), concentrando-se nas regiões serranas de maior altitude (FIGURA 4). A área ocupada com a classe Médio Risco no mês do verão fica em torno de 57% (TABELA 4), devido à alta temperatura, e a classe de Baixo Risco ocupa uma área de aproximadamente 14% (TABELA 5), devido à alta temperatura em conjunto com o baixo molhamento foliar (FIGURA 4).

No período de 2071 a 2100, a tendência do clima é de ficar o oposto do cenário atual, onde o período com maior área de Alto Risco concentra-se no inverno (FIGURAS 6), com 87,8%, 84,9% e 89,9% nos meses de junho, julho e agosto, respectivamente (GRÁFICO 02), espalhadas por quase toda a região Sul. A estação menos favorável corresponde ao verão, com 15,2% da área ocupada com a classe de Alto Risco (GRÁFICO 2), 68,1% da área com Médio Risco (GRÁFICO 3) e 16,7% da área com Baixo Risco (GRÁFICO 4). As áreas ocupadas por zonas de alto risco situam-se principalmente nas regiões serranas.

Apesar do que foi constatado, deve-se ressaltar que as estações de outono (FIGURAS 5) e primavera (FIGURA 7) também possuem grandes áreas ocupadas pela classe de Alto Risco de ocorrência da doença (média acima de 70%) (TABELA 3).

Em quase todos os períodos as áreas situadas no oeste do Rio Grande do Sul e no norte do Paraná apresentam-se menos favoráveis à ferrugem do que o restante da região, devido principalmente ao baixo molhamento foliar e a ocorrência de temperaturas elevadas.

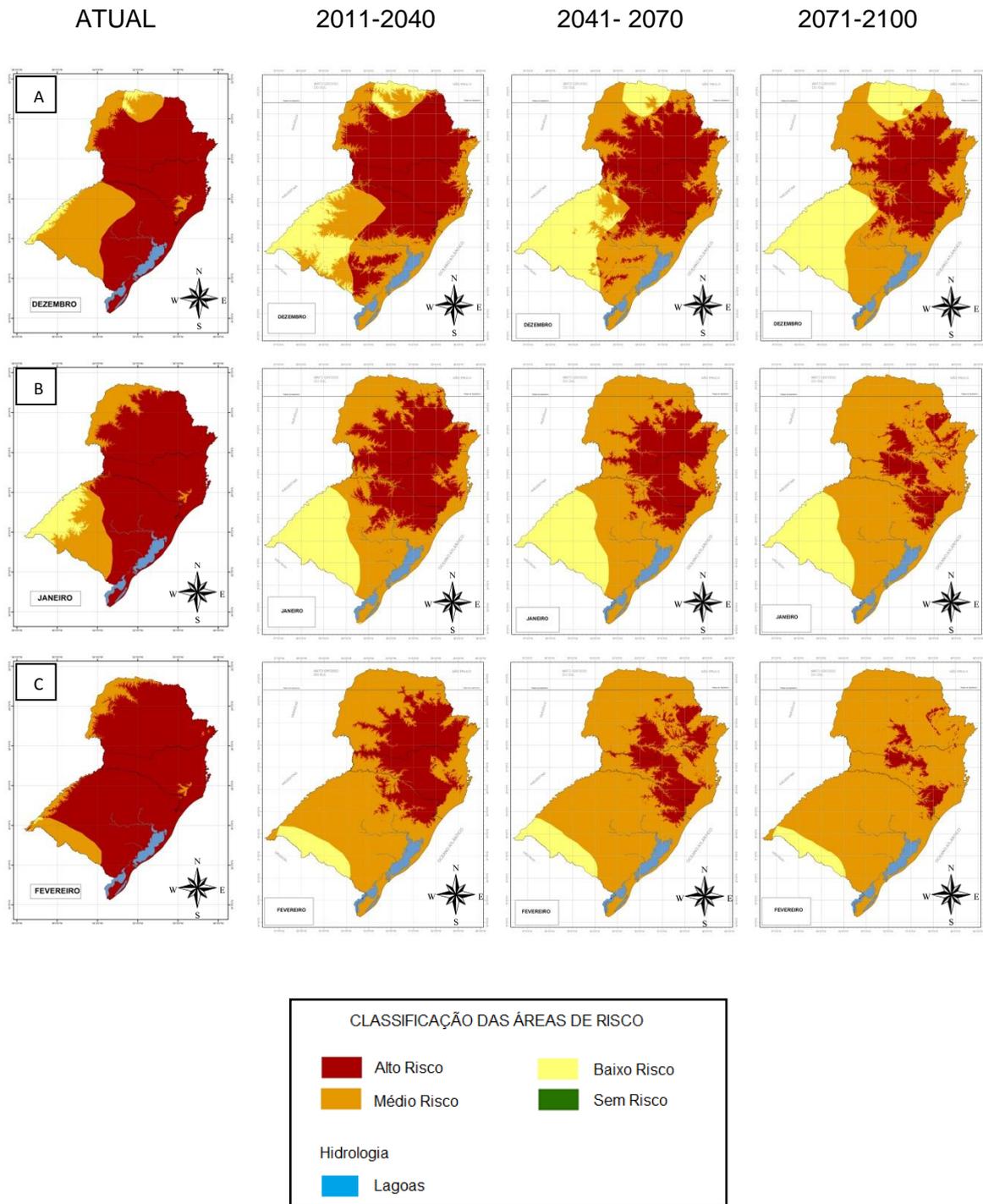


FIGURA 4 – EVOLUÇÃO DAS ÁREAS DE RISCO DE DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO CENÁRIO B1 NA REGIÃO SUL DO BRASIL NO PERÍODO DE VERÃO. (A. DEZEMBRO. B. JANEIRO. C. FEVEREIRO)
 FONTE: O autor (2013)

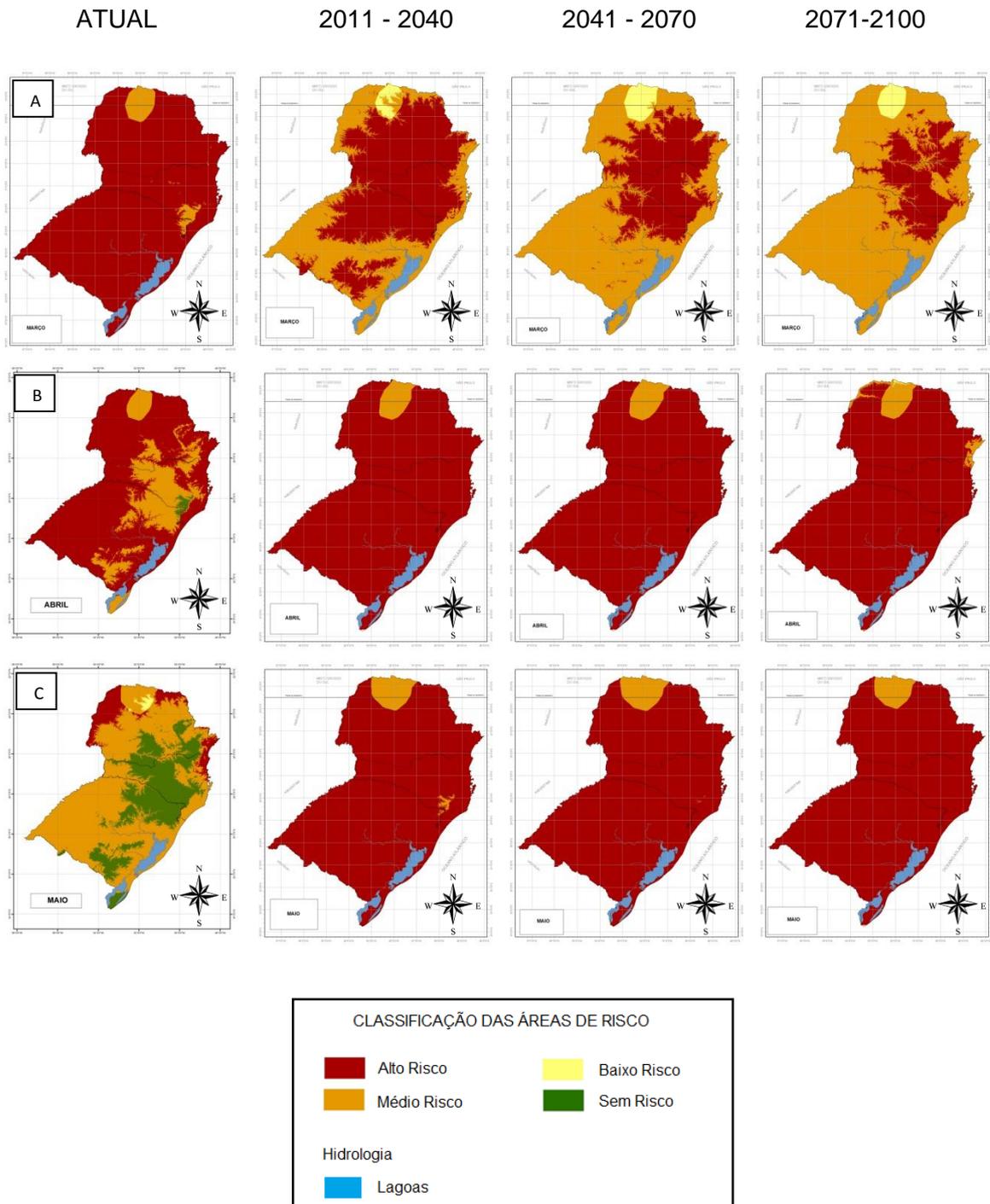


FIGURA 5 – EVOLUÇÃO DAS ÁREAS DE RISCO DE DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO CENÁRIO B1 NA REGIÃO SUL DO BRASIL NO PERÍODO DE OUTONO. (A. MARÇO. B. ABRIL. C. MAIO).

FONTE: O autor (2013)

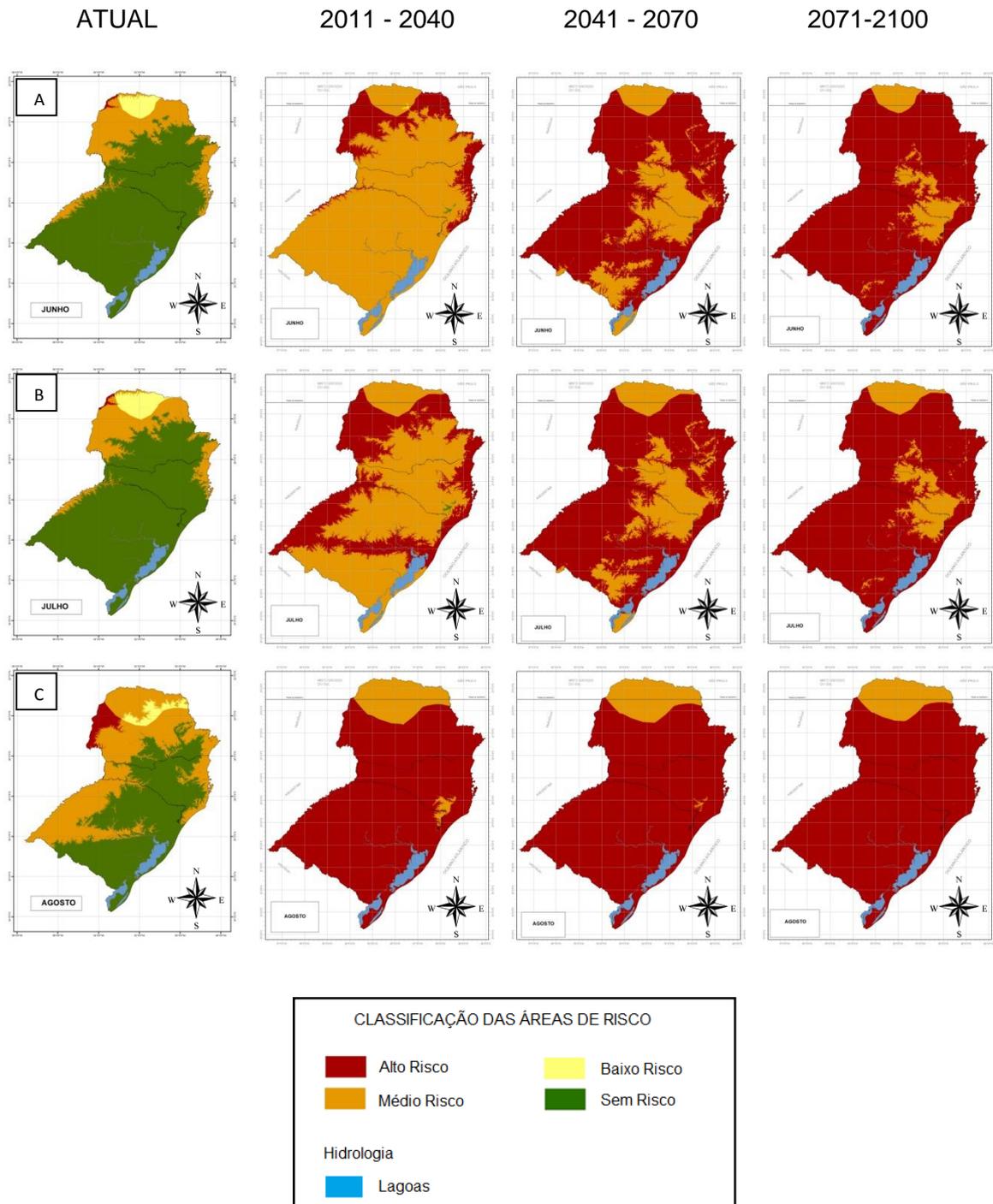


FIGURA 6 - EVOLUÇÃO DAS ÁREAS DE RISCO DE DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO CENÁRIO B1 NA REGIÃO SUL DO BRASIL NO PERÍODO DE INVERNO. (A. JUNHO. B. JULHO. C. AGOSTO)

FONTE: O autor (2013)

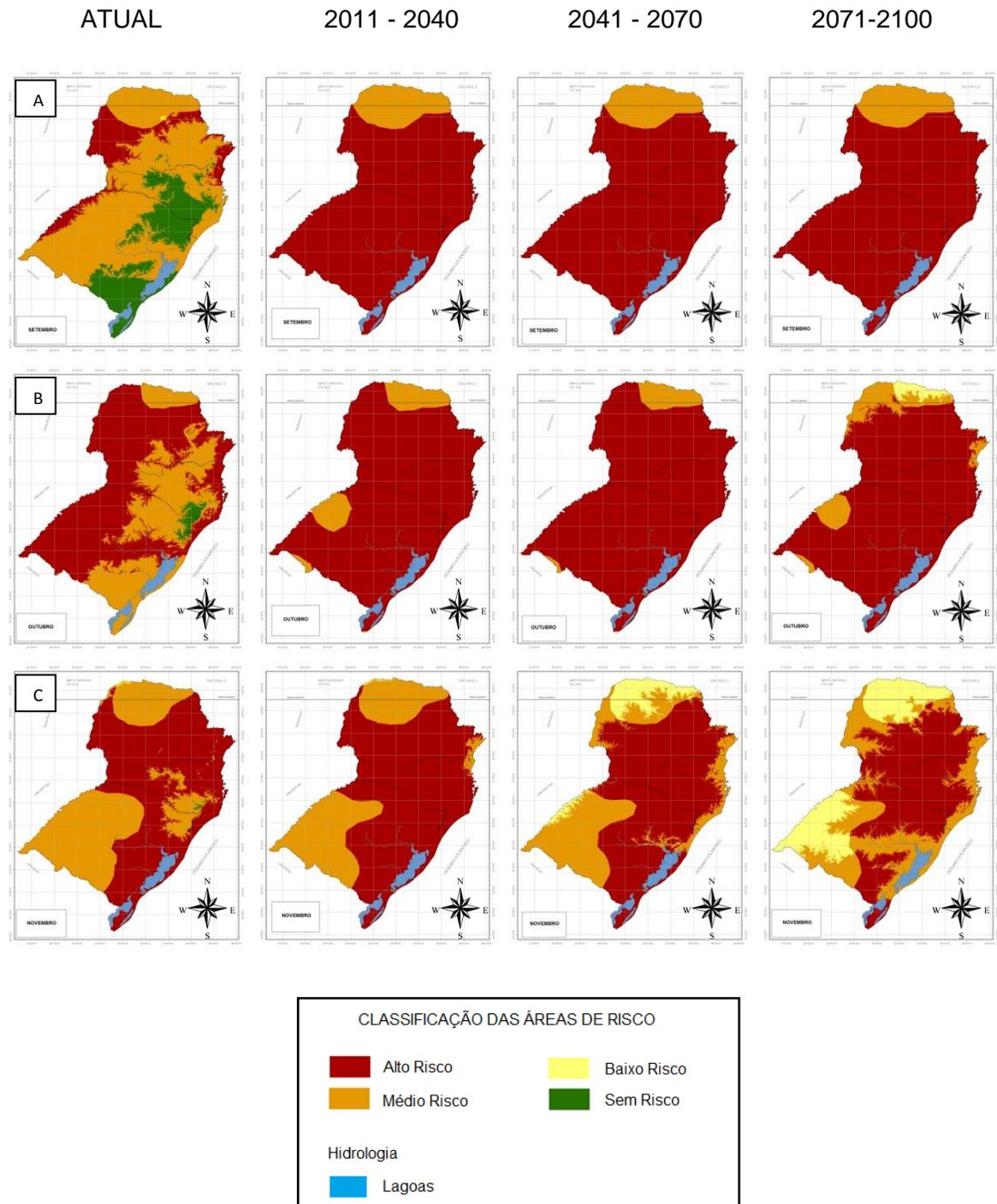


FIGURA 7 – EVOLUÇÃO DAS ÁREAS DE RISCO DE DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO CENÁRIO B1 NA REGIÃO SUL DO BRASIL NO PERÍODO DE PRIMAVERA. (A. SETEMBRO. B. OUTUBRO. C. NOVEMBRO)

FONTE: O autor (2013)

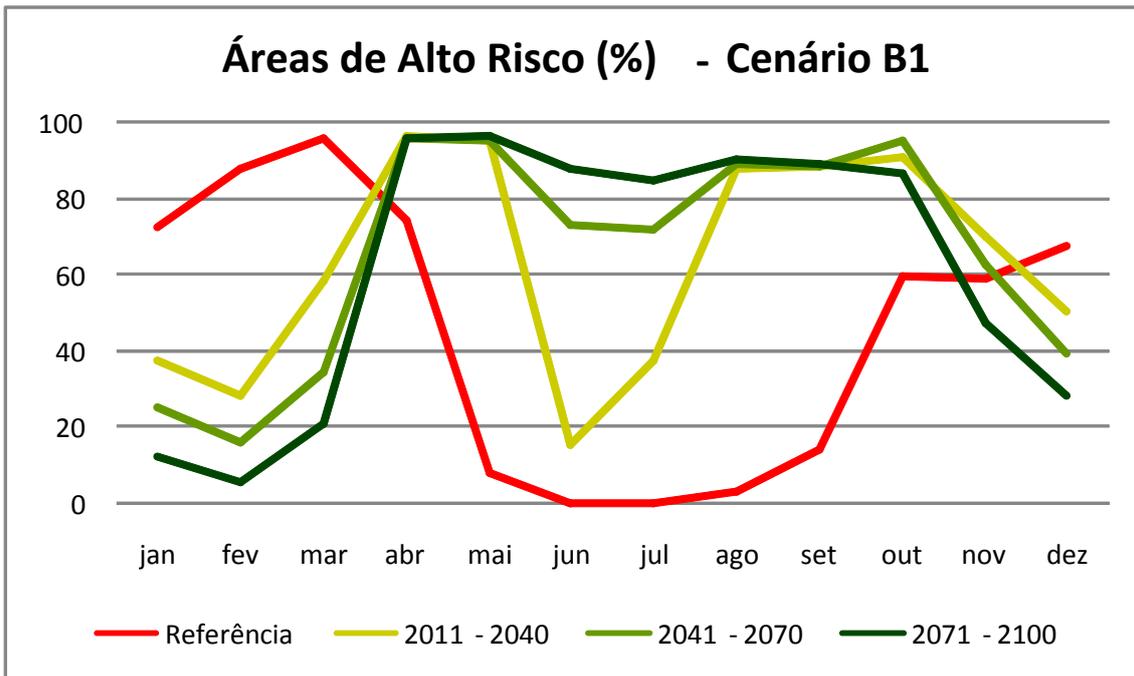


GRÁFICO 2 – EVOLUÇÃO DAS ÁREAS, EM PORCENTAGEM, DA CLASSE DE ALTO RISCO PARA DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO DECORRER DAS DÉCADAS NO CENÁRIO B1.

FONTE: O autor (2013)

TABELA 3 - ÁREAS (EM PORCENTAGEM) DE ALTO RISCO PARA DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO DECORRER DAS DÉCADAS NO CENÁRIO B1.

ÁREA (%)	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Referência	72,5	87,7	95,6	74,3	7,9	0,3	0,3	3,2	14,1	59,5	58,9	67,5
2011 - 2040	37,4	28,1	58,4	96,3	95,2	15,5	37,3	88,0	88,5	90,6	69,7	50,1
2041 - 2070	25,4	16,3	34,2	95,9	95,4	72,9	71,8	89,3	88,6	94,9	62,8	39,4
2071 - 2100	12,5	5,4	21,2	96,0	96,2	87,8	84,9	89,9	88,9	86,8	47,1	28,4

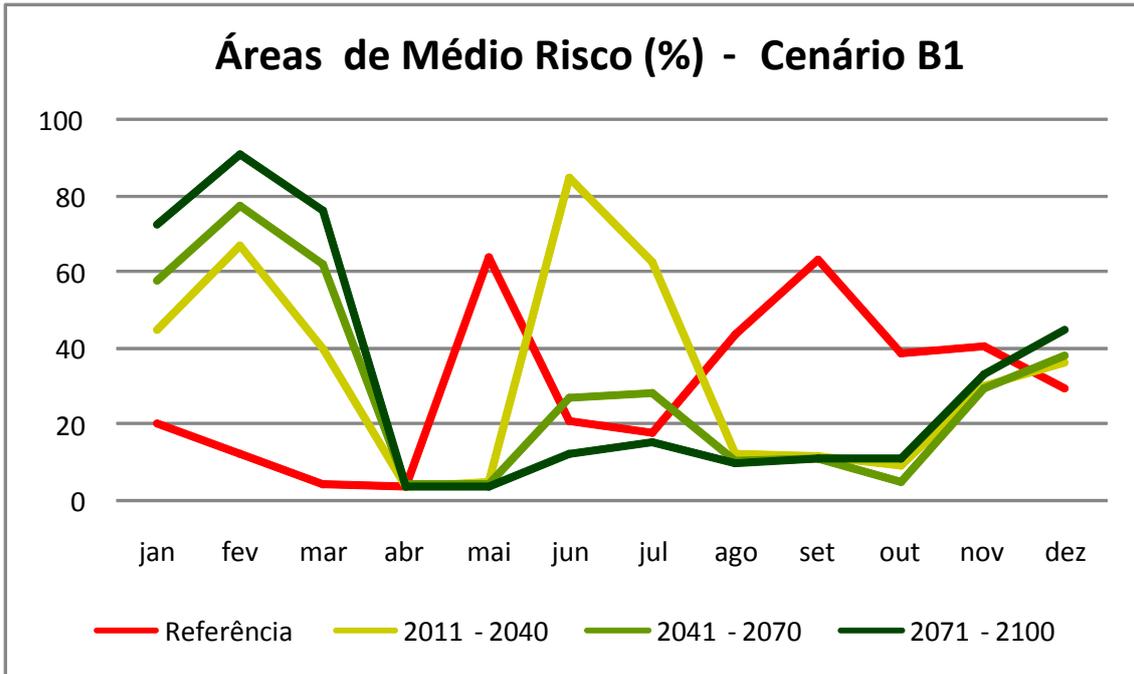


GRÁFICO 3 - EVOLUÇÃO DAS ÁREAS, EM PORCENTAGEM, DA ÁREA DE MÉDIO RISCO PARA DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO DECORRER DAS DÉCADAS NO CENÁRIO B1.

FONTE: O autor (2013)

TABELA 4 - ÁREAS (EM PORCENTAGEM) DE MÉDIO RISCO PARA DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO DECORRER DAS DÉCADAS NO CENÁRIO B1.

ÁREAS (%)	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Referência	20,5	12,2	4,4	3,6	64,1	21,1	17,9	43,8	63,3	38,7	40,8	29,8
2011 - 2040	44,9	66,6	39,9	3,7	4,8	84,4	62,6	12,0	11,5	9,4	30,2	36,0
2041 - 2070	57,5	77,6	62,2	4,1	4,6	27,1	28,2	10,7	11,4	5,1	29,8	38,3
2071 - 2100	72,2	90,6	75,9	3,9	3,8	12,2	15,1	10,1	11,1	11,0	33,4	44,8

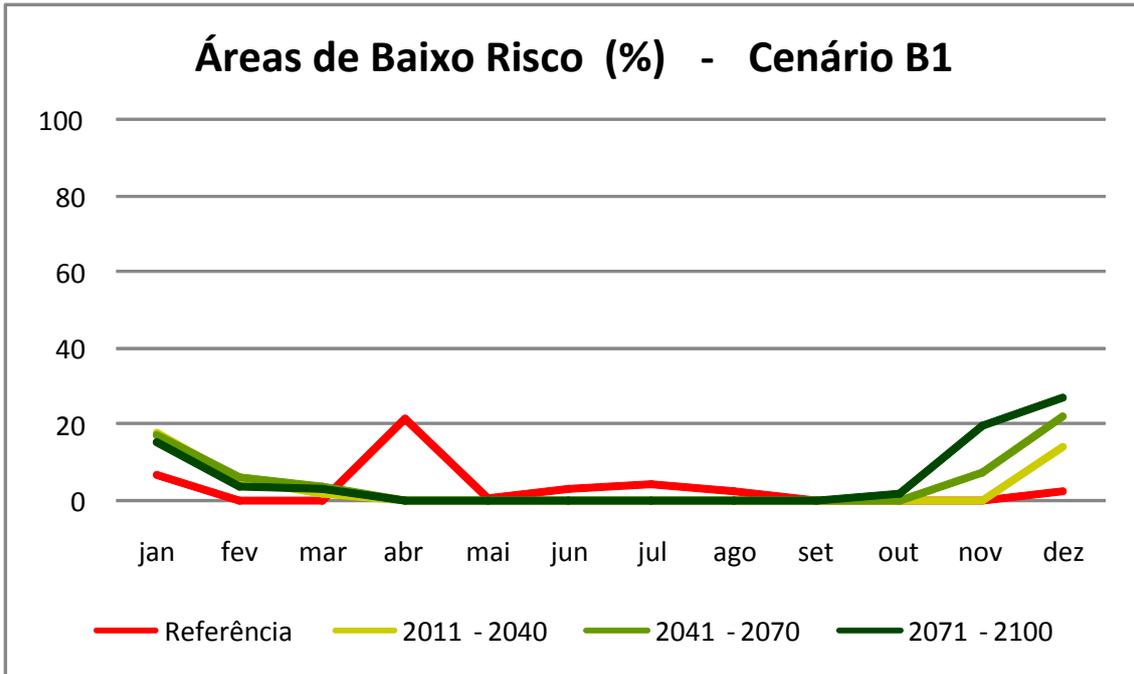


GRÁFICO 4 – EVOLUÇÃO DAS ÁREAS, EM PORCENTAGEM, DA CLASSE DE BAIXO RISCO PARA DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO DECORRER DAS DÉCADAS NO CENÁRIO B1.

FONTE: O autor (2013)

TABELA 5 - ÁREAS (EM PORCENTAGEM) DE BAIXO RISCO PARA DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO DECORRER DAS DÉCADAS NO CENÁRIO B1.

ÁREAS (%)	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Referência	7,0	0,1	0	21,3	0,6	3,2	4,4	2,8	0,1	0	0,1	2,7
2011 - 2040	17,8	5,3	1,8	0	0	0	0	0	0	0	0,1	13,9
2041 - 2070	17,1	6,2	3,6	0	0	0	0	0	0	0	7,5	22,2
2071 - 2100	15,3	4,0	2,9	0,1	0	0	0	0	0	2,1	19,5	26,9

5.3 CENÁRIO CLIMÁTICO A2 DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NA REGIÃO SUL DO BRASIL.

O cenário A2 (mais pessimista dentro das projeções climáticas do IPCC), quando comparado ao cenário atual, mostra que no período de 2011 a 2041 a época mais favorável para a ferrugem encontra-se nas estações de outono (FIGURA 9) e primavera (FIGURA 11), com a classe de Alto Risco ocupando as maiores áreas, enquanto a época menos favorável ocorre durante a estação do verão (FIGURA 8). Os meses mais favoráveis à ferrugem são abril e maio (outono), com 96% e 95,4% da área classificada como Alto Risco (TABELA 7). Porém, o restante da área ainda é ocupado por áreas de Médio Risco, que ocorrem devido ao baixo molhamento no norte do Paraná, e baixa temperatura nos pontos mais altos da serra catarinense (FIGURA 9).

No inverno, as áreas de Alto Risco caem para 44,5% e 45,2% em junho e julho, respectivamente, enquanto em agosto esta área aumenta para 88,5%, mantendo-se alta até a primavera (TABELA 7). Na primavera, a área média ocupada pela classe de Médio Risco é de 14,2% da região Sul (TABELA 8 e FIGURA 11).

Em dezembro, as áreas com Alto Risco regridem para 49,1%, concentrando-se nas regiões de maiores altitudes, e mantendo-se decrescente até fevereiro (26,3%) (TABELA 7 e FIGURA 8). As estações que concentram a maior área da classe de Alto Risco são outono, com aproximadamente 70% e primavera, com uma média aproximada de 74% (GRÁFICO 6 E TABELA 7). A classe Sem Riscos da doença desaparece completamente, não se manifestando em nenhum mês do ano (GRÁFICO 9 e TABELA 10).

No período de 2041 a 2070, a estação com maior área de Alto Risco passa a ser o inverno, com uma média de 90% (GRÁFICO 6 E TABELA 7). Os outros 10% da área correspondem a áreas de Médio Risco, que ocorrem devido ao baixo molhamento foliar ou baixa temperatura (FIGURA 10). O verão possui somente 15,5%, em média, de sua área ocupada com a classe de Alto Risco (GRÁFICO 6 e TABELA 7), localizadas principalmente na serra e regiões de altitude (FIGURA 8), porém a área ocupada com a classe de Médio Risco no verão é alta, com valor de 67% (GRÁFICO 7 e TABELA 8), enquanto a média das áreas de Baixo Risco ocupa uma área de 17,6% da região Sul (GRÁFICO 8 e TABELA 9).

No período de 2071 a 2100, as áreas de Alto Risco quase desaparecem no verão, ocupando somente uma área média de 1,1% da região Sul (GRÁFICO 6 e TABELA 7), aparecendo nos altos de serra (FIGURA 8). No entanto, deve-se ressaltar que nesta estação, em média, 80% da região é ocupada por áreas de Médio Risco (GRÁFICO 7 e TABELA 8) e somente 18,2% das áreas pertencem à classe de Baixo Risco (GRÁFICO 8 e TABELA 9). O inverno (FIGURA 10) é a estação que concentra as maiores áreas de Alto Risco, com uma média de 92,5% (GRÁFICO 6 e TABELA 7) e os outros 7,5% correspondem, ainda, a áreas de médio Risco.

Assim como no cenário B1, todos os períodos do cenário A2 também mostram que as áreas situadas no norte do estado do Paraná e no oeste do estado do Rio Grande do Sul tendem a ter um menor risco de ocorrência da doença em relação ao restante da região sul, devido ao baixo molhamento foliar e às altas temperaturas.

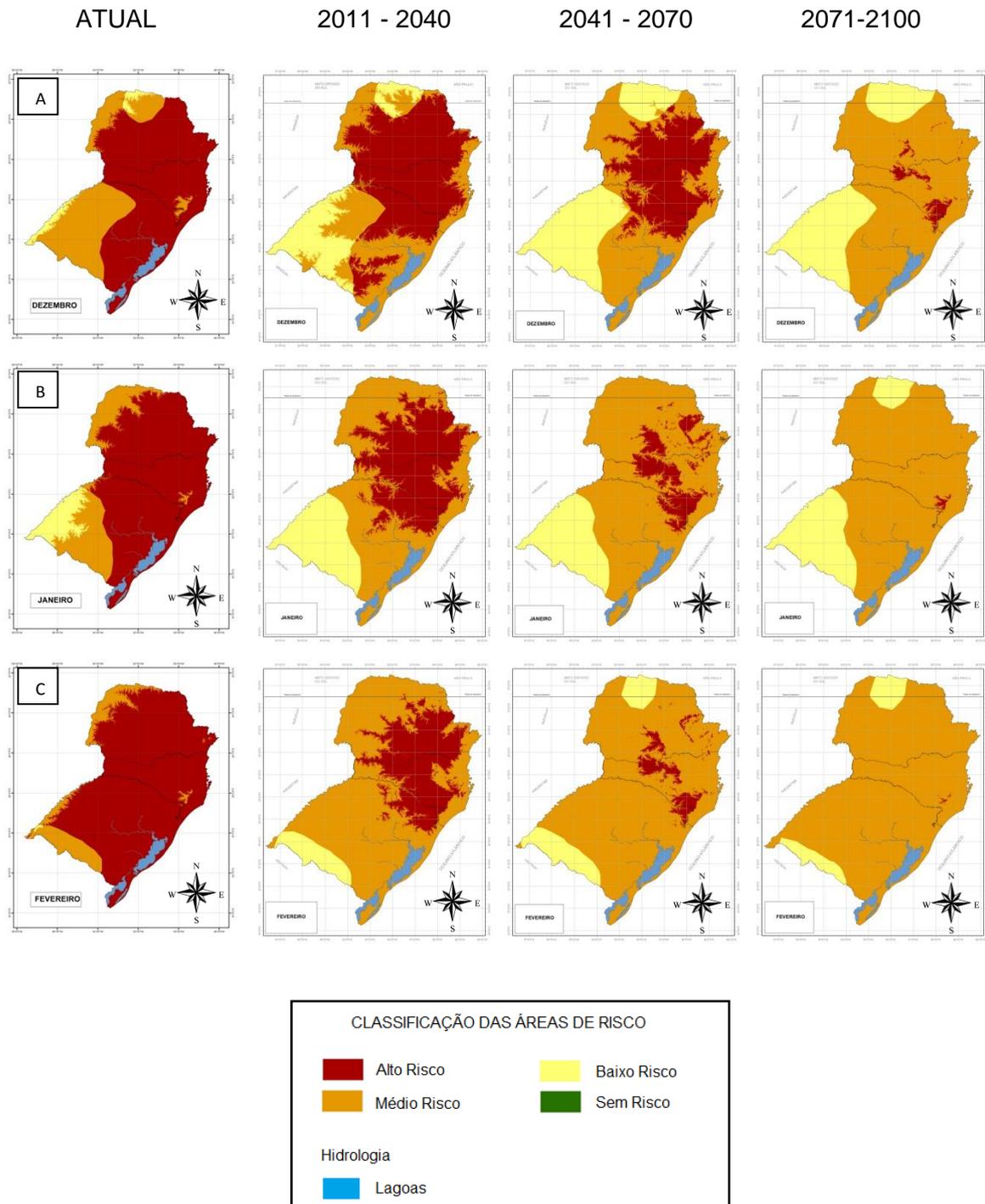


FIGURA 8 – EVOLUÇÃO DAS ÁREAS DE RISCO DE DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO CENÁRIO A2 NA REGIÃO SUL DO BRASIL NO PERÍODO DE VERÃO. (A. DEZEMBRO. B. JANEIRO. C. FEVEREIRO)
 FONTE: O autor (2013)

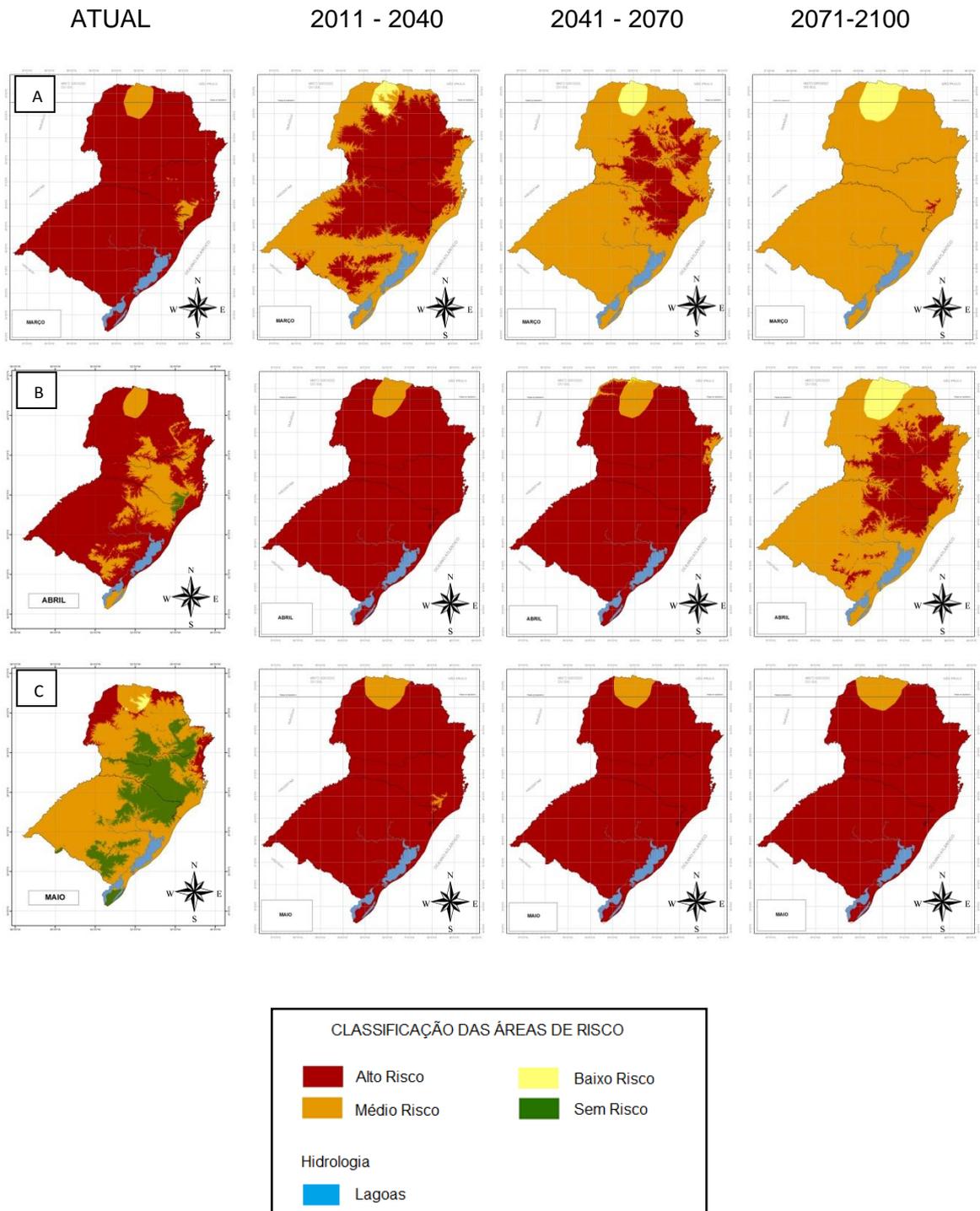


FIGURA 9 – EVOLUÇÃO DAS ÁREAS DE RISCO DE DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO CENÁRIO A2 NA REGIÃO SUL DO BRASIL NO PERÍODO DE OUTONO. (A. MARÇO. B. ABRIL. C. MAIO)

FONTE: O autor (2013)

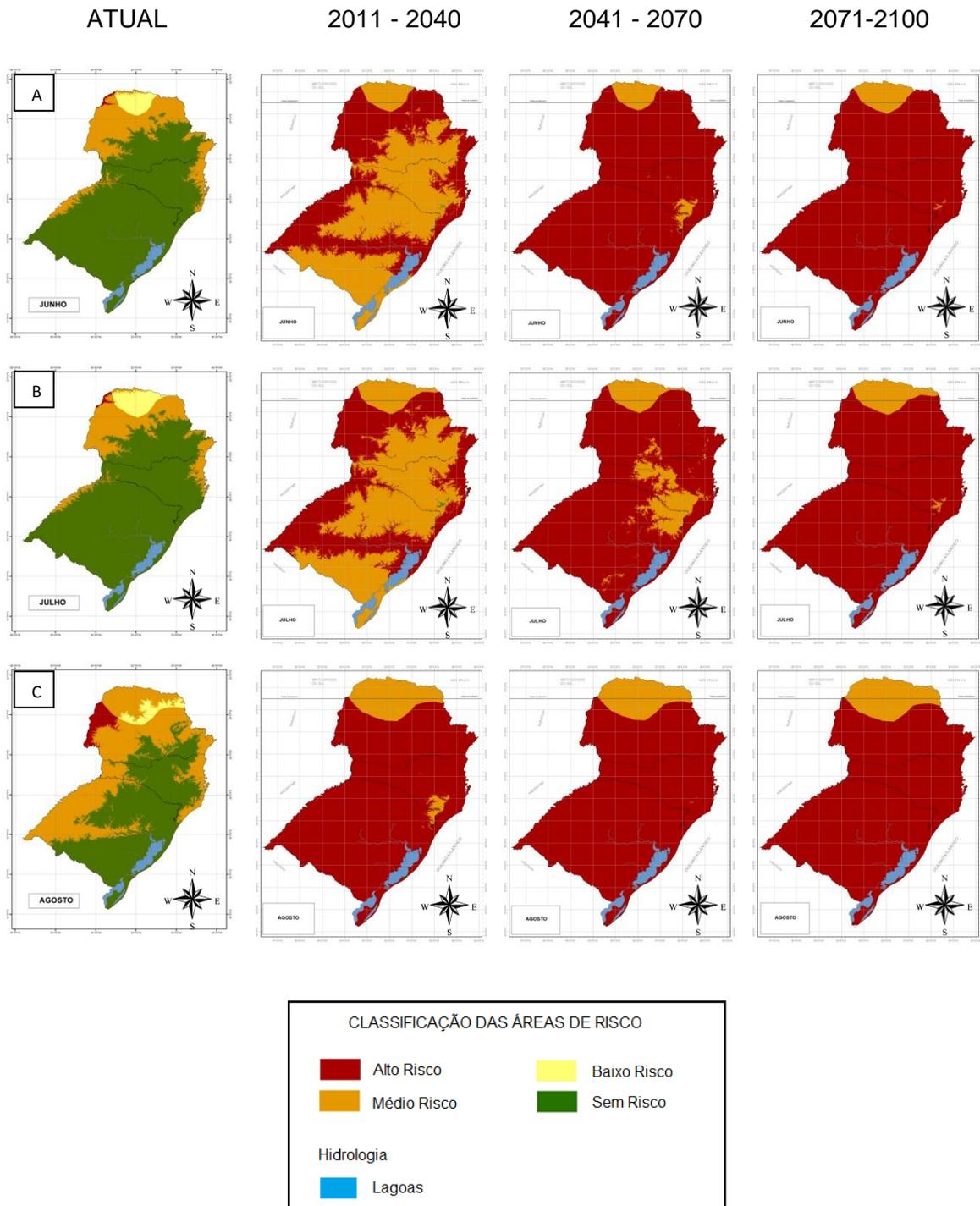


FIGURA 10 - EVOLUÇÃO DAS ÁREAS DE RISCO DE DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALÍPTO NO CENÁRIO A2 NA REGIÃO SUL DO BRASIL NO PERÍODO DE INVERNO. (A. JUNHO. B. JULHO. C. AGOSTO)

FONTE: O autor (2013)

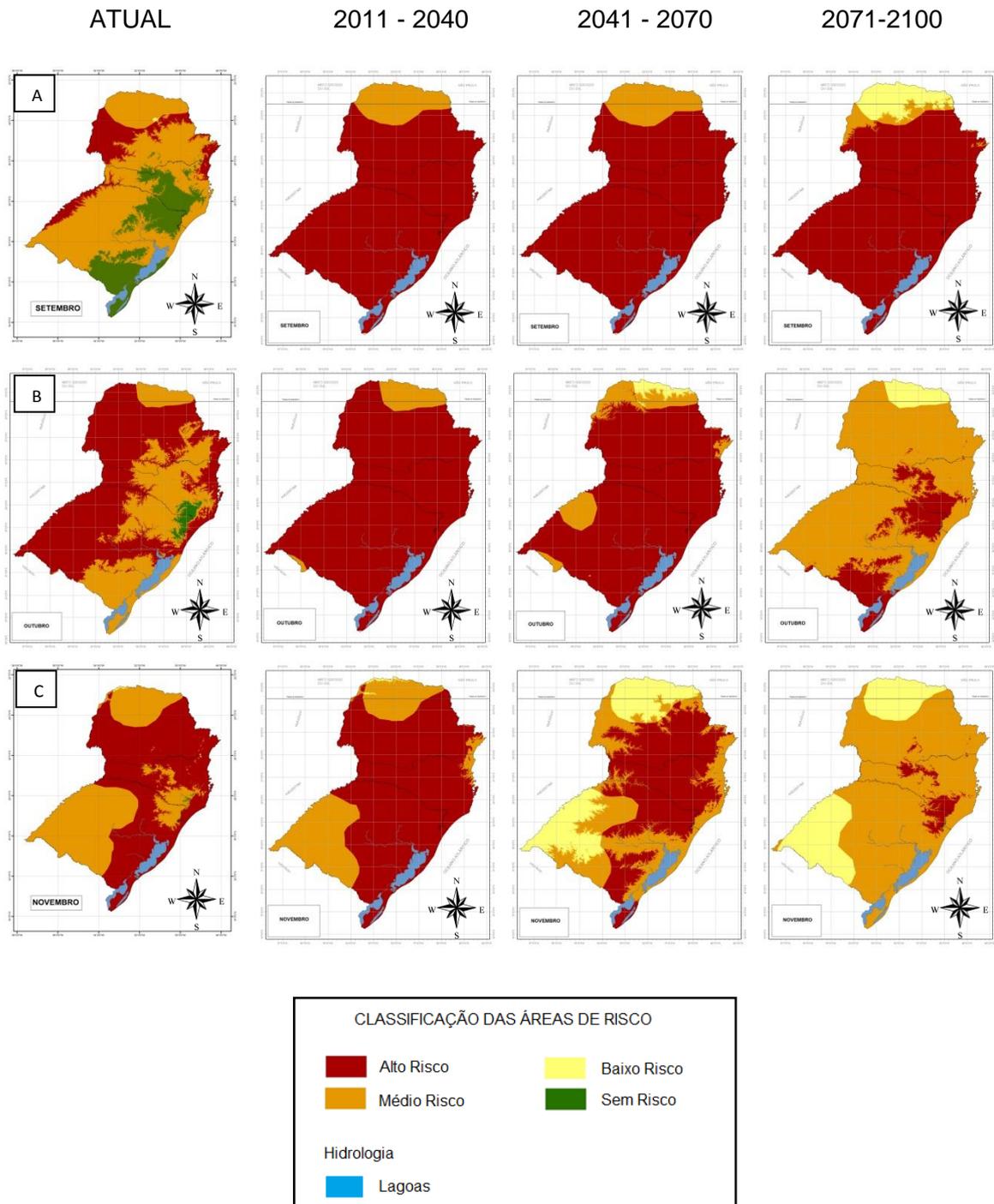


FIGURA 11 – EVOLUÇÃO DAS ÁREAS DE RISCO DE DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO CENÁRIO A2 NA REGIÃO SUL DO BRASIL NO PERÍODO DE PRIMAVERA. (A. SETEMBRO. B. OUTUBRO. C. NOVEMBRO)

FONTE: O autor (2013)

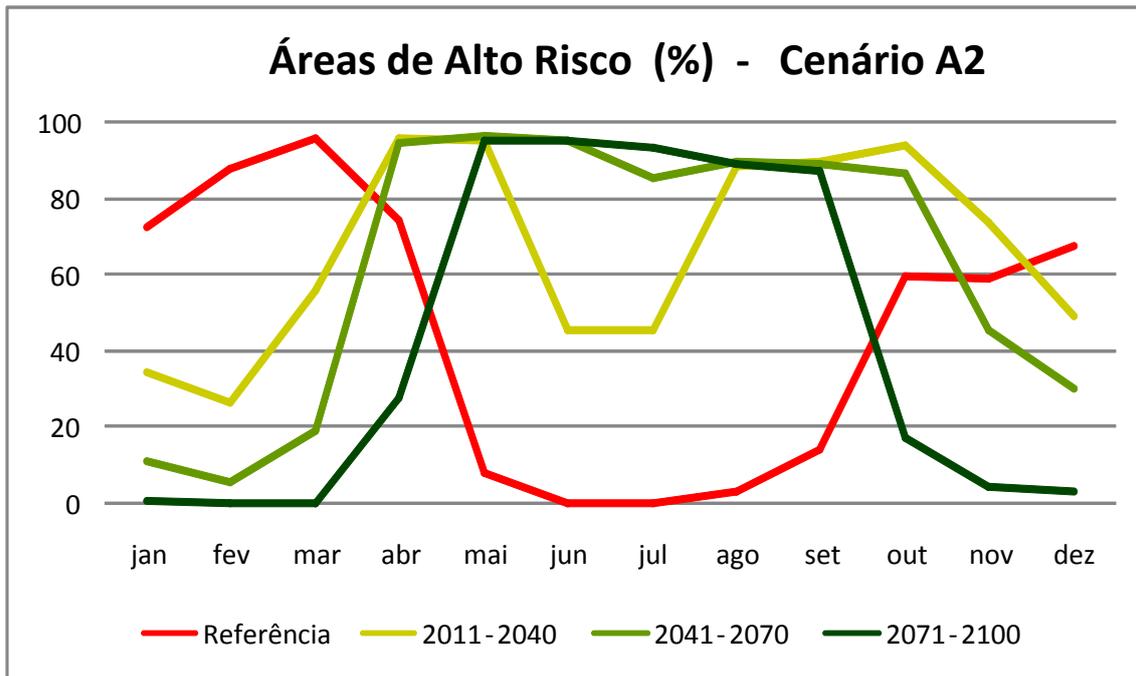


GRÁFICO 6 – EVOLUÇÃO DAS ÁREAS, EM PORCENTAGEM, DA CLASSE DE ALTO RISCO PARA DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO DECORRER DAS DÉCADAS NO CENÁRIO A2.

FONTE: O autor (2013)

TABELA 7 - ÁREAS (EM PORCENTAGEM) DE ALTO RISCO PARA DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO DECORRER DAS DÉCADAS NO CENÁRIO A2.

ÁREAS (%)	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Referência	72,5	87,7	95,6	74,3	7,9	0,3	0,3	3,2	14,1	59,5	58,9	67,5
2011 - 2040	34,6	26,3	56,2	96,0	95,4	45,5	45,2	88,5	89,5	94,1	73,5	49,1
2041 - 2070	11,0	5,5	19,1	94,4	96,2	95,1	85,3	89,9	88,9	86,6	45,4	29,9
2071 - 2100	0,4	0,1	0,2	27,5	95,0	95,0	93,2	89,3	87,2	17,4	4,3	2,9

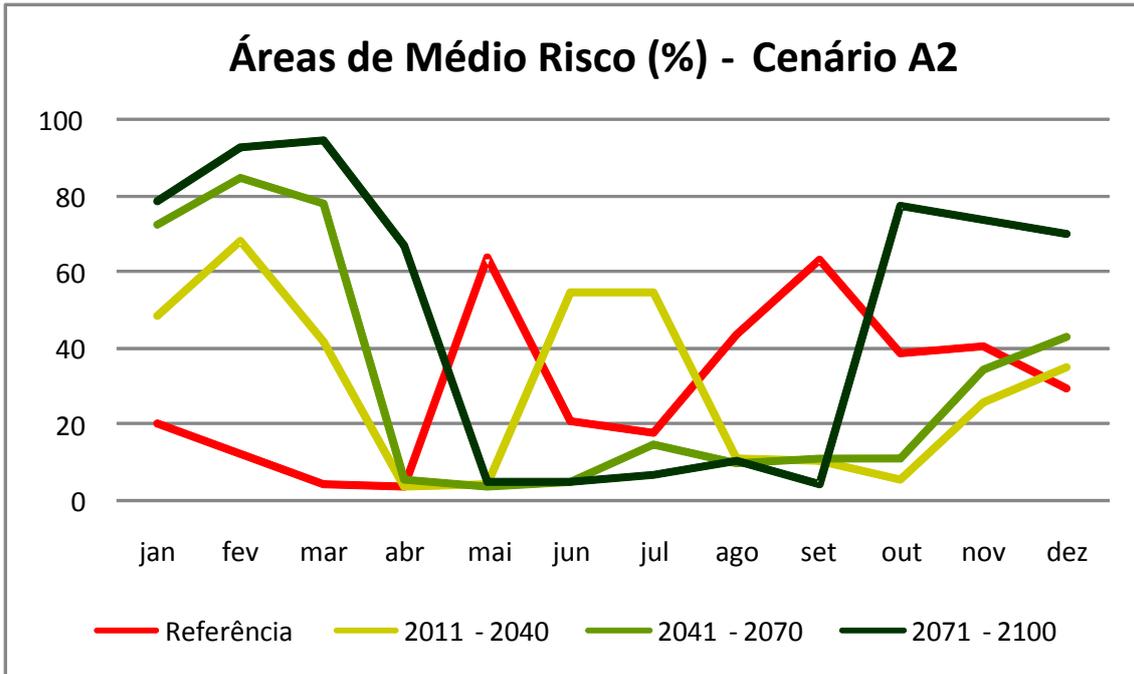


GRÁFICO 7 – EVOLUÇÃO DAS ÁREAS, EM PORCENTAGEM, DA CLASSE DE MÉDIO RISCO PARA DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO DECORRER DAS DÉCADAS NO CENÁRIO A2.

FONTE: O autor (2013)

TABELA 8 - ÁREAS (EM PORCENTAGEM) DE MÉDIO RISCO PARA DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO DECORRER DAS DÉCADAS NO CENÁRIO A2.

ÁREA (%)	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Referência	20,5	12,2	4,4	3,6	64,1	21,1	17,9	43,8	63,3	38,7	40,8	29,8
2011 - 2040	48,5	68,2	41,9	4,0	4,6	54,5	54,8	11,5	10,5	5,9	26,1	35,4
2041 - 2070	72,8	84,8	77,9	5,5	3,8	4,9	14,7	10,1	11,1	11,4	34,7	43,3
2071 - 2100	79,1	93,0	94,8	67,4	5,0	5,0	6,8	10,7	4,4	77,9	73,6	69,9

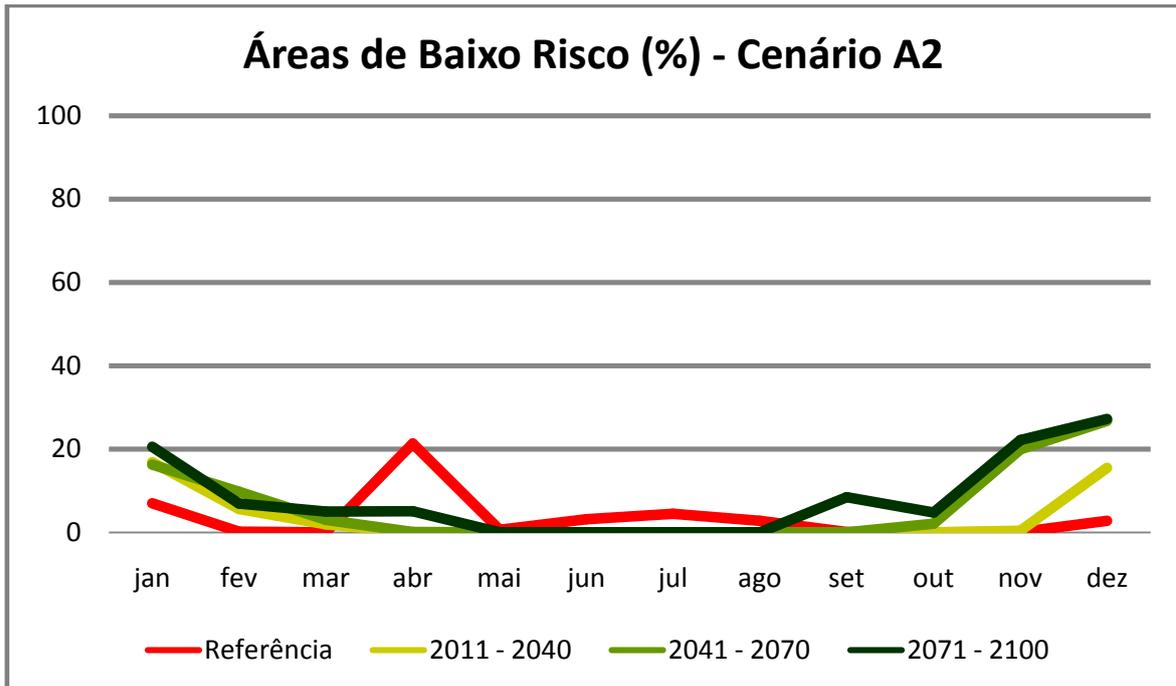


GRÁFICO 8- EVOLUÇÃO DAS ÁREAS, EM PORCENTAGEM, DA CLASSE DE BAIXO RISCO PARA DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO DECORRER DAS DÉCADAS NO CENÁRIO A2.

FONTE: O autor (2013)

TABELA 9 - ÁREAS (PORCENTAGEM) DE BAIXO RISCO PARA DESENVOLVIMENTO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO DECORRER DAS DÉCADAS NO CENÁRIO A2

ÁREA (%)	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Referência	7,0	0,1	0	21,3	0,6	3,2	4,4	2,8	0,1	0	0,1	2,7
2011 - 2040	16,9	5,6	1,9	0	0	0	0	0	0	0	0,4	15,5
2041 - 2070	16,2	9,7	3,0	0,1	0	0	0	0	0	2,0	19,9	26,8
2071 - 2100	20,5	6,9	5,0	5,1	0	0	0	0	8,4	4,7	22,2	27,2

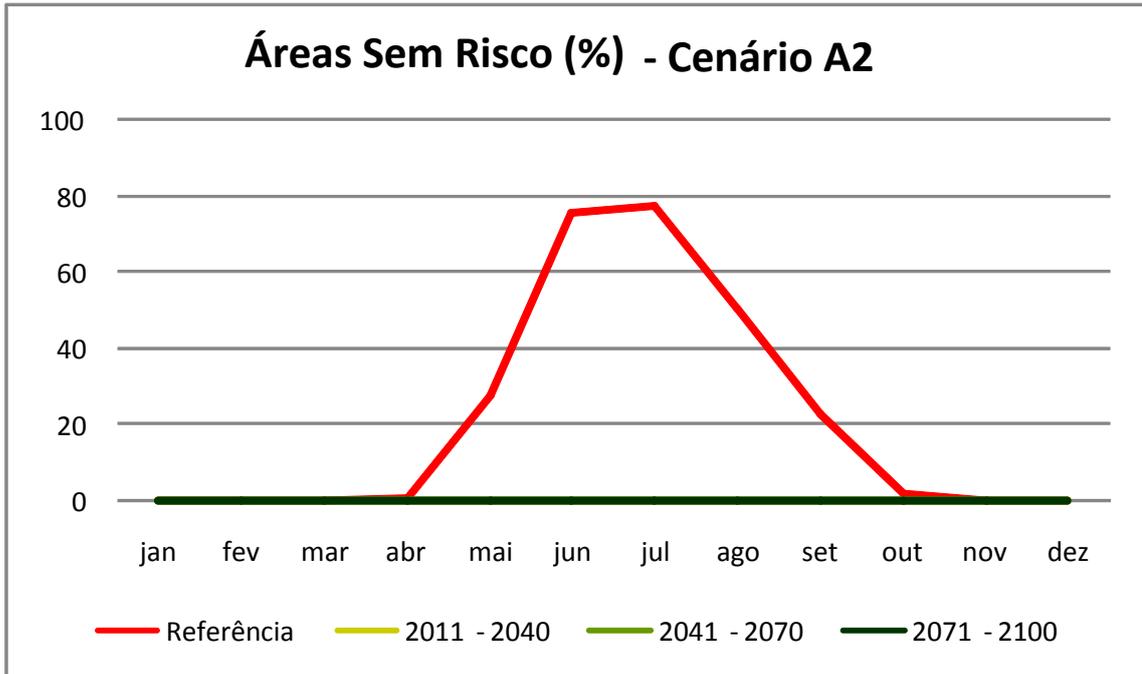


GRÁFICO 9 – EVOLUÇÃO DAS ÁREAS, EM PORCENTAGEM, SEM RISCO DE FERRUGEM DO EUCALIPTO NO DECORRER DAS DÉCADAS NO CENÁRIO A2.

FONTE: O autor (2013)

TABELA 10 - ÁREAS (EM PORCENTAGEM) SEM RISCO DE FERRUGEM DO EUCALIPTO NO DECORRER DAS DÉCADAS NO CENÁRIO A2

ÁREA (%)	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Referência	0	0	0	0,8	27,4	75,4	77,4	50,3	22,6	1,8	0,1	0
2011 - 2040	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2041 - 2070	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2071 - 2100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

As regiões localizadas no norte do Paraná e no Oeste do Rio Grande do Sul foram as únicas áreas que apresentaram áreas de Baixo Risco. Estas zonas formaram-se devido à ocorrência de altas temperaturas em conjunto com um baixo período de molhamento foliar (menos que quatro horas diárias).

De maneira geral, a maior parte das alterações dos tamanhos das áreas das classes de risco deu-se em razão das mudanças de temperatura. Os dados de molhamento foliar, apesar de apresentarem uma tendência de diminuição, sofrem pouca influência nos cenários previstos pelo IPCC, quando comparados aos dados de temperatura média.

O fungo *Puccinia psidii* necessita de umidade sobre as folhas e brotações em condições noturnas (sem luminosidade) para que os urediniosporos germinem e

possam penetrar na planta hospedeira (FERREIRA, 1989). Esta umidade na forma de água livre pode ser originada por precipitação pluviométrica ou por orvalho e neblina noturnos. Como a germinação é o primeiro passo para se iniciar o processo infeccioso, se não houver condição favorável (temperatura e molhamento foliar), a ferrugem não se desenvolve (FERREIRA, 1989). Todavia, em um estudo realizado por Moraes (2009) sobre a ferrugem do eucalipto nos estados da Bahia e do Espírito Santo, o autor concluiu que a duração do período de molhamento foliar não foi limitante para a ocorrência da doença. Sendo assim, mesmo nas regiões onde são constatados períodos de baixo molhamento foliar, deve-se realizar monitoramento periódico. Mesmo nas áreas de menor risco podem ocorrer surtos da doença em espécies altamente suscetíveis.

Tanto no cenário mais pessimista (A2) quanto no mais otimista (B1), as áreas consideradas Sem Risco de ocorrência da doença, motivadas por temperaturas abaixo dos 15°C, tendem a desaparecer já nos primeiros anos de forma drástica. Isto provavelmente deve-se ao fato de que, nos dados gerados pelo modelo utilizado neste trabalho para projetar as mudanças climáticas, a tendência da média das temperaturas mínimas é de aumentar mais do que a média das temperaturas máximas, de modo que as noites serão mais quentes em relação ao cenário atual. Corroborando com esta afirmação, Marengo *et al.* (2007) observaram em seu estudo, a partir de dados climáticos de 1951 a 2002, que as temperaturas mínimas têm aumentado em todo país em torno de 1,4°C por década, enquanto as máximas e médias vem aumentando de 0,4 a 0,6°C por década, respectivamente.

Sansigolo e Kayano (2010) em estudo do comportamento das tendências das temperaturas máximas e mínimas no estado do Rio Grande do Sul, durante o período de 1913 a 2006 concluíram que as temperaturas mínimas sazonais apresentaram tendências significativas de aumento de 1,5°C a cada 100 anos no outono, de 1,9°C no verão e de 1,8°C nas outras duas estações do ano, enquanto as temperaturas máximas de verão apresentaram tendências significativas de decréscimo, sendo, no caso, de 0,6°C a cada 100 anos, enquanto nas outras estações permaneceram constantes.

Os resultados desses dois estudos atestam para o fato das temperaturas mínimas tenderem a subir mais que as máximas, podendo explicar a previsão do desaparecimento mais drástico das zonas sem risco de ocorrência da doença durante o inverno.

No decorrer dos anos, em ambos os cenários, o verão apresenta temperaturas médias acima dos 25°C, desfavorecendo o desenvolvimento do fungo, enquanto o inverno passa a apresentar temperaturas médias acima dos 15 e 18°C. Desta maneira, acaba ocorrendo uma inversão quando comparados os cenários futuros e o atual, onde o verão deixa de ser favorável e o inverno passa a ser o mais favorável.

Esta tendência também foi observada por Moraes (2009), onde o autor elaborou mapas atuais mensais a partir de dados climáticos dos anos de 1961 a 1990 e mapas mensais futuros baseados nos cenários A2 e B2 do IPCC, utilizando como parâmetros índices de infecção da ferrugem do eucalipto, e dados climáticos de temperaturas e umidade relativa. A partir destas informações, o autor realizou mapeamentos mensais de distribuição das áreas de risco de ocorrência da ferrugem para todo o Brasil, tanto no cenário atual (referência), como nos cenários futuros. Em seus mapas também é possível observar que, na região Sul do Brasil, haverá a inversão das zonas de risco, onde o verão deixa de ser favorável e o inverno passar a ser favorável, de modo a ficar o inverso do período atual.

Porém, o período do verão não deve ser descuidado, pois, como mostra o presente estudo, ele apenas deixa de ser a estação mais favorável, porém ainda apresenta grandes áreas ocupadas pela classe de Médio Risco, que também pode ocasionar surtos severos da doença nos plantios.

Ruiz *et. al.*, (1989) destacaram que, além das condições climáticas favoráveis à germinação e infecção, também faz-se necessária a presença de tecidos foliares jovens. Estes tecidos são atacados por serem mais tenros, tanto em mudas como árvores até os 2 anos de idade, ou ainda a rebrota no campo oriunda do corte raso. Os tecidos podem ser os primórdios foliares com seus pecíolos, terminais de galhos, ramos e haste principal (FERREIRA, 1989). Estas informações são importantes uma vez que, por mais que as condições do clima sejam favoráveis à infecção, na ausência das situações citadas, o fungo não consegue desenvolver-se completamente ou disseminar-se, de modo que não consegue completar seu ciclo e nem causar uma epidemia.

Segundo Bora (2013), nas localidades mais frias da região Sul do Brasil, os órgãos juvenis estão presentes nos eucaliptos principalmente no verão, enquanto no inverno, ocorre a parada no crescimento do eucalipto e da produção de brotações e, conseqüentemente, não se verificam tecidos suscetíveis à ferrugem. Deste modo

pode-se dizer que, apesar de nos cenários futuros o inverno tornar-se mais favorável à ferrugem, a ausência dos tecidos juvenis nas plantas pode impedir o desenvolvimento do patógeno.

Entretanto, as mudanças climáticas também influenciarão nas plantas, tornando estes estudos bastantes complexos, por envolver tanto a influência do clima no comportamento do patógeno como o efeito das mudanças climáticas no comportamento da cultura em questão (HAMADA *et. al.*, 2006). Com o aumento das temperaturas, principalmente das temperaturas mínimas, poderão ocorrer alterações no padrão de comportamento de algumas espécies de eucalipto. O aumento do CO₂ tende a beneficiar principalmente as espécies florestais, uma vez que este gás está diretamente ligado à fotossíntese, além de atentar para o fato do aumento das temperaturas mínimas, que diminui o risco de ocorrência de geada (Painel Florestal, 2010).

Segundo Assad *et al.* (2004), nos casos de culturas tolerantes a altas temperaturas, provavelmente haverá um efeito benéfico da mudança climática até o seu limite próprio de tolerância ao estresse térmico. No caso de regiões com ocorrências de baixas temperaturas, que atualmente são limitantes ao desenvolvimento de culturas suscetíveis às geadas, poderão apresentar condições favoráveis ao desenvolvimento da vegetação com o aumento das temperaturas. Estas mudanças poderão modificar o comportamento fisiológico do eucalipto, provavelmente aumentando o período de crescimento e surgimento de tecidos jovens em outras épocas, além de permitir o plantio de espécies mais tropicais a subtropicais.

De acordo com o zoneamento ecológico para plantios florestais no estado de Santa Catarina (EMBRAPA, 1988), as espécies de eucalipto mais comuns nas áreas mais quentes e livres de geada no estado de Santa Catarina, como no litoral, são o *Eucalyptus grandis* e *E. robusta*, também podendo-se encontrar plantios de *Eucalyptus citriodora* (= *Corymbia citriodora*). Os plantios de *E. grandis* podem ser feitos em regiões mais frias nos topos dos morros ou nas partes superiores de encostas, tomando-se cuidado com as geadas. Nas áreas mais frias, com ocorrência de geadas frequentes e severas, encontra-se principalmente *E. dunnii* e *E. benthamii*. O *E. dunnii* é indicado para plantios comerciais em todo o estado de Santa Catarina, em locais com geadas menos rigorosas e sem geadas tardias. Recomenda-se o plantio em altitudes entre 500 e 1.000 metros, onde o inverno é um

fator limitante à várias outras espécies de eucaliptos. O *E. benthamii* também tem mostrado bom crescimento e resistência às geadas em plantios nas regiões mais frias de Santa Catarina, onde há bom tempo a espécie foi relatada como promissora (EMBRAPA, 1988). No estado do Paraná, a indicação para plantio destas duas espécies feita por Paludzyszyn Filho *et al* (2006) é muito semelhante. Porém, segundo Alfnas *et al.*(2009), *E. grandis*, *E. dunnii* e *E. benthamii* estão entre as espécies de eucalipto suscetíveis à ferrugem.

Atualmente, nas regiões litorâneas da região Sul e em outras áreas mais quentes, a ocorrência da *Puccinia psidii* é comumente verificada, por vezes causando severos danos em plantios comerciais de eucalipto, de modo que já existe preocupação na escolha do material genético a ser plantado (espécies, híbridos e clones). Em regiões mais frias (regiões da serra e zonas de grandes altitudes), devido ao fato do inverno ser mais rigoroso e não permitir o desenvolvimento da doença durante o ano inteiro, a severidade da ferrugem do eucalipto é baixa e quando ocorre, não provoca danos significativos. Com o aumento da temperatura nas regiões mais frias, o inverno deixará de ser um fator limitante ao desenvolvimento do fungo *Puccinia psidii*, de maneira que a doença poderá se desenvolver durante todo o ano de forma ininterrupta, podendo causar surtos severos aos plantios de eucalipto com material genético suscetível, o que demandará estudos em relação à resistência para a doença.

Outro fator relevante é que, com o aumento da temperatura, as espécies ou clones mais promissoras no futuro poderão não ser as mesmas da atualidade. Espécies menos tolerantes ao frio, mas resistentes tolerantes à ferrugem podem vir a ser plantadas. De qualquer maneira, é indicado que os plantadores de eucalipto se informem à respeito da espécie que desejam plantar, mas que seja adaptada ao clima local e apresente resistência à ferrugem.

Outra recomendação prática é que sejam plantadas espécies/clones que atinjam mais precocemente a maturidade dos tecidos, para reduzir o tempo de exposição do tecido suscetível das árvores ao fungo. Também, deve-se evitar o plantio de mudas na época de maior risco de ocorrência da ferrugem, uma vez que a muda, quando retirada do viveiro e levada a campo, passa por um período de estresse fisiológico, que pode predispor ao ataque do patógeno.

Para uma análise mais profunda dos efeitos das mudanças climáticas sobre a ferrugem do eucalipto, novos estudos com o zoneamento climático precisam ser

feitos com os eucaliptos a serem cultivados nos cenários futuros. Outros estudos seriam referentes ao comportamento silvicultural das principais espécies plantadas ante às mudanças climáticas. Como o eucalipto é influenciado pelo clima, podem ocorrer alterações em sua fenologia de crescimento que por sua vez influenciarão períodos de formação de tecidos jovens, os quais podem coincidir com os períodos de alto risco à doença.

Neste trabalho não foi considerada a adaptação de *Puccinia psidii* a novos ambientes. Se considerarmos que as mudanças climáticas se tornam em um fator de pressão de seleção, novas raças e biótipos mais adaptados aos novos cenários poderão surgir ou ocorrer, alterando significativamente estas previsões conforme comentado por Kobori *et al.* (2011).

6. CONCLUSÕES

- 1) No cenário atual, a estação com a maior área ocupada com a classe de Alto Risco de ocorrência da ferrugem na região Sul do Brasil é o verão, enquanto a estação com a menor área ocupada pela classe de Alto Risco é o inverno.
- 2) Foi observada a tendência de inversão do padrão atual, ou seja, no decorrer dos anos o verão tende a tornar-se menos favorável, enquanto o inverno passa a ser mais favorável.
- 3) Com o passar das décadas, em ambos os cenários futuros, as classes de Baixo Risco e Sem Risco da doença tendem a diminuir, devido principalmente ao aumento das temperaturas mínimas.
- 4) Nos dois cenários futuros (A2 e B1), a classe Sem Risco de ferrugem do eucalipto tende a desaparecer drasticamente logo nas primeiras décadas.
- 5) O fator de maior influência na transição das classes de risco será a mudança de temperatura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. **Anuário Estatístico da ABRAF 2013, ano base 2012/ABRAF**. Brasília 2013, 148p.

ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E. A. V.; MAFIA, R. G.; ASSIS, T. F. de. **Clonagem e doenças do eucalipto**. Viçosa, MG: UFV. 2009. 500 p.

APARECIDO, C.C. **Ecologia de *Puccinia psidii*, agente causal da ferrugem das mirtáceas**. 2009. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2009_2/puccinia/index.htm>. Acesso em: abril de 2012.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J.; AVILA, A. M. H. **Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil**. Pesquisa Agropecuária Brasileira., Brasília, v.39, n.11, p.1057-1064. 2004

AUER, C. G.; SANTOS, A. F. dos; BORA, K. C. **A ferrugem do eucalipto na região Sul do Brasil**. Comunicado Técnico, 252 - Colombo: Embrapa Florestas, 5p. 2010.

ÁVILA, A. M. H. **Uma Síntese do Quarto Relatório do IPCC**. Revista Multiciência. Campinas. v. 8. Mudanças Climáticas. 163-168p. Maio. 2007.

BERTOLA, A. **O Eucalipto e suas origens**. Revista da Madeira. N.59 Set, 2001. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_capa.php?edicao=59&button2=OK>. Acesso em outubro 2012

BORA, K. C. **Favorabilidade climática da ferrugem do eucalipto no estado do Paraná**. 59f. Curitiba - Paraná. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

BRACELPA - **Associação Brasileira de Celulose e Papel**. Florestas plantadas – Dados do Setor - Maio de 2013. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/estatisticas/booklet.pdf>> Acesso em: junho de 2013.

BRACELPA - **Florestas Plantadas de Eucalipto e Pinus: A Solução Verde**. 2007. Disponível em: <http://www.bracelpa.org.br/bra/saibamais/florestas/index.html>. Acesso em setembro 2012

BREPOHL, D. **A contribuição do setor florestal à economia brasileira.** Revista Floresta, Curitiba, Vol. 11 N. 1 p.53-57. 1980.

BRUNELLI, K. R.; KOBORI, R. F.; GIORIA, R. **Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças do melão no Brasil.** In: GHINI, R.; HAMADA, E. (Ed.). Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p.129-139. 2008.

COUTINHO, T. A.; WINGFIELD, M. J.; ALFENAS, A. C.; CROUS, P. W.; ***Eucalyptus rust a disease with the potential for serious international implications.*** Report Special. Plant Disease n.82 p. 819-925. Jul. 1998.

CROP Protection Compendium: **datasheet: *Puccinia psidii*.** Disponível em: <<http://www.cabi.org/cpc/?compid=1&dsid=45846&loadmodule=datasheet&page=868&site=161>>. Acesso em: fevereiro 2013

DEMUNER, N. L., ALFENAS, A. C. **Fungicidas sistêmicos para controle da ferrugem causada por *Puccinia psidii* em *Eucalyptus cloeziana*.** Fitopatologia Brasileira, v.16, n.3, p.174-7,1991.

EMBRAPA. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado de Santa Catarina.** Embrapa - CNPF. Documento 21. Curitiba 1988

EVANGELISTA, R.Q. **Impacto das mudanças climáticas na produtividade de eucalipto em duas regiões do Brasil** . 48f. Viçosa - Minas Gerais. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2006.

FERREIRA, F. A. **Ferrugem do eucalipto.** Revista Árvore, Viçosa, v.7, n.2, p. 104, 1983.

FERREIRA, F. A. **Patologia Florestal: principais doenças florestais no Brasil.** Viçosa: SIF. 570p.1989.

FERREIRA, F. A.; MILANI, D. **Diagnose visual e controle de doenças abióticas e bióticas do eucalipto no Brasil.** Mogi Guaçu: International Paper, 2002. 98p.

FIGUEIREDO, M. B.; COUTINHO, L. N.; HENNEN, J. F. **Estudos para determinação do ciclo vital de *Puccinia psidii* Winter**. Summa Pytopathologica, Piracicaba, v. 10, p. 32, 1984.

FURTADO, E. L.; DIAS, D. C.; OHTO, C. T.; ROSA, D. D. **Doenças do eucalipto no Brasil**. Botucatu, 2009. 74p.

FURTADO, E. L. **Aspectos gerais da ferrugem do eucalipto no Brasil**. Patologia Florestal, PROTEF/IPEF. UNESP/Botucatu. 2010

GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. **Impacto das mudanças climáticas sobre as doenças de plantas**. In: GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. (Eds.) (2011). Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil. Embrapa Meio Ambiente. p. 15-39. 2011.

GHINI, R.; HAMADA, E.; GONÇALVES, R.R.V.; GASPAROTTO, L.; PEREIRA J.C.V.: **Análise de Risco das Mudanças climáticas globais sobre a Sigatoka-negra da bananeira no Brasil**. Fitopatologia Brasileira. 32:197-204. 2007.

GLOBAL EUCALYPTUS MAP 2008 - **GIT Forestry Consulting SL** -Ingeniería Agro-forestal: Consultoría y Servicios. Disponível em: http://git-forestry.com/download_git_eucalyptus_map_PT.htm. Acesso em 29 agosto 2010

GUIA DO EUCALIPTO 2008. **Oportunidades para um desenvolvimento sustentável**.. Conselho de Informações sobre Biotecnologia. [2009?].

HAMADA, E.; GHINI, R.; GONÇALVES, R.R.V. **Efeito da mudança climática sobre os problemas fitossanitários de plantas**. Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia. v.3, n.2, p. 73-85. jul/dez 2006.

HAMADA, E.; GHINI, R.; LANA, J. T. de. O; OLIVEIRA, E. de. **Avaliação da distribuição espacial e sazonal da favorabilidade climática da ferrugem do milho no Brasil**. In: WORKSHOP SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E PROBLEMAS FITOSSANITÁRIOS, 2012, Jaguariúna. Anais... Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 6p. 2012. 1 CD-ROM.

HAMADA, E. ; GONÇALVES, R.R.V. ; MARENGO, J.A. ; GHINI, R. . Cenários climáticos futuros para o Brasil. In: GHINI, R.; HAMADA, E.. (Org.). **Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil**. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, v. 1, p. 25-73. 2008.

IPCC. **Climate change 2007: the physical science basis: summary for policymakers..** Geneva: IPCC, 18p. 2007.

IPCC. **Emissions Scenarios: Summary for policymakers.** Geneva: Special Report. 20p. 2000.

JOFFILY, J. **Ferrugem do eucalipto.** *Bragantia*, v.4, n.8, p.475-487, 1944.

KOBORI, R. F.; BRUNELLI, K. R.; GIORIA, R. **Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças da alface no Brasil.** In: GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. (Eds.) (2011). *Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil.* Embrapa Meio Ambiente. p. 142-144. 2011.

KRUGNER, T. L.; AUER, C. G. **Doenças dos eucaliptos.** In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. *Manual de fitopatologia; doenças das plantas cultivadas.* São Paulo: Agronômica Ceres, 4. ed, v. 2, p. 319-332, 2005.

MAFIA, R.G; ALFENAS, A.C; LOOS, R.A. **Impacto potencial das mudanças climáticas sobre doenças na eucaliptocultura no Brasil.** In: GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. (Eds.) (2011). *Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil.* Embrapa Meio Ambiente. p. 211-225.2011.

MANZATTO, C. V. **Apresentação.** In: GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. (Eds.) (2011). *Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil.* Embrapa Meio Ambiente. p. 9-10. 2011.

MARENCO, J. A.; NOBRE, C. A.; SALATI, E.; AMBRIZZI, T. **Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI:** Sumário Técnico. Brasília, DF: MMA, SBF, DCBio. 50p. 2007

MASSON, M. V. **Ferrugem do eucalipto: planejamento evasivo, estimativa de dano e análise da viabilidade do controle químico.** 167 f. Botucatu. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Proteção de plantas), Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agrônomicas. Botucatu, 2009.

MASSON, M. V.; OHTO, C. T.; FURTADO, E. L.; SILVA, S. A. **Zoneamento climático do eucalipto no Estado de São Paulo visando o controle da ferrugem.** *Summa Phytopathologica*, Botucatu, v. 33, suplemento, p. 67, 2007.

MONTEIRO, J. E. B. A.; CZERMAINSKI, A. B. C.; CAVALCANTI, F. R.; EVANGELISTA, S. R. M. **Esporulação e eficiência de infecção do míldio da videira em cenários de mudanças climáticas**. In: WORKSHOP SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E PROBLEMAS FITOSSANITÁRIOS, 2012, Jaguariúna. Anais... Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 9p. 2012. 1 CD-ROM.

MORAES, T.S. de A; GONÇALVES, E. L; REZENDE G. C. de R; MENDES, C.J; SUITER FILHO, W. **Evolução da ferrugem causada pela *Puccinia psidii* Winter em *Eucalyptus* spp.: dados preliminares** . Circular Técnica IPEF. n 14, Abril. 1982

MORAES, W.B. **Mapeamento de áreas de risco e impactos potenciais das mudanças climáticas globais para a ocorrência da Ferrugem do Eucalipto**. 58f. Alegre - Espírito Santo. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção vegetal), Universidade Federal do Espírito Santo. Alegre, 2009.

PAINEL FLORESTAL - **Eucalipto e o pinus começarão a sofrer com mudanças climáticas**- *Entrevista com o pesquisador da Embrapa Florestas, Dr. Marcos Silveira Wrege*. Set. 2010. Disponível em: <<http://www.ciflorestas.com.br/conteudo.php?id=3677>>. Acesso em: abril 2013.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T. dos.; FERREIRA, C. A. **Eucaliptos indicados para plantio no Estado do Paraná**. Embrapa Florestas, Documento 129. Colombo. 2006.

PIZA, S. M. de T; RIBEIRO, I. J. A.. **Influência da luz e da temperatura na germinação de uredosporos de *Puccinia psidii***. *Bragantia*, Campinas, n. 47 v.1 p.75-78, 1988.

QUEIROZ, D. L. de. **Pragas exóticas e potenciais a eucaliptocultura no Brasil. Manejo fitossanitário de cultivos agroenergéticos**. Sociedade Brasileira de Fitopatologia. p. 239-249. Brasília, DF. 2009.

ROSOT, M. A. D.; OLIVEIRA, Y. M. M. de; AUER, C. G. **Mapeamento de focos de armilariose em plantações florestais na região sul do Brasil**. In: I Seminário sobre a armilariose em *Pinus* spp., 2005, Curitiba. Documentos. Colombo: Embrapa Florestas, V.108. p. 37-50. 2005.

RUIZ, R. A. R. **Epidemiologia e controle químico da ferrugem (*Puccinia psidii* Winter) do eucalipto**. 108 f. Viçosa – Minas Gerais. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1988.

RUIZ, R. A. R., ALFENAS, A. C., FERREIRA, F. A. & VALE, F. X. R. **Influência da temperatura, do tempo de molhamento foliar, do fotoperíodo e da intensidade de luz sobre a infecção de *Puccinia psidii* em eucalipto.** Fitopatologia Brasileira. Brasília, v.14, n. 6, p. 55-61, 1989.

SANSIGOLO, C. A.; KAYANO, M. T. **Tendências nas temperaturas máximas e mínimas e nas precipitações sazonais do Rio Grande do Sul (1913-2006).** In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2010, Belém, PA. Anais. Rio de Janeiro: SBMet, 2010.

SANTOS, A. F.; AUER, C. G.; GRIGOLETTI Jr, A. **Doenças do eucalipto no sul do Brasil: identificação e controle.** Circular Técnica 45 – Embrapa Florestas. Colombo- PR. Jun. 2001

SANTOS, A. F. dos; AUER, C. G.; WREGE, M. S.; LUZ, E. D. M. N. **Impacto potencial das mudanças climáticas sobre a gomose da acácia-negra no Brasil.** In: GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. (Eds.) (2011). Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil. Embrapa Meio Ambiente. p. 119-128. 2011.

SANTOS, A. F. dos.; LUZ, E. D. M. N. **A gomose da acácia-negra no Brasil.** Summa Phytopathologica, Botucatu, v. 33, n. 2, p. 113-118. 2007.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Brasil com florestas: Oportunidades para o desenvolvimento de uma economia florestal e a reestruturação necessária do setor.** Ministério do Meio Ambiente. Brasília. Março 2012.

SIMETO, S.; BALMELLI, G.; ALTIER, N. **Roya del eucalipto: evaluación de tolerancia mediante inoculación artificial.** Revista INIA, Uruguai. n.9 . p. 29-30 Dez. 2006

TARDIVO, L.; GHINI, R.; HAMADA, E. **Impacto das mudanças climáticas globais sobre a distribuição espacial de doenças de plantas..** Memória Técnica- Embrapa Meio Ambiente. Jaguariúna - SP . Set. 2010.

VITAL, M. H. F. **Impacto ambiental de florestas de eucalipto.** Revista do BNDES, Rio de Janeiro, v. 14, n. 28, p. 235-276, dez., 2007.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Glossary of terms used in agrometeorology.** CAGM Report n.20, 1984, 254 p.

WREGGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JUNIOR, C.; ALMEIDA, I. R. de. (Ed.). **Atlas climático da Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas. 333 p. 2011.

XAVIER, A. A; SANFUENTES, E. V; JUNGHANS, D. T; ALFENAS, A.C. **Resistência de *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus nitens* à ferrugem**. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.31, n.4, p.731-735, 2007.

APÉNDICE

APÊNDICE 1. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO PARA DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA NO CENÁRIO ATUAL (TM)

Coef.	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
α	16,23800	23,24000	24,72300	29,91200	31,63000	31,81400	30,17700	27,26600	27,84800	23,23200	21,16700	15,57600
β	0,40200	0,39600	0,49900	0,67600	0,58100	0,69200	0,74200	0,80100	0,93400	0,78100	0,68100	0,51100
χ	-0,38800	-0,24400	-0,25100	-0,19400	-0,04700	-0,06200	-0,11500	-0,22700	-0,31500	-0,36600	-0,38700	-0,43900
δ	-0,00500	-0,00500	-0,00500	-0,00500	-0,00500	-0,00400	-0,00400	-0,00400	-0,00400	-0,00400	-0,00400	-0,00400
R^2	0,83	0,81	0,80	0,75	0,76	0,79	0,80	0,79	0,77	0,81	0,81	0,68

$$TM = \alpha + \beta \times \text{latitude} + \chi \times \text{longitude} + \delta \times \text{altitude}$$

APÊNDICE 2. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO PARA DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA NO CENÁRIO A2 NO PERÍODO DE 2011 A 2040 (TMA-1)

Coef.	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
α	29,06436	28,21751	28,46562	28,71286	29,69943	29,83128	28,83091	28,75393	29,88677	30,50948	30,42881	30,00638
β	0,05253	0,03624	0,08500	0,17154	0,27857	0,35430	0,35077	0,32282	0,29503	0,23546	0,16915	0,10444
χ	0,01664	0,00509	0,00664	0,00112	0,01322	0,01442	-0,00445	-0,01624	-0,00488	0,00815	0,01614	0,02156
δ	-0,00304	-0,00277	-0,00229	-0,00234	-0,00242	-0,00266	-0,00284	-0,00217	-0,00167	-0,00172	-0,00244	-0,00318
R^2	0,60	0,52	0,57	0,66	0,75	0,82	0,82	0,73	0,64	0,61	0,64	0,65

$$TMA-1 = \alpha + \beta \times \text{latitude} + \chi \times \text{longitude} + \delta \times \text{altitude}$$

APÊNDICE 3. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO PARA DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA NO CENÁRIO A2 NO PERÍODO DE 2041 A 2070 (TMA-2)

Coef.	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
α	29,520180	28,710858	29,118611	29,493554	30,210792	28,887228	29,548605	29,245603	30,384096	31,119362	31,134709	30,742685
β	0,054860	0,044486	0,087727	0,176379	0,275450	0,318194	0,358377	0,330972	0,297646	0,239962	0,173265	0,111247
χ	0,006260	-0,006598	-0,000394	-0,003863	0,003177	-0,016115	-0,014059	-0,030013	-0,017613	-0,002935	0,009255	0,015147
δ	-0,002990	-0,002805	-0,002240	-0,002202	-0,002338	-0,002429	-0,002742	-0,002115	-0,001519	-0,001523	-0,002277	-0,003067
R^2	0,62	0,57	0,58	0,65	0,73	0,67	0,81	0,73	0,63	0,60	0,63	0,65

$$\text{TMA-2} = \alpha + \beta \times \text{latitude} + \chi \times \text{longitude} + \delta \times \text{altitude}$$

APÊNDICE 4. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO PARA DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA NO CENÁRIO A2 NO PERÍODO DE 2071 A 2100 (TMA-3)

Coef.	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
α	30,612743	29,797134	30,245945	30,366802	31,047607	31,028835	29,881542	29,622614	30,997633	32,074358	32,454208	31,923798
β	0,070010	0,054357	0,096193	0,174030	0,276264	0,363170	0,369236	0,338902	0,311948	0,252210	0,192438	0,124854
χ	-0,002122	-0,013938	-0,007282	-0,013595	-0,008698	-0,014669	-0,040759	-0,056227	-0,039845	-0,018758	0,000641	0,006635
δ	-0,002903	-0,002641	-0,002131	-0,002020	-0,002097	-0,002399	-0,002577	-0,001848	-0,001160	-0,001242	-0,002088	-0,002921
R^2	0,65	0,57	0,59	0,61	0,70	0,78	0,80	0,71	0,61	0,58	0,63	0,65

$$\text{TMA-3} = \alpha + \beta \times \text{latitude} + \chi \times \text{longitude} + \delta \times \text{altitude}$$

APÊNDICE 5. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO PARA DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA NO CENÁRIO B1 NO PERÍODO DE 2011 A 2040 (TMB-1)

Coef.	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
α	28,735060	27,922301	28,422454	28,690990	29,743235	29,909631	29,041080	28,637374	29,971230	30,524923	30,395354	29,847632
β	0,051751	0,034025	0,085195	0,171651	0,278819	0,358980	0,357633	0,316531	0,290238	0,227799	0,166259	0,104325
χ	0,012010	0,000691	0,006315	0,001979	0,014943	0,016703	-0,000380	-0,016420	-0,000432	0,012508	0,018638	0,020086
δ	-0,003129	-0,002875	-0,002334	-0,002304	-0,002432	-0,002658	-0,002763	-0,002187	-0,001642	-0,001723	-0,002419	-0,003184
R^2	0,62	0,55	0,59	0,66	0,75	0,82	0,81	0,72	0,63	0,61	0,63	0,65

$$\text{TMB-1} = \alpha + \beta \times \text{latitude} + \chi \times \text{longitude} + \delta \times \text{altitude}$$

APÊNDICE 6. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO PARA DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA NO CENÁRIO B1 NO PERÍODO DE 2041 A 2070 (TMB-2)

Coef.	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
α	29,122298	28,502380	28,776788	29,091125	30,097928	30,132949	29,148654	28,898845	30,001322	30,976138	30,742361	30,301799
β	0,055306	0,042302	0,085723	0,171649	0,280136	0,356974	0,357337	0,328586	0,288324	0,234116	0,168916	0,106257
χ	0,007725	-0,000024	0,003152	-0,001317	0,010482	0,008806	-0,011548	-0,026115	-0,012855	0,006994	0,012117	0,017107
δ	-0,003084	-0,002798	-0,002241	-0,002235	-0,002293	-0,002593	-0,002721	-0,002064	-0,001651	-0,001630	-0,002348	-0,003155
R^2	0,63	0,56	0,58	0,65	0,74	0,81	0,80	0,72	0,63	0,60	0,62	0,65

$$\text{TMB-2} = \alpha + \beta \times \text{latitude} + \chi \times \text{longitude} + \delta \times \text{altitude}$$

APÊNDICE 7. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO PARA DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA NO CENÁRIO B1 NO PERÍODO DE 2071 A 2100 (TMB-3)

Coef.	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
α	29,747962	28,925668	29,239069	29,652808	30,322572	30,199669	29,100954	28,666971	30,108435	31,021049	31,260072	30,835303
β	0,058010	0,046439	0,092445	0,177097	0,279010	0,359195	0,360839	0,326058	0,293209	0,235935	0,176399	0,109073
χ	0,009612	-0,002575	0,001483	-0,000995	0,004497	-0,000801	-0,023925	-0,042089	-0,023869	-0,004454	0,009995	0,016491
δ	-0,003032	-0,002758	-0,002185	-0,002163	-0,002217	-0,002609	-0,002752	-0,002106	-0,001566	-0,001564	-0,002254	-0,003071
R^2	0,62	0,57	0,59	0,65	0,73	0,81	0,81	0,72	0,63	0,60	0,63	0,65

$$\text{TMB-3} = \alpha + \beta \times \text{latitude} + \chi \times \text{longitude} + \delta \times \text{altitude}$$