

Principais fitofisionomias existentes no estado do Paraná e os novos cenários definidos pelas mudanças climáticas globais

Plant vegetation types in the state of Paraná and the new scenarios defined by global climate change

Marcos Silveira Wrege¹(*)
Marilice Cordeiro Garrastazu²
Márcia Toffani Simão Soares³
Elenice Fritzsos⁴
Valderes Aparecida de Sousa⁵
Ananda Virginia de Aguiar⁶

Resumo

O estado do Paraná é região de domínio da Mata Atlântica, bioma que pode ser dividido nas fitofisionomias Floresta Ombrófila Mista (FOM), Floresta Ombrófila Densa (FOD) e Floresta Estacional Semidecidual (FES). Devido às mudanças climáticas globais, algumas formações florestais poderão sofrer deslocamento e o espaço físico que atualmente ocupam serão alterados. Umas, mais sensíveis, poderão sofrer retração, dando espaço para outras, com espécies mais adaptadas às novas condições. O objetivo deste trabalho foi avaliar e calcular a redução e a ampliação das áreas das fitofisionomias no estado do Paraná causadas pelas mudanças climáticas, por meio da modelagem do nicho ecológico. Para isso, foram usados dados climáticos e foram calculadas as médias estacionais das temperaturas mínimas, médias e máximas do ar e o total de precipitação pluviométrica acumulada em um ano, tanto para o período base, como para os cenários climáticos futuros. Os dados climáticos foram organizados em camadas de informações, usando SIG, e analisados de acordo com os cenários de alterações climáticas definidos pelo 4º relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (AR4/IPCC). Os dados de ocorrência das fitofisionomias foram obtidos por meio da geração de pontos equidistantes dentro dos polígonos de ocorrência desses tipos de vegetação, definidos pelo Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do

- 1 DR.; Engenheiro agrônomo; Universidade Estadual de Maringá, UEM, Brasil; Pesquisador da Embrapa; Endereço: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Florestas. Estrada da Ribeira, km 111 - Guaraituba - 83411000 - Colombo, PR - Brasil E-mail: marcos.wrege@embrapa.br (*) Autor para correspondência.
- 2 Me; Engenharia Agrícola Embrapa Florestas; Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Brasil; Pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; Endereço: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. Estrada da Ribeira km 111, Laboratório de Monitoramento - jardim cristina, 83411000 - Colombo, PR - Brasil E-mail: marilice.garrastazu@embrapa.br
- 3 Dra.; Engenharia Agrônoma; Universidade de São Paulo, USP, Brasil; Pesquisadora da Embrapa Florestas; Endereço: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Florestas - Embrapa Florestas. Estrada de Ribeira Km 111 sn, Guaraituba - 79320900 - Colombo, PR - Brasil Embrapa Florestas; E-mail: marcia.toff
- 4 Dra.; Engenharia Florestal; Universidade Federal do Paraná, UFPR, Brasil; pesquisadora da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; Endereço: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Florestas. Estrada da Ribeira, km 111, 83411-000 - Colombo, PR - Brasil; E-mail: elenice.fritzsos@embrapa.br
- 5 Dra.; Ciências Florestais; Forstwirtschaften - Georg August Universitaet Goettingen, GAUG, Alemanha; Pesquisadora da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; Endereço: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. Estrada da Ribeira, Km 111, Guaraituba - 83411000 - Colombo, PR - Brasil E-mail: valderes.sousa@embrapa.br
- 6 Dra.; Genética e Melhoramento de Plantas; Universidade Federal de Goiás, UFG, Brasil; Pesquisadora Científica A, Líder de projetos da EMBRAPA Florestas desde 2007 e Professora de melhoramento genético florestal e conservação genética de espécies florestais no curso de pós-graduação da Universidade Estadual de São Paulo- UNESP; Endereço: Embrapa Florestas (PR), Embrapa Florestas. Estrada da Ribeira, km 111, Câmpus samambaia - 83411000 - Colombo, PR - Brasil E-mail: ananda.aguiar@embrapa.br

Recebido para publicação em 21/10/2016 e aceito em 21/06/2017

Paraná, da Secretaria de Estado do Meio Ambiente (ITCG/SEMA). Verificou-se que até 2090, haverá projeção de diminuição de 96% da FOM e aumento de 72% da FES. Não haverá mudanças significativas na área da FOD. Assim, este trabalho contribui à formulação de políticas públicas, dando informações sobre as zonas mais indicadas para preservação das fitofisionomias e onde deve haver prioridade no resgate de material genético para conservação, visando à preservação da variabilidade genética das espécies nativas presentes nessas fitofisionomias.

Palavras-chave: cenários climáticos futuros; floresta atlântica; aquecimento global.

Abstract

The Atlantic Forest can be divided into vegetation types in the state of Paraná. The main types are: Araucaria Forest (FOM), Rain Forest (FOD) and Forest Semideciduous (FES). Due to global climate changes, some forest formations will suffer displacement and the physical space they currently occupy will be changed. The more sensitive vegetations will suffer decline, giving way to others, with more adapted species the new conditions. The objective of this study was to evaluate and calculate the reduction and expansion of the areas of vegetation types in Paraná caused by climate change, through the modeling of ecological niche. For this, we calculated the averages of minimum, medium and maximum sazonal air temperature and the total annual cumulative rainfall for both: base period and the future climate scenarios. Climatic data were organized into information layers, using GIS, and analyzed according to the climate change scenarios defined by the 4th Intergovernmental Panel on Climate Change report (AR4 / IPCC). The location of occurrence of various vegetation types were obtained by the generation of equidistant points within the polygons defined by ITCG/SEMA (State Department of Environment). We observed that there will, by the year 2090, a FOM decrease of 96% and a FES increase of 72% and no significant changes will occur in the FOD. With these results, this work contributes to the formulation of public policies, providing information on the areas most suitable for preservation of vegetation types and where there should be priority in the rescue of genetic material for the preservation of genetic variability.

Key words: future climate scenarios; Atlantic forest; global warming.

Introdução

As variáveis climáticas que condicionam a formação da vegetação são a temperatura do ar e a precipitação pluviométrica, definindo a distribuição de cada tipo de vegetação e influenciando no seu desenvolvimento. A combinação de espécies e a proporção de áreas que cada fitofisionomia ocupa no estado do Paraná poderá ser modificada nas próximas décadas com as mudanças climáticas globais.

Atualmente, no estado do Paraná, as principais fitofisionomias dividem-se em Floresta Ombrófila Mista (FOM), Floresta Ombrófila Densa (FOD) e Floresta Estacional Semidecidual (FES). Ocorrem ainda, os campos, as estepes gramíneo-lenhosas, em locais de altitude. Essa

designação foi dada em virtude da existência de duas floras distintas presentes no estado: a tropical afro-brasileira e a temperada austro-brasileira, cada qual com elementos característicos, sendo a mistura entre as duas floras própria do *Planalto Meridional Brasileiro*, onde as latitudes médias ao sul do trópico de Capricórnio e o modelo de relevo da região, com altitudes planálticas, criam uma condição única, inexistente em outras regiões (VELOSO et al., 1991).

A FOM é conhecida também como Floresta com Araucária, por ser definida exclusivamente pela presença natural do pinheiro-do-paraná - *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze (VELOSO et al., 1991) e está circunscrita a uma região de clima pluvial subtropical, em altitudes que vão de 50 a 1.800 metros, sendo mais frequente na faixa de 500 a 1200 metros. No estado do Paraná, nessa faixa de altitude, não ocorrem limitações dos fatores condicionantes à distribuição da FOM. O regime pluvial é suficiente o bastante para o desenvolvimento das espécies que compõem a fitofisionomia, concentrando-se um pouco mais no verão e um pouco menos no inverno (WREGGE et al., 2009; 2011).

Na FOM, ocorre grande diversidade florística, que varia sensivelmente de acordo com alterações nas condições microclimáticas e edáficas, sendo que no estrato superior sempre predomina *A. angustifolia* (REITZ; KLEIN, 1966). A diversidade florística, que é grande na FOM, é ainda maior na FOD e na FES, e varia conforme ocorram alterações nas condições microclimáticas e edáficas.

Atualmente, a FOM ocorre, em sua maior parte, nos três estados do sul do Brasil (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul), com fragmentos no nordeste Argentino e nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais (HUECK, 1953). No Brasil, estima-se uma cobertura original de 177.600 km² (LEITE; KLEIN, 1990). Na Argentina, estima-se que a área de ocorrência seja 2.100 km² (GIRAUDO et al., 2005). Os remanescentes da FOM não representam mais que 7% da área original e, no estado de Santa Catarina, restam apenas 2% da área, ou 4000 km², presentes em fragmentos dispersos (MEDEIROS, 2000). No estado do Paraná, a FOM apresenta-se bastante fragmentada nos 0,8% da floresta que ainda resta (FUPEF, 2001).

A FES, por sua vez, está presente em regiões de clima mais quente e em altitudes menores, abaixo de 500 metros, com baixo risco de geadas e chuvas abundantes no verão, mas com a presença de estiagens, principalmente no inverno. Ocorre no norte, noroeste e nordeste do Paraná e em parte do Vale do Ribeira e em regiões onde se encontram as principais calhas dos rios, entre as quais: Vales do Paranapanema, do Paraná, do Tibagi, do Piqueri e do Ivaí. A vegetação da FES não é tão exuberante quanto à da FOD.

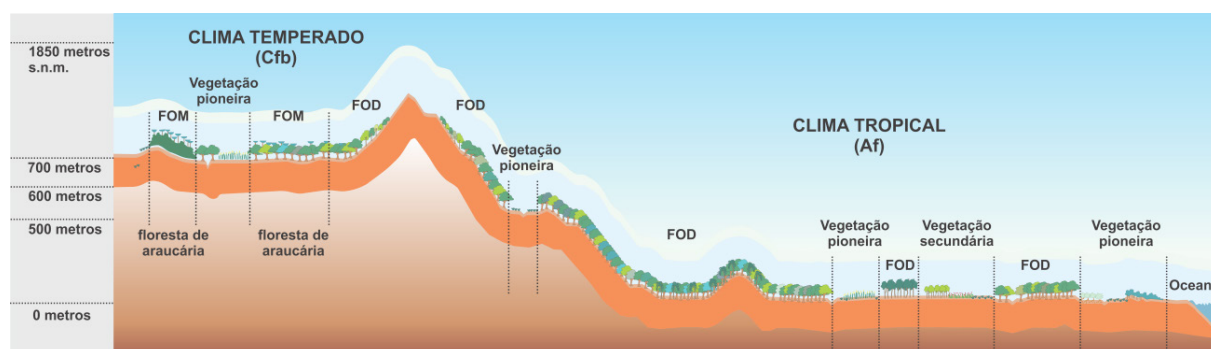
A FOD, por sua vez, ocorre na região costeira do estado do Paraná e do sul do Brasil, em região com umidade relativa alta, temperatura elevada, chuva abundante e bem distribuída ao longo do ano, sendo uma fitofisionomia composta de grande exuberância, com expressivo número de espécies, vegetação com porte desenvolvido e rápido crescimento. A região de sua ocorrência é a que tem os maiores volumes de chuva do estado e, em algumas regiões, ocorrem volumes que podem chegar até a 3.800 mm acumulados em um ano (WREGGE et al., 2011; WREGGE; FRITZSONS, 2015).

As fitofisionomias existentes no Paraná ainda podem ser subdivididas em formações. A FOM pode ser dividida em quatro formações (VELOSO et al., 1991). A primeira, relacionada ao substrato, nos ambientes aluviais próximos aos rios, a Floresta Ombrófila Mista Aluvial e, as demais, em função de diferentes altitudes: a Floresta Ombrófila Mista Submontana, com altitudes que variam de 50 a 500 metros, a FOM Montana, com altitudes de 500 a 1.000 metros e a Alto-Montana, com altitudes acima de 1.000 metros. Citam-se ainda, os contatos com a Floresta Ombrófila Densa e as Florestas Estacionais. A FOM Submontana é rara, pois a maior

área da FOM está situada acima de 400 metros de altitude. A FOD também se divide em Sub-Montana, Montana e Alto-Montana e a FES divide-se em Aluvial (planícies aluviais ao longo dos rios) e Sub-Montana (Figura 1).

A FOM é definida pela sua sensibilidade às condições climáticas, estando adaptada às regiões de temperaturas mais baixas com ocorrência de geadas e, por essa razão, ocorre preferencialmente em zonas de maior altitude, onde outros tipos de vegetação não conseguem se desenvolver, em razão da ocorrência de geadas. Um fator limitante para sua expansão, além da questão da temperatura, é a expansão da FOD e da FES. Essas duas últimas fitofisionomias são favorecidas pelo clima quente e úmido que ocorre no presente, se comparado a períodos anteriores (KLEIN, 1960; 1984). No passado, o clima era mais frio e a FOM encontrava-se mais dispersa em maior área e em zonas de altitude inferior. Tanto a FOD como a FES dependem de condições climáticas mais quentes e desenvolvem-se bem em regiões onde as geadas são menos comuns, e ambas apresentam vegetação mais exuberante que a FOM.

Figura 1. Perfil de vegetação do Bioma Mata Atlântica no estado do Paraná. FOM: Floresta Ombrófila Mista; FOD: Floresta Ombrófila Densa. Elaborado por WREGGE et al. (2009), adaptado de RODERJAN et al. (2005).



Devido à elevação da temperatura, a área da FOM deve ser reduzida pelo fato de ter características de vegetação de clima temperado (Cfb), com previsões de recuo na fronteira de desenvolvimento no sul do Brasil, começando pelo estado do Paraná, situado na zona de transição climática (trópico de Capricórnio) (WREGGE et al., 2009; 2011). Conhecer os cenários futuros é importante para definir áreas de conservação *in situ* das fitofisionomias, em especial da FOM, que, pela sua sensibilidade, é a mais ameaçada pelas mudanças climáticas, considerando uma perspectiva de proteção dessas formações florestais em longo prazo.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o deslocamento das zonas de ocorrência das principais fitofisionomias existentes no estado do Paraná, com redução ou evolução de áreas, as quais ocorrerão devido às mudanças climáticas globais, em um horizonte até 2100, por meio de modelagem do nicho ecológico. Com isso, espera-se dar contribuições que auxiliem na criação e na execução de políticas públicas, com vistas à preservação da variabilidade genética das espécies, identificando zonas prioritárias para preservação e, conseqüentemente, onde deve haver prioridade no resgate de material genético para compor banco ativo de germoplasma.

Material e Métodos

Organização dos dados climáticos e de distribuição da FOM

Os dados climáticos são importantes para a modelagem de nicho ecológico. Pelos mapas das variáveis climáticas, pode-se modelar os mapas de distribuição das espécies, por meio de algoritmos matemáticos e, assim, pode-se compreender como os fatores climáticos condicionam a ocorrência das espécies.

Foi utilizada a base de dados climáticos da rede de estações meteorológicas do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) e do Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR). Foram analisados os dados históricos do período 1976 a 2005 quanto à completude, consistência e existência de erros (WREGGE et al., 2011).

Além desses dados, foram estabelecidas séries de dados climáticos para cenários futuros, usando um programa de simulação, o PGECLIMA_R: Gerador Estocástico para Simulação de Cenários Climáticos Brasileiros, desenvolvido por Virgens Filho et al. (2011). As séries temporais futuras foram calculadas pela média de cinco simulações.

Foram calculadas médias de temperaturas mínimas do ar, médias de temperaturas máximas, temperaturas médias nas quatro estações do ano, médias do total acumulado em um ano de precipitação pluviométrica, para o período base e para as fatias de tempo ('time-slice'), representadas pelas décadas de 2011-2020; 2021-2030; 2031-2040; 2041-2050; 2051-2060; 2061-2070; 2071-2080; 2081-2090 e 2091-2100.

Os dados de ocorrência basearam-se nos polígonos (vetores) com as zonas de ocorrência de cada fitofisionomia. Como o programa de modelagem de nicho trabalha com as coordenadas de ocorrência das espécies, os polígonos foram transformados em pontos de ocorrência. Foi construído um mapa de pontos com coordenadas equidistantes: 30' uma em relação à outra.

Mapeamento das variáveis climáticas

As variáveis climáticas foram mapeadas, usando sistemas de informações geográficas (SIG), por meio de regressões lineares múltiplas, conforme é descrito a seguir.

Os mapas de temperatura foram elaborados pela função calculadora de mapas (raster calculator) do ArcGIS 10, usando-se a equação:

$$\text{Mapa de temperatura} = \alpha + \beta \times \text{MNT} + \chi \times \text{mapa de latitude} + \delta \times \text{mapa de longitude}$$

Em que:

α : constante;

β : coeficiente da altitude, que multiplica o mapa formado pelo MNT em formato raster;

χ : coeficiente da latitude, que multiplica o mapa de latitude em formato raster;

δ : coeficiente da longitude, que multiplica o mapa de longitude em formato raster.

Foi construída uma equação de regressão para cada variável climática e para cada período (considerando o período base e os cenários climáticos futuros).

Os mapas de latitude e de longitude foram construídos na mesma escala e resolução espacial do mapa do MNT, isto é, na escala 1:250.000 e com resolução espacial de 90 metros (tem um valor de latitude ou de longitude a cada 90 metros) nos limites do estado do Paraná. O MNT foi corrigido para o Brasil por Weber et al. (2004).

Modelagem de nicho ecológico

Foram elaborados cenários, prevendo-se as alterações e deslocamentos de áreas da FOM, da FES e da FOD, de acordo com o 4º relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas AR4/IPCC (IPCC, 2007).

Na modelagem, foram usados os algoritmos GARP (Genetic Algorithm for Rule-set Prediction), Bioclim e Maximum Entropy. Os dois últimos algoritmos foram escolhidos por serem os que melhor representaram as condições naturais de ocorrência das espécies que representam as fitofisionomias.

O programa usado foi o Open Modeller, programa de modelagem de nicho ecológico disponível em: <http://openmodeller.sf.net/>. O programa trabalha com dados de distribuição geográfica de espécies (latitude e longitude) e com mapas ou camadas ambientais (clima, solos, relevo etc.), compondo um sistema matemático de previsão de distribuição geográfica de espécies (Muñoz et al., 2009).

Resultados e discussão

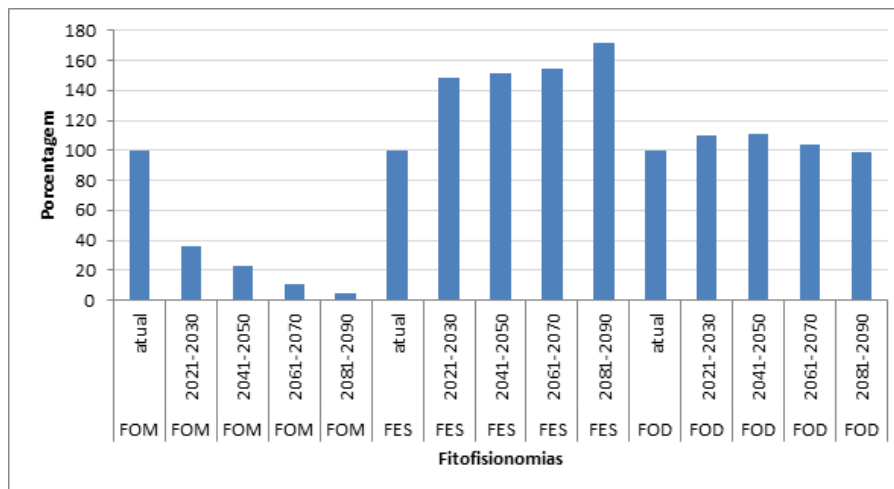
Os resultados da alteração das fitofisionomias da FOM, FES e FOD no estado do Paraná, nas próximas décadas, são apresentados na Tabela 1 e Figuras 2 a 8.

A simulação das áreas com potencial para ocorrência das fitofisionomias no estado do Paraná foi significativa ($P < 0,001$), apresentando altos níveis de AUC ($0,9 \pm 0,001$) (Area under Curve) e 0% de erro de omissão.

Tabela 1. Alteração das zonas de ocorrência das fitofisionomias do Paraná em função das mudanças climáticas globais.

Fitofisionomias	Décadas	Área de aptidão (km ²)	Alteração de área (%)	Redução / aumento* de área (%)
FOM	atual	100674,00	100,00	0,00
	2021-2030	36060,97	35,82	64,18
	2041-2050	23213,75	23,06	76,94
	2061-2070	10472,59	10,40	89,60
	2081-2090	4182,99	4,15	95,85
FES	atual	89637,70	100,00	0,00*
	2021-2030	60369,99	148,87	48,87*
	2041-2050	45034,89	151,37	51,37*
	2061-2070	39351,14	154,80	54,80*
	2081-2090	28827,03	171,65	71,65*
FOD	atual	6177,74	100,00	0,00
	2021-2030	6797,50	110,03	10,03*
	2041-2050	6839,16	110,71	10,71*
	2061-2070	6430,29	104,09	4,09*
	2081-2090	6097,57	98,70	1,30

Figura 2. Projeção de alterações das áreas das fitofisionomias no Paraná em função das mudanças climáticas globais nas próximas décadas.



Nas Figuras 3 a 8, são apresentados mapas com a modelagem de ocorrência dos diferentes tipos de vegetação existentes no período base (presente) e, de acordo com cenários climáticos futuros, representando as décadas de 2031-2040, 2051-2060, 2071-2080 e 2091-2100. Com base na Tabela 1 e nas Figuras 2 a 8, são discutidos os resultados a seguir.

Distribuição das principais fitofisionomias no estado do Paraná

Em relação à FOM, as zonas verdes são favoráveis ao desenvolvimento e as brancas são restritas, devido às limitações climáticas (Figuras 3 e 4). As classes dessas zonas são definidas, basicamente, pela temperatura, sendo a zona verde, representante predominantemente da zona de clima temperado (Cfb), e a branca, da região subtropical - tropical (Cfa). As porções referentes ao litoral e ao Vale do Ribeira também se encontram representadas pela cor branca e são restritas ao desenvolvimento da vegetação típica dessa fitofisionomia, devido às temperaturas muito elevadas e ao excesso de chuvas, que as caracterizam como zona de clima tropical (Af) (Wrege et al., 2011).

Figura 3. Zonas de desenvolvimento da FOM no estado do Paraná (1961-1990). Modelagem elaborada a partir de dados do ITCG (2009), utilizando o algoritmo matemático GARP.

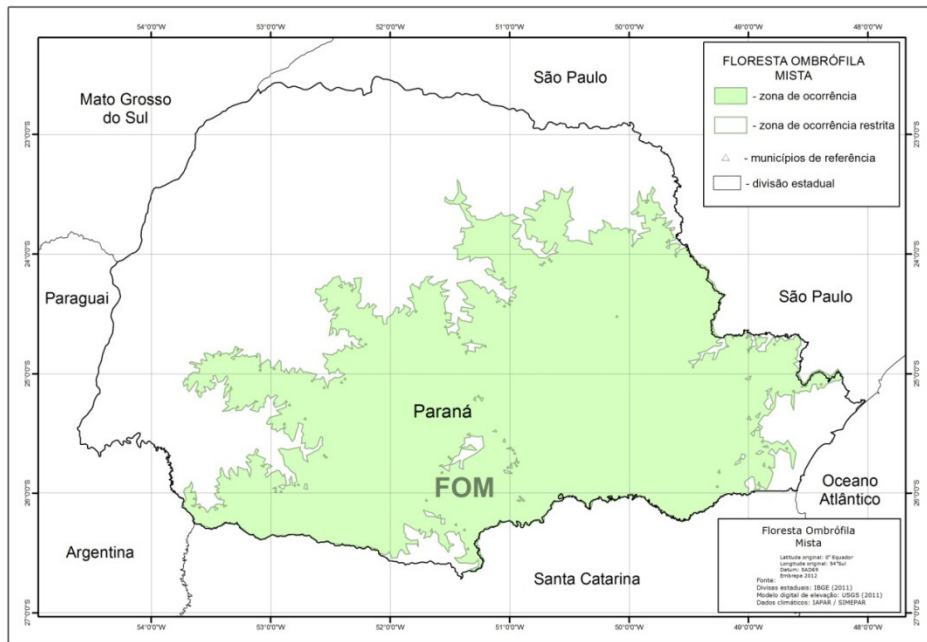
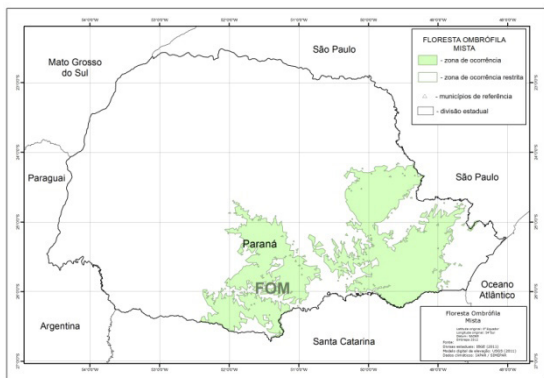
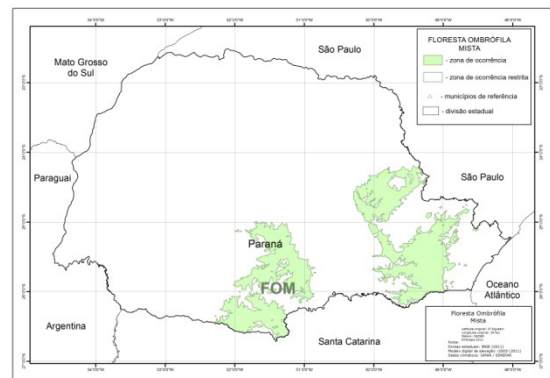


Figura 4. Novos cenários das zonas de desenvolvimento da FOM no estado do Paraná em 2021-2030; 2041-2050; 2061-2080 e 2081-2090 de acordo com as mudanças climáticas.

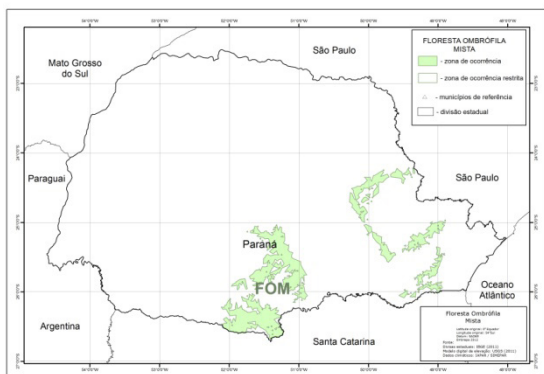
2021-2030



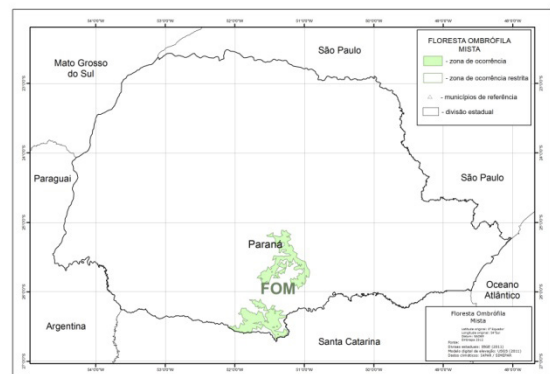
2041-2050



2061-2070



2081-2090



O recuo da zona verde, de clima temperado (Cfb, onde se encontra a FOM), em relação à zona branca, de clima tropical (Cfa, onde se encontra a FES), ocorre devido ao aumento da temperatura do ar, principalmente da temperatura mínima, favorecendo a expansão da FES (Figuras 5 e 6) sobre a FOM. No entanto, não ocorrem mudanças significativas na FOD (Figuras 7 e 8), cujo clima é muito úmido e quente, com chuvas regulares ao longo do ano. Essa região é ocupada, em grande parte, pelo litoral, e uma pequena área do Vale do Ribeira, tendo clima Af.

Assim, dentre as três fitofisionomias mais comuns no Paraná, a FOM teria uma redução de área de 64% até 2030 e de 96% até 2090 e onde, portanto, devem ser concentrados esforços para preservar o material genético das espécies nela presentes, principalmente da araucária, espécie em perigo de extinção. Pode, assim, ser iniciada coleta de germoplasma das espécies a partir da atual zona de transição entre a FOM e a FES, evitando que esse material seja perdido nas próximas décadas.

Atualmente, a maioria das espécies da FOM encontram-se em risco de extinção, independentemente das mudanças climáticas, devido a vários fatores, entre os quais os principais são a exploração comercial indiscriminada das espécies florestais de valor econômico (DEAN, 1995), ao avanço da fronteira agrícola (IBAMA, 2008) e à urbanização.

Uma das principais espécies da FOM é *A. angustifolia*, que sofreu perda de mais de 95% de sua área original e, portanto, muitas populações foram extintas e sua diversidade genética original foi reduzida (SOUSA, 2000).

Figura 5. Zonas de desenvolvimento da Floresta Estacional no estado do Paraná no período base (1961-1990). Modelagem elaborada a partir de dados do ITCG (2009), utilizando o algoritmo matemático Bioclim.

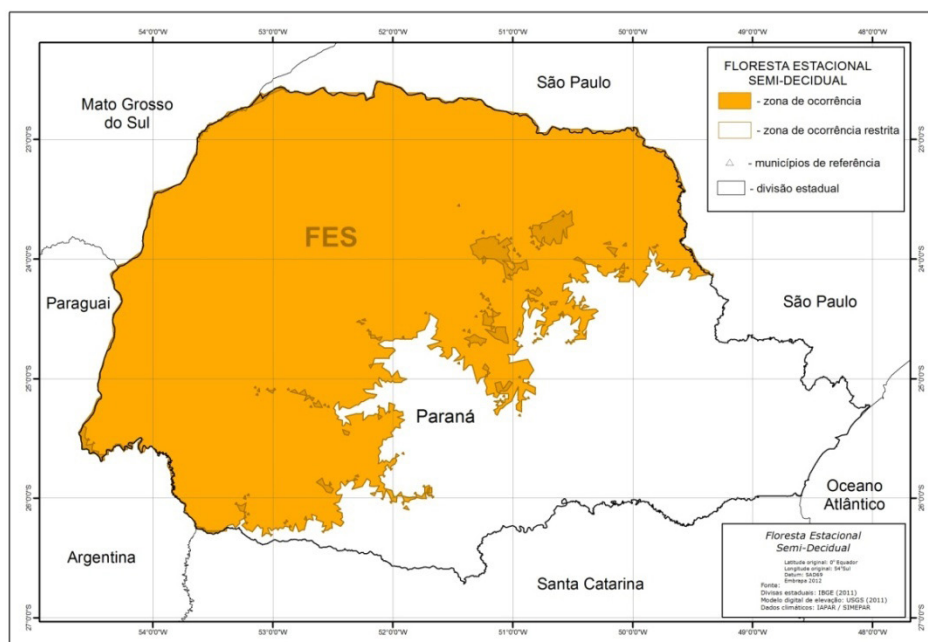
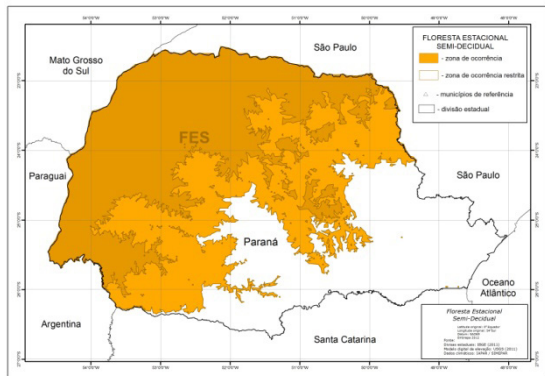
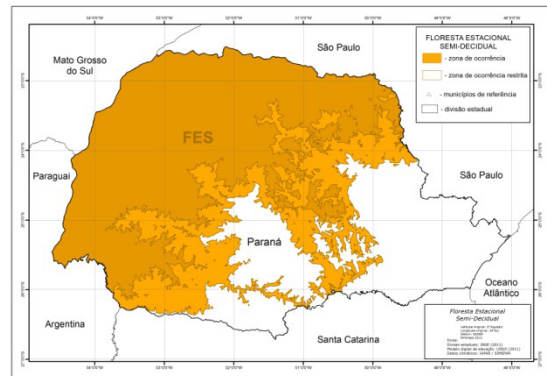


Figura 6. Novos cenários das zonas de desenvolvimento da FES no estado do Paraná em 2021-2030; 2041-2050; 2061-2080 e 2081-2090 de acordo com as mudanças climáticas.

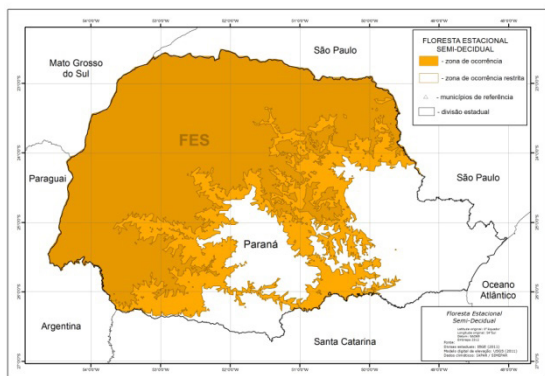
2021-2030



2041-2050



2061-2070



2081-2090

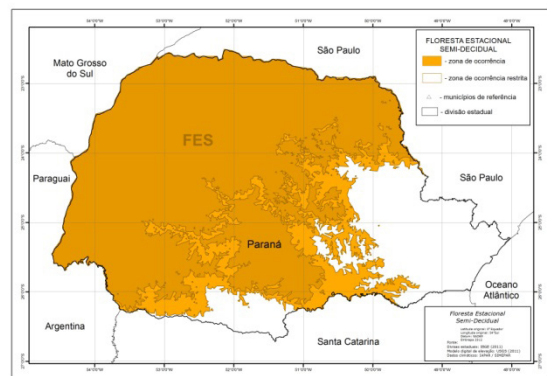


Figura 7. Zonas de desenvolvimento da FOD no estado do Paraná no período de base (1961-1990). Modelagem elaborada a partir de dados do ITCG (2009), utilizando o algoritmo matemático Maximum Entropy.

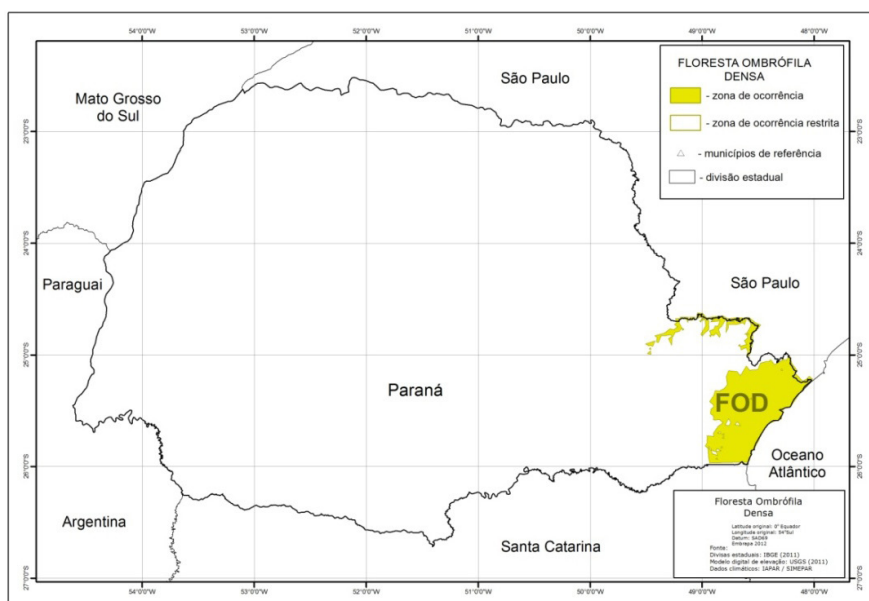
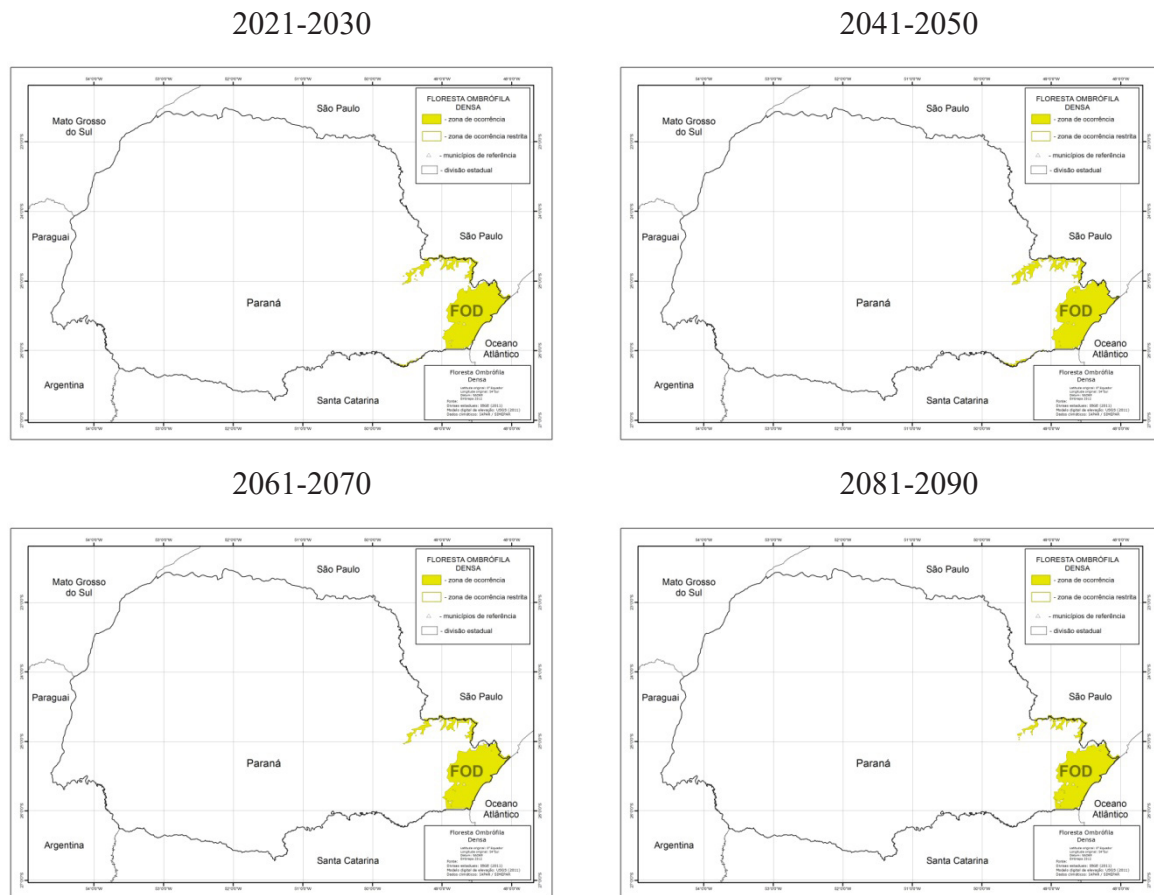


Figura 8. Novos cenários das zonas de desenvolvimento da FOD no estado do Paraná em 2021-2030; 2041-2050; 2061-2080 e 2081-2090 de acordo com as mudanças climáticas.



O modelo sugere que a FES irá avançar sobre a FOM e irá aumentar a área em 72% até 2090 e a FOM, assim, permanecerá apenas nas regiões de maiores altitudes, nos fragmentos das Florestas Alto-Montanas, situados nos municípios de Palmas, General Carneiro e Guarapuava e, dessa forma, muitas espécies poderão perder diversidade genética com a sobrevivência de poucas populações, selecionadas e adaptadas para sobreviver nas novas condições.

Nessas novas áreas, onde as espécies da FOM terão condições de sobreviver, existem os campos “de altitude”, que estão sob os limites altimétricos entre 800 e 1950 metros. De acordo com Maack (1981), os mais expressivos, em termos de superfície seriam os Campos Gerais (11.761 km²), situados no Segundo Planalto, e os Campos de Guarapuava (4.135 km²) e de Palmas (2.350 km²), no Terceiro Planalto (MAACK, 1981). No entanto, nessas regiões, não ocorrem florestas em função do impedimento edáfico, com solos arenosos, rasos e pedregosos e, portanto, de baixa fertilidade e com pouca capacidade de armazenamento de água (Embrapa, 1997). As espécies florestais precisarão sobreviver nessas condições, caso contrário, correrão o risco de ser extintas.

Relação do clima com a altitude, a latitude e as fitofisionomias

Para compensar o aumento de temperatura que ocorrerá com as mudanças climáticas globais, as espécies serão pressionadas a migrar para zonas com maior altitude. A altitude dependerá da latitude.

RODERJAN et al. (2002) afirmam que, no Paraná, na cota de 650-700 metros aparecem as araucárias e, em São Paulo, acima dos 750 a 800 metros. Dessa forma, a menor latitude é compensada com maior altitude, em função do gradiente adiabático (FRITZSONS et al., 2008). Isto ocorre, pois a temperatura é influenciada pela altitude e latitude e, normalmente, decresce com a elevação da altitude em uma proporção de pouco menos de 1 °C/100 metros, aproximadamente (gradiente adiabático do ar seco). No Paraná, Maack (1981) observou a alteração de 0,5 °C para cada 100 metros e, como um dado geral, Ometto (1981) relata a alteração de 0,6 °C para cada 100 metros de altitude. Assim, nos trópicos, as grandes diferenças de temperatura em pequenas distâncias são principalmente decorrentes dos efeitos da variação da altitude e nebulosidade e não da latitude. FRITZSONS et al. (2008) observou ocorrer diminuição de 0,79 °C/100 metros no estado do Paraná, e que a altitude foi o fator que condicionou maior efeito sobre a temperatura, seguido respectivamente da latitude e da longitude. A temperatura média anual apresentou uma variação entre 0,54 a 1,17 °C para cada grau de latitude e entre 0,22 a 0,72 °C para cada grau de longitude, aumentando de leste (litoral) para oeste (interior).

Assim, se a temperatura subir 6 °C até 2100, as mesmas condições de temperatura encontradas hoje só serão encontradas 760 metros acima das atuais cotas altimétricas, na mesma latitude, ou 11 graus de latitude mais ao sul, para uma mesma altitude. Essa projeção corresponde aos mapas gerados neste trabalho, que combinam, ao mesmo tempo, as variações de altitude, de latitude e de longitude, expressas na modelagem de nicho.

Histórico de ocorrência da FOM e as implicações com as mudanças climáticas globais

A história de ocorrência das espécies da FOM demonstra o oposto do que ocorrerá com elas diante das mudanças climáticas globais. A tendência com as mudanças é de que ocorra uma grande perda de área.

No passado, *A. angustifolia*, a principal espécie da FOM, ocorria dispersa em uma grande área. Foram encontrados fósseis, inclusive, na região nordeste do Brasil, onde hoje as condições climáticas são muito diferentes das de outras regiões do Brasil, principalmente de onde *A. angustifolia* ocorre. A espécie era encontrada em grande parte do continente sul americano, quando o mesmo era unido com outros continentes (África e Nova Zelândia) (VELOSO et al., 1991).

A composição e a distribuição atual da FOM foi modelada pelas mudanças climáticas ocorridas no passado (KLEIN, 1984; BIGARELLA et al., 1975). Muitos estudos palinológicos estão sendo feitos e estão relacionando a distribuição das espécies com a situação climática ocorrida no passado. Três ou quatro flutuações climáticas ocorreram entre o final do pleistoceno até o presente e teriam influenciado a distribuição atual das espécies.

Segundo esses estudos, a 50 mil anos, em nosso planeta, ocorreu um ambiente árido e frio. Este período, que antecedeu o último período máximo glacial, foi dominado por campos com arbustos e ocorrência de florestas nos vales profundos, onde essas espécies encontraram refúgio (LEDRU et al., 1996). Somente a 45 e 33 mil anos, com o aumento da umidade, constatou-se a presença de *A. angustifolia*, *Drimys brasiliensis* e *Cyathea* sp. nesses locais (LEDRU, 1996).

42.840 anos atrás, *A. angustifolia* ainda não se localizava nos planaltos, nas regiões de altitude, mas abrigada nos refúgios das encostas mais úmidas do litoral e nos vales úmidos dos rios, em pequenas populações (BEHLING, 2001; 2005). A expansão da *A. angustifolia*, a partir desses locais, ocorreu nos últimos 4.320 anos, como vegetação predominante nos campos subtropicais.

Há 3.000 anos, o clima se tornou mais úmido, sem estações secas longas, iniciando-se a invasão da araucária pelos campos. A grande expansão de *A. angustifolia* e da FOM se deu nos últimos 1.500 anos no estado do Paraná e 1.000 anos no estado de Santa Catarina.

Com as mudanças climáticas globais, a tendência é oposta a de sua história, prevendo-se a retração das regiões onde ocorre, mantendo populações apenas nas regiões de maior altitude e latitude, onde atualmente não existe nenhum tipo de vegetação com espécies florestais de porte alto, pelo fato de existirem limitações edáficas (solos arenosos, rasos e pedregosos) (EMBRAPA, 1997).

Considerações sobre as fitofisionomias no estado do Paraná

A preservação das fitofisionomias no estado do Paraná é fundamental, visando garantir que muitas espécies e suas populações e raças geográficas não corram o risco de desaparecer ao longo deste século.

As espécies de ciclo de vida longa, como é o caso das florestais, terão um processo mais lento de adaptação às mudanças climáticas, bem mais lento que as mudanças climáticas, e os efeitos negativos que surgirão em decorrência disso serão evidentes apenas após algumas gerações (SOUSA, 2000).

O modelo utilizado neste trabalho é baseado no clima e, portanto, não discrimina as limitações edáficas que ocorrem nas regiões de altitude, onde geralmente estão presentes os campos naturais, sem presença de florestas. Desta forma, o tamanho das áreas que restarão para a FOM pode ser ainda menor do que o calculado nesse trabalho.

Conclusão

Diante dos cenários climáticos apresentados, podem-se verificar mudanças na distribuição das principais fitofisionomias existentes no estado do Paraná nas próximas décadas e elas podem ser críticas para a FOM, fitofisionomia com espécies mais sensíveis às mudanças climáticas.

A tendência é de que a FES domine a paisagem, por contar com um conjunto de espécies mais adaptadas ao clima quente, enquanto a FOM tende a perder área, devido à sensibilidade de suas espécies às alterações climáticas, mas, deve ainda encontrar condições favoráveis ao seu desenvolvimento no extremo sul do Paraná, em zonas de maior altitude onde, atualmente, não são encontradas espécies florestais, devido às limitações edáficas.

A FOM, por esta razão, é a fitofisionomia que tende a perder maior biodiversidade no estado e onde esforços devem ser concentrados para resgatar material genético para o banco ativo de germoplasma e para definir Unidades de Conservação, que podem ser úteis para futuros programas de melhoramento genético das espécies florestais nativas que compõem esta fitofisionomia.

Referências

BEHLING, H.; BAUERMAN, S. G.; NEVES, P. C. P. Holocene environmental changes in the Sao Francisco de Paula region, southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, Local, v. 14, n. 6, p. 631-639, 2001.

BEHLING, H.; PILLAR, V. D.; BAUERMAN, S. G. Late Quaternary grassland (Campos), gallery forest, fire and climate dynamics, studied by pollen, charcoal and multivariate analysis of the Sao Francisco de Assis core in western Rio Grande do Sul (southern Brazil). **Review of Palaeobotany and Palynology**, Local, v. 133, n. 3-4, p. 235-248, 2005.

BIGARELLA, J. J.; ANDRADE-LIMA, D. de; RIEHS, P. Considerações a respeito das mudanças paleoambientais na distribuição de algumas espécies vegetais e animais no Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE O QUARTENÁRIO, 1975, Curitiba. Separatas de: **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Curitiba, v. 47, p. 411-464, 1975. Suplemento.

DEAN, W. **A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira**. São Paulo: Companhia de letras, 1995.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997, 212 p.

FRITZSONS, E. et al. Relação entre altitude e temperatura: uma contribuição ao zoneamento climático no estado do Paraná. **Revista de Estudos Ambientais**, Local, v. 10, p. 40-48, 2008.

FUPEF. Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná. **Conservação do Bioma Floresta com Araucária: Diagnóstico dos remanescentes florestais**. Curitiba: FUPEF, PROBIO Araucária, 2001. 236 p. 2 v. (Relatório final).

GIRAUDO, A. R.; POVEDANO, H.; BELGRANO, M. J.; KRAUCZUK, E.; PARDIÑAS, U.; MIQUELARENA, A.; LIGIER, D.; BALDO, D.; CASTELINO, M. Status da biodiversidade da Mata Atlântica de Interior da Argentina. GALINDO-LEAL, C.; CÂMARA, I. G. (Eds.). **Título da Obra**. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica - Belo Horizonte: Conservação. Internacional, 2005. p. 160- 180.

HUECK, K. Distribuição e habitat natural do Pinheiro-do Paraná (*Araucaria angustifolia*). **Bol. Fac. Fl. Ciênc. Univ. S. Paulo -Botânica**, São Paulo, v. 10, p. 1-24, 1953.

IBAMA. Instituto Nacional do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 2008. **Lista Oficial das Espécies da Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/>>. Acesso em: 23 set. 2009.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. The Physical Science Basis, **Summary for Policy Makers**. IPCC, Geneva, 2007. 18 p.

ITCG. **Formações fitogeográficas - Estado do Paraná**. [Curitiba], 2009. 1 mapa color. Escala 1:2.000.000. Disponível em: <http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos_DGEO/Mapas_ITCG/PDF/Mapa_Fitogeografico_A3.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2017.

KLEIN, R. M. Aspectos dinâmicos da vegetação do sul do Brasil. **Sellowia**, Itajai, v. 36, p. 5-54, 1984.

KLEIN, R. M. O aspecto dinâmico do pinheiro brasileiro. **Sellowia**, Itajaí, SC, v. 12, p. 17-48, 1960.

LEDRU, M. P. et al. The last 50,000 years in the Neotropics (Southern Brazil): Evolution of vegetation and climate. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Local, v. 123, p. 239-257, 1996.

LEITE, P. F.; KLEIN, R. M. Vegetação. In: **Geografia do Brasil - Região Sul**. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. 419 p.

MAACK, R. **Geografia Físicas do estado Paraná**, 2. Ed. Rio de Janeiro: J. Olympio, 1981.

MEDEIROS, J. D. **Da exploração e conservação da Araucaria angustifolia**. Parecer do Ministério Público Federal, 2000.

MUÑOZ, M. E. S.; GIOVANNI, R.; SIQUEIRA, M. F.; SUTTON, T.; BREWER, P.; PEREIRA, R. S.; CANHOS, D. A. L.; CANHOS, V. P. 'OpenModeller: a generic approach to species' potential distribution modelling'. 2009. *GeoInformatica*. <http://dx.doi.org/10.1007/s10707-009-0090-7>.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres. 1981. p. 129-132.

PUCHALSKI, A.; MANTOVANI, M.; REIS, M. S. dos. Variações em populações naturais de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze associada a condições edafoclimáticas. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 70, p. 137-148, 2006.

REITZ, R.; KLEIN, R.M. Araucariáceas. In: **Flora Ilustrada Catarinense**. Itajai: Herbário Barbosa Rodrigues, 1966. 62 p.

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; & HATSCHBACK, G. As unidades fitogeográficas do estado do Paraná. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 24, p. 75-92, 2002.

RODERJAN, C. V.; SEGER, C. D.; DLUGOSZ, F. L.; MARTINEZ, D. T.; RONCONI, E.; MELO, L. A. N. de; BITTENCOURT, S. M. de; BRAND, M. A.; CARNIATTO, I.; GALVÃO, F. Levantamento florístico e análise fitossociológica de um remanescente de Floresta Ombrófila Mista localizado no município de Pinhais, Paraná-Brasil. **Floresta**, Curitiba, v. 35, n.2, p. 292-302, 2005.

SOUSA, V.A. Population genetic studies in *Araucaria angustifolia* in southern Brazil. **Heredity**, n.99, p. 580-591, 2000.

USGS. U.S. GEOLOGICAL SURVEY. Survey National Mapping Division. Global 30 arc second elevation data. 1999. Disponível em: <<http://edcwww.cr.usgs.gov/landdaac/gtopo30/gtopo30.html>>. Acesso em: 10 jul. 1999.

VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, A.L.R.; LIMA, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro. IBGE/DERMA, 1991, 124 p.

VIRGENS FILHO, J. S.; FÉLIX, R. P.; LEITE, M. de L.; TSUKAHARA, R. Y. PGECLIMA_R: gerador estocástico para simulação de cenários climáticos brasileiros. I DESENVOLVIMENTO DO GERENCIADOR DO BANCO DE DADOS CLIMÁTICOS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 17., 2011, Vitória-ES. **Anais ...** Vitória-ES: SBAGRO, 2011. v. 1. p. 1-5.

WEBER, E; HASENACK, H.; FERREIRA, C. J. **Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da federação**. Porto Alegre: UFRGS, Centro de Ecologia, 2004. Disponível em: <<http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>>. Acesso em: 17 jul. 2008.

WREGE, M. S.; FRITZSONS, E. **Dados climáticos dos municípios da Região Sul do Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2015. 442 p. (Documentos).

WREGE, M. S.; HIGA, R. C. V.; BRITZ, R. M.; GARRASTAZU, M. C.; SOUSA, V. A.; CARAMORI, P. H.; RADIN, B.; BRAGA, H. J. Climate change and conservation of *Araucaria angustifolia* in Brazil. **Unasylva**, Local, v. 60, n. 231/232, p. 30-33, 2009.

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