

ODETE BORCHARDT

**DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DE *Moniliophthora roreri* E DOS CULTIVOS
Theobroma cacao E *Theobroma grandiflorum* EM CENÁRIOS DE MUDANÇAS
CLIMÁTICAS NO MUNDO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Defesa Sanitária Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Douglas Ferreira Parreira

Coorientador: Ricardo Siqueira da Silva

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

B726d
2024 Borchardt, Odete, 1984-
Distribuição potencial de *Moniliophthora roreri* e dos
cultivos *Theobroma cacao* e *Theobroma grandiflorum* em
cenários de mudanças climáticas no mundo / Odete Borchardt. –
Viçosa, MG, 2024.

1 dissertação eletrônica (35 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Douglas Ferreira Parreira.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Entomologia, 2024.

Referências bibliográficas: f. 32-35.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2024.362>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. *Moniliophthora roreri* - Distribuição geográfica.
2. Mudanças climáticas. 3. Cacao - Doenças e pragas -
Prevenção. 4. Cupuaçu - Doenças e pragas - Prevenção. I. .
II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Entomologia. Programa de Pós-Graduação em Defesa Sanitária
Vegetal. III. Título.

CDD 22. ed. 632.49


ODETE BORCHARDT

**DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DE *Moniliophthora roreri* E DOS CULTIVOS
Theobroma cacao E *Theobroma grandiflorum* EM CENÁRIOS DE MUDANÇAS
CLIMÁTICAS NO MUNDO**


Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Defesa Sanitária Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 26 de março de 2024.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 **ODETE BORCHARDT**
Data: 18/07/2024 22:39:31-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Odete Borchardt
Autora

Documento assinado digitalmente
 **DOUGLAS FERREIRA PARREIRA**
Data: 18/07/2024 07:41:37-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Douglas Ferreira Parreira
Orientador

À minha família.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Aos meus pais, Heirick e Nadira, por todo amor e cuidado.

Aos meus irmãos, sobrinhos e amigos, pelas alegrias divididas.

Ao meu time da Agência de Defesa Sanitária Agrosilvopastoril do Estado de Rondônia (IDARON), pelo apoio, incentivo, suporte e por fazer esta caminhada ser mais leve e divertida.

Ao orientador Douglas Ferreira Parreira e ao coorientador Ricardo Siqueira da Silva, pelo apoio, ensinamentos e direcionamentos na execução deste trabalho.

Aos colegas da turma do mestrado, pela parceria e ajuda mútua.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Mestrado Profissional em Defesa Sanitária Vegetal, pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

BORCHARDT, Odete, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2024. **Distribuição potencial de *Moniliophthora roreri* e dos cultivos *Theobroma cacao* e *Theobroma grandiflorum* em cenários de mudanças climáticas no mundo.** Orientador: Douglas Ferreira Parreira. Coorientador: Ricardo Siqueira da Silva.

A monilíase do cacauzeiro, causada pelo fungo *Moniliophthora roreri*, representa uma grande ameaça para as áreas produtoras de cacau e cupuaçu. Essa doença é responsável por graves prejuízos onde quer que ocorra, especialmente nas regiões produtoras da América Central e América Latina. O objetivo deste estudo foi determinar a distribuição geográfica mundial da praga *Moniliophthora roreri* e de seus principais hospedeiros, cacau (*Theobroma cacao*) e cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), verificar quais climas ocorrem nestas localidades atualmente e se haverá alguma alteração climática destas regiões no futuro, utilizando um mapa histórico observado do período de 1991-2020 e um mapa com projeções futuras de classificação climática Köppen-Geiger, para o período de 2071-2099, no pior cenário de altas taxas de emissões de CO₂. Buscando identificar quais áreas possuem características climáticas semelhantes, que podem ser atingidas por este patógeno. Os dados de ocorrências das espécies foram pesquisados na literatura e em bancos de dados. Realizou-se a contagem dos pontos por classe climática e se concluiu que a grande maioria dos registros se localizavam na zona climática tropical, nas subclasses: tropical úmido (Af), tropical monção (Am) e tropical com estação seca no inverno (Aw). Atualmente a monilíase do cacauzeiro está restrita ao continente americano, mas devido as condições climáticas favoráveis encontradas nos países africanos e asiáticos, a praga tem potencial para ser disseminada para estas regiões. Fatores como a adequabilidade climática e a crescente circulação de pessoas e mercadorias entre os países podem elevar o risco de introdução deste organismo em novas áreas, sendo necessária a adoção de medidas preventivas. Estudos como este podem contribuir com informações para a implantação de programas para evitar a dispersão deste patógeno para novos locais.

Palavras-chave: *Moniliophthora roreri*. Classificação climática. Distribuição potencial. Prevenção.

ABSTRACT

BORCHARDT, Odete, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2024. **Potential distribution of *Moniliophthora roreri* and the crops *Theobroma cacao* and *Theobroma grandiflorum* cultivations under climate change scenarios worldwide.** Advisor: Douglas Ferreira Parreira. Co-advisor: Ricardo Siqueira da Silva.

Cocoa moniliasis, caused by the fungus *Moniliophthora roreri*, represents a major threat to cocoa and cupuaçu producing areas. This disease is responsible for serious losses wherever it occurs, especially in the producing regions of Central America and Latin America. The objective of this study was to determine the worldwide geographic distribution of the pest *Moniliophthora roreri* and its main hosts, cocoa (*Theobroma cacao*) and cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), verify which climates occur in these locations currently and whether there will be any climate change in these regions in the future, using an observed historical map from the period 1991-2020 and a map with future Koppen-Geiger climate classification projections, for the period 2071-2099, in the worst-case scenario of high rates of CO₂ emissions. Seeking to identify which areas have similar climatic characteristics, which can be affected by this pathogen. Species occurrence data were researched in the literature and databases. The points were counted by climate class and it was concluded that the vast majority of records were located in the tropical climate zone, in the subclasses: tropical humid (Af), tropical monsoon (Am) and tropical with dry season in winter (Aw). Currently, cocoa moniliasis is restricted to the American continent, but due to the favorable climatic conditions found in African and Asian countries, the pest has the potential to be spread to these regions. Factors such as climate suitability and the increasing movement of people and goods between countries can increase the risk of introducing this organism into new areas, making it necessary to adopt preventive measures. Studies like this can contribute information for the implementation of programs to prevent the spread of this pathogen to new locations.

Keywords: *Moniliophthora roreri*. Climate classification. Potential distribution. Prevention.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Mapa mundial de classificação climática Koppen-Geiger observado para o período de 1991-2020	14
Figura 2: Mapa mundial de classificação climática Koppen-Geiger projetado para o período de 2071-2099	14
Figura 3: Ocorrências de <i>Theobroma cacao</i> no mundo	15
Figura 4: Ocorrências de <i>Theobroma grandiflorum</i> no mundo	16
Figura 5: Ocorrências de <i>Moniliophthora roreri</i> no mundo	17
Figura 6: Registros de <i>Theobroma cacao</i> no mapa mundial da classificação Koppen-Geiger observado para o período de 1991-2020 e projetado para o período de 2071-2099	18
Figura 7: Registros de <i>Theobroma grandiflorum</i> no mapa mundial da classificação Koppen-Geiger observado para o período de 1991-2020 e projetado para o período de 2071-2099	19
Figura 8: Registros de <i>Moniliophthora roreri</i> nos mapas mundiais da classificação Koppen-Geiger observado para período de 1991-2020 e projetado para o período de 2071-2099	20
Figura 9: Mapas da classificação climática Koppen-Geiger para períodos de 1991-2020 (A) e 2071-2099 (B) com as áreas com potencial para a introdução de <i>Moniliophthora roreri</i> e para o cultivo de <i>Theobroma cacao</i> e <i>T. grandiflorum</i>	23
Figura 10: Distribuições geográficas de <i>M. roreri</i> , <i>T. cacao</i> e <i>T. grandiflorum</i> nos climas Af, Am e Aw da classificação Koppen-Geiger, nos períodos de 1991-2020 (A) e 2071-2099 (B)	24

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. MATERIAL E MÉTODOS	12
2.1. Levantamento de ocorrências de <i>Moniliophthora roreri</i> e de <i>Theobroma cacao</i> e <i>Theobroma grandiflorum</i> no mundo	12
2.2. Mapas mundiais de classificação climática Koppen-Geiger	12
3. RESULTADOS	15
3.1. Distribuição geográfica das espécies	15
3.1.1. <i>Theobroma cacao</i>	15
3.1.2. <i>Theobroma grandiflorum</i>	16
3.1.3. <i>Moniliophthora roreri</i>	16
3.2. Análise da distribuição das espécies em relação à classificação climática Koppen-Geiger	17
3.2.1. <i>Theobroma cacao</i>	17
3.2.2. <i>Theobroma grandiflorum</i>	19
3.2.3. <i>Moniliophthora roreri</i>	20
3.3. Locais com potencial para a introdução de <i>Moniliophthora roreri</i> e para os cultivos de <i>Theobroma cacao</i> e <i>T. grandiflorum</i>	21
4. DISCUSSÃO	27
5. CONCLUSÕES	31
REFERÊNCIAS	32

1. INTRODUÇÃO

O cacau (*Theobroma cacao* L.) é uma das culturas perenes mais importantes do mundo, com uma produção mundial estimada de 5,8 milhões de toneladas em 2022. As maiores produções são encontradas na Costa do Marfim, Gana e Indonésia (FAOSTAT, 2023). O Brasil é o sétimo maior produtor desta cultura, com mais de 273 mil toneladas produzidas em 590.232 hectares, sendo responsável por 4,6% da produção mundial, avaliada em 469 milhões de dólares (IBGE, 2022).

O cupuaçu [*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Schum], é um fruto típico da Amazônia, de onde se extrai a polpa, que é utilizada em diversos alimentos e as amêndoas que são matéria-prima de chocolates ou cosméticos. É cultivado principalmente no Brasil, onde somente no estado do Pará foram produzidas 29 mil toneladas de frutos (Gonçalves *et al.*, 2024).

As culturas do cacau e cupuaçu são de extrema importância econômica, social e ambiental, por serem geradoras de emprego e fonte de renda para os produtores rurais, com grande participação de mão de obra familiar, sendo cultivadas na maioria das vezes em pequenas propriedades, em sistemas agroflorestais. No entanto, estão sujeitas à ocorrência de pragas que podem comprometer a produção e inviabilizar o seu cultivo. Dentre tais pragas, destaca-se o fungo *Moniliophthora roreri* (Cif & Par.) (Evans *et al.*, 1978), agente causal da monilíase do cacau, que pode causar sérios prejuízos às plantações.

A praga possui importância econômica em todas as regiões em que está estabelecida. Restrita ao continente americano, está presente em vários países como a Colômbia, Costa Rica, Equador, Peru e México (Evans, 2016). É uma ameaça para todos os países produtores de cacau e de cupuaçu e causa preocupação devido às graves consequências sociais e econômicas. Pode ocasionar perdas acima de 80% da produção, tornando o cultivo economicamente inviável, caso não sejam adotadas medidas de controle (Tirado-Gallego *et al.*, 2016). Consequentemente, pode ocorrer a perda dos meios de subsistência, o abandono das áreas e a degradação ambiental.

A monilíase do cacau ataca exclusivamente os frutos de todas as espécies do gênero *Theobroma* e *Herrania*, sendo *T. cacao* e *T. grandiflorum* seus principais hospedeiros. Os sintomas externos de *M. roreri* são lesões marron-escuras que coalescem e cobrem toda a superfície do fruto, em seguida há a formação de um

micélio branco ou pseudoestroma que envolve o fruto, podendo variar de coloração à medida que os esporos se desenvolvem e amadurecem (Evans, 2016). A partir da infecção o fruto se torna imprestável para o consumo.

Esta praga possui alto poder de disseminação dentro da lavoura e para outras áreas, devido a sua alta capacidade de esporulação. Estima-se que um fruto maduro pode originar até 7 bilhões de esporos e passar por múltiplos ciclos de esporulação enquanto mumificado. Seus esporos conservam viabilidade, mesmo em condições adversas, por mais de 9 meses (Ram, 1989). Os esporos podem ser transportados pelo vento, pela chuva e principalmente pelo ser humano, ao transitar de áreas contaminadas para áreas livres da praga (Phillips-Mora, 2021).

O fungo *Moniliophthora roreri* é classificado como praga quarentenária ausente no Brasil, de acordo com a Instrução Normativa SDA nº 39, de 01 de outubro de 2018 (Brasil, 2018) e consta na lista de priorização destas pragas do Brasil (Gramacho *et al.*, 2018). Entende-se como praga quarentenária o agente que é capaz de causar impacto econômico, mas que ainda não se encontra amplamente disseminado em uma determinada região ou país e quando presente está sob controle oficial (FAO, 1990; revisada FAO, 1995; CIPV 1997). Em 2021, a monilíase do cacauzeiro foi identificada pela primeira vez no Brasil no estado do Acre (Brasil, 2021) e recentemente, no final de 2022, surgiram focos no município de Tabatinga, no Amazonas (Brasil, 2022). Atualmente por se encontrar sob erradicação, com ações coordenadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o seu status ainda não foi alterado oficialmente para praga quarentenária presente.

Portanto, é de grande importância proteger ou criar meios para impedir que este e outros patógenos se estabeleçam em outras áreas. Para isso é preciso prever ou identificar quais áreas ou regiões estão mais vulneráveis ao ataque de organismos como a *M. roreri* no presente e principalmente no futuro, devido às mudanças climáticas.

Entender como as mudanças climáticas impactarão as diferentes áreas se tornou o objetivo de vários estudos, dentre eles os que analisam as variações que ocorrerão na agricultura se destacam. Diversas são as formas de se estudar este assunto, entre elas o estudo da relação entre a vegetação e o clima é uma alternativa para auxiliar na previsão dos impactos das mudanças climáticas futuras sobre a vegetação natural e demais organismos (Higuchi *et al.*, 2013). Os locais que

apresentam características semelhantes podem ser considerados como áreas de alta probabilidade de ocorrência de uma espécie (Paglia *et al.*, 2012).

A análise da classificação climática histórica e das projeções futuras permite verificar como será a distribuição potencial das espécies, que é diretamente influenciada pelo clima de cada sistema (Borges *et al.*, 2021). Dentre os sistemas de classificação climática, um dos mais utilizados é o de Koppen-Geiger, que surgiu a partir dos estudos de Wladimir Köppen no século XIX, posteriormente publicado com a participação de Rudolf Geiger. Neste sistema de classificação os climas são divididos em cinco classes (A, B, C, D e E) e trinta subclasses, de acordo com a temperatura do ar e precipitações mensais, onde as regiões com a mesma classe partilham características de vegetação semelhantes (Beck *et al.* 2022).

O uso de ferramentas como a classificação Koppen-Geiger é uma prática cada vez mais corriqueira. Beck *et al.* 2022, elaboraram mapas históricos mundiais de acordo com a classificação Koppen-Geiger, a partir da observação de combinações de diferentes climatologias de alta resolução, que abrangem os períodos de 1901-1930, 1931-1960, 1961-1990 e 1991-2020. Também propuseram dois mapas com projeções futuras para os intervalos de 2041-2070 e 2071-2099, baseados em projeções climáticas reduzidas e corrigidas por vieses para sete caminhos socioeconômicos compartilhados (SSPs), de acordo com as emissões de CO₂ definidas no Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados (CMIP6).

Neste sentido, objetivou-se realizar este trabalho para analisar os registros de ocorrências da praga *Moniliophthora roreri* e dos seus principais hospedeiros, *Theobroma cacao* e *Theobroma grandiflorum*, relacionando-os com os mapas históricos e futuros, elaborados por Beck *et al.*, 2022, baseados na classificação Koppen-Geiger. Buscando-se obter dados climáticos atuais e futuros da distribuição geográfica potencial desta praga e dos hospedeiros no mundo, verificar se este fungo também será um problema fitossanitário no futuro e quais áreas possuem adequabilidade climática para seu desenvolvimento, para subsidiar com informações os programas de prevenção deste organismo. Ainda, determinar os tipos de climas onde estas espécies estão estabelecidas e mapear os locais com climas adequados para o seu estabelecimento atual e futuro em regiões onde ainda não ocorrem.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Levantamento de ocorrências de *Moniliophthora roreri* e de *Theobroma cacao* e *Theobroma grandiflorum* no mundo

Os pontos de ocorrências de *Moniliophthora roreri*, de *Theobroma cacao* e de *Theobroma grandiflorum* foram obtidos a partir do banco de dados de espécies Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (GBIF, 2024a, 2024b, 2024c). Também foram realizadas consultas de registros em trabalhos científicos para a espécie *M. roreri*. Os pontos foram conferidos, organizados em planilhas e convertidos em graus decimais para adequação ao software, eliminando-se os pontos duplicados. O software utilizado na pesquisa foi o Qgis desktop, versão 3.28.12.

2.2. Mapas mundiais de classificação climática Koppen-Geiger

A classificação climática Koppen-Geiger define os climas através de uma combinação de letras maiúsculas e minúsculas, considerando a sazonalidade e os valores médios anuais e mensais da temperatura do ar e da precipitação, relacionando-os com a vegetação. A primeira letra representa a característica climática comum de cada região, são cinco classes climáticas principais: tropical, árida, temperada, fria e polar, representadas por letras maiúsculas – A, B, C, D e E, respectivamente. Em seguida, de acordo com a distribuição sazonal da precipitação se caracteriza a segunda letra, que definem o clima dentro das regiões, classificando-se em: f – úmido, m – monção, w - chuva de verão, inverno seco ou savana, S – estação seca de verão ou estepe, W – estação seca de inverno ou deserto. A terceira letra define o clima de acordo com as variações da temperatura do ar, dividindo-se em: a – verão quente, b – verão seco, c – verão frio, d – inverno muito frio, h – quente e k – frio. As letras W, S, h e k são combinadas somente com o clima B (árido). O resultado destas combinações forma 30 subclasses climáticas (Beck *et al.*, 2022).

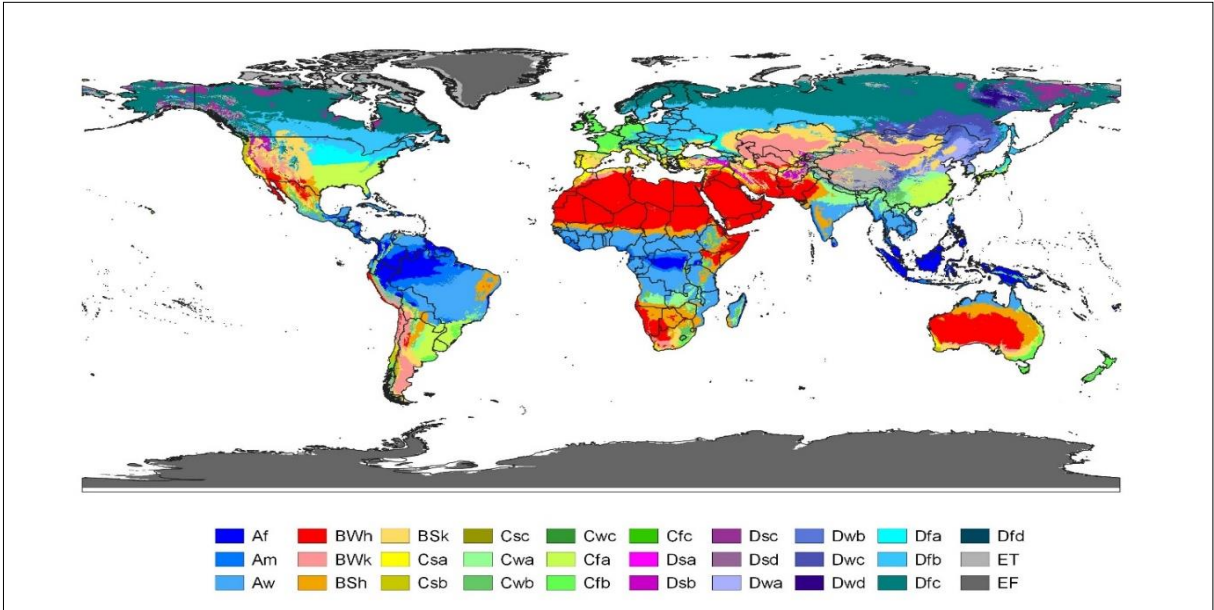
Utilizou-se o mapa histórico observado de classificação Koppen-Geiger do período de 1991-2020, por abranger o período das últimas introduções de *M. roreri* em países como Jamaica e Bolívia e o mapa com projeções futuras de classificação Koppen-Geiger, para o período de 2071-2099, no cenário de altas taxas de emissões

de CO₂ (SSP5-8.5), por este ser o pior cenário futuro das mudanças climáticas, de acordo com as projeções climáticas definidas no Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados (CMIP6), onde se estima que 13% da superfície terrestre fará a transição para uma classe principal diferente. Ambos foram propostos por Beck *et al.*, 2022, estão disponíveis no site <https://www.gloh2o.org/koppen/> e possuem alta resolução (1 km). O esquema de cores dos mapas seguiu os padrões de Peel *et al.*, 2007. O software QGIS Desktop, versão 3.28.12, foi utilizado para contabilizar o número de pontos de ocorrências das espécies em cada país ou continente, através da sobreposição dos pontos em um mapa de escala global.

Também foram realizadas as sobreposições das localizações geográficas dos registros de ocorrências estudadas sobre os mapas de classificação Koppen-Geiger para verificar quais os tipos de climas dos locais onde fungo *Moniliophthora roreri* e os cultivos de *Theobroma cacao* e *T. grandiflorum* estão ocorrendo atualmente e se haverá alterações da classificação climática destas localidades no futuro. Contabilizou-se somente as ocorrências que se sobrepuseram às classes climas, excluindo-se todos os demais pontos, devido à classificação não abranger totalmente a superfície terrestre em virtude da resolução dos mapas.

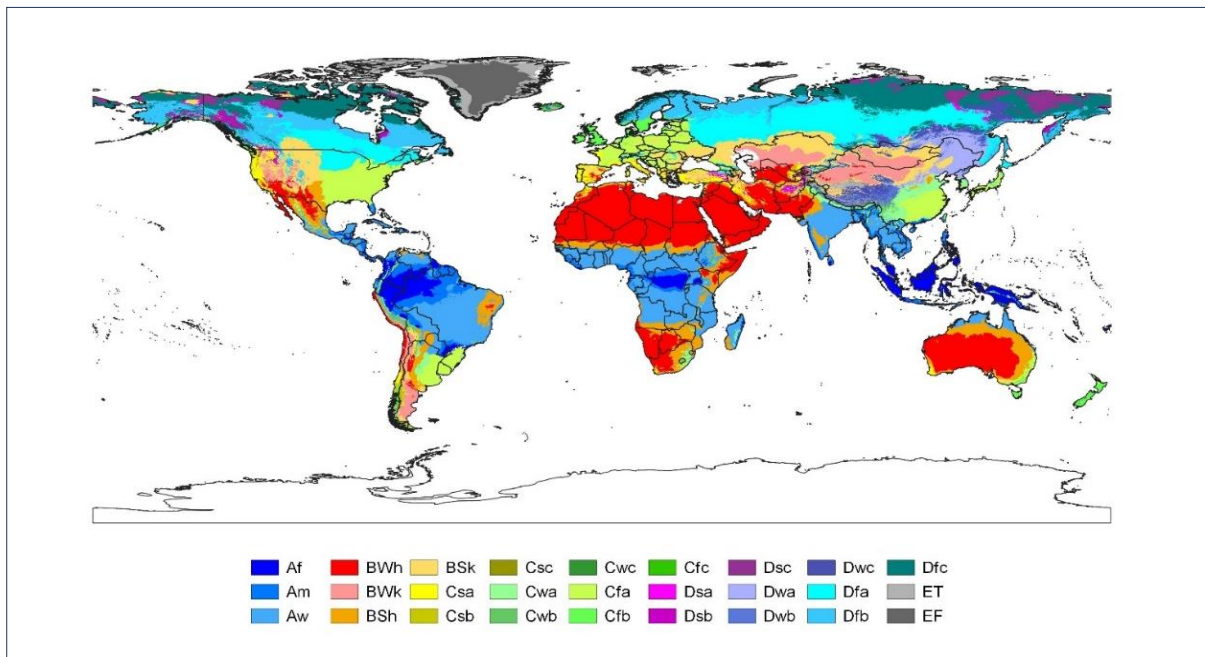
A partir destes dados se elaborou os mapas históricos e futuros com as principais classes climáticas que continham a distribuição geográfica da monilíase do cacauero e de seus hospedeiros, visando identificar quais regiões possuem características climáticas similares às áreas onde a praga e os cultivos ocorrem.

Figura 1: Mapa mundial de classificação climática Koppen-Geiger observado para o período de 1991-2020



Fonte: Beck *et al.* (2022)

Figura 2: Mapa mundial de classificação climática Koppen-Geiger projetado para o período de 2071-2099



Fonte: Beck *et al.* (2022).

3. RESULTADOS

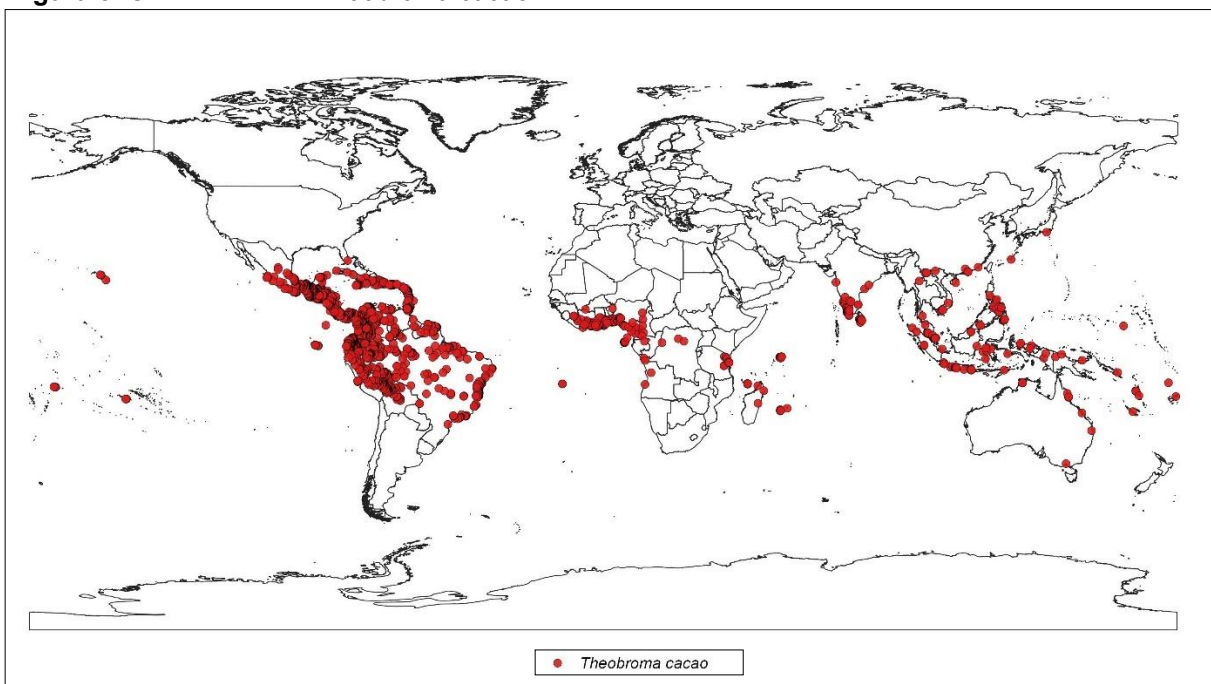
3.1. Distribuição geográfica das espécies

3.1.1. *Theobroma cacao*

O cacau possui registros de 4732 pontos de ocorrências em 72 países ou territórios (Figura 3), na base de dados do GBIF (GBIF, 2024b). 88,67% destes registros estão localizados no continente americano (4196 ocorrências). Foram observadas 2167 ocorrências na Colômbia, 301 no Brasil, 298 na Costa Rica, 284 no Equador e 250 no México. O continente africano teve participação de 6,95% dos pontos e países como Benin, Nigéria, Costa do Marfim e Gana são os que mais apresentam ocorrências. Na Ásia estão 3,63% do total de registros, distribuídos em sua maioria na Indonésia, Índia e Filipinas.

O restante dos registros soma 35 pontos, representam 0,74% do total e estão distribuídos na Oceania. O cacau é extensamente plantado na Costa do Marfim e na Indonésia, mas foram identificados apenas 29 e 50 ocorrências nestes países, respectivamente.

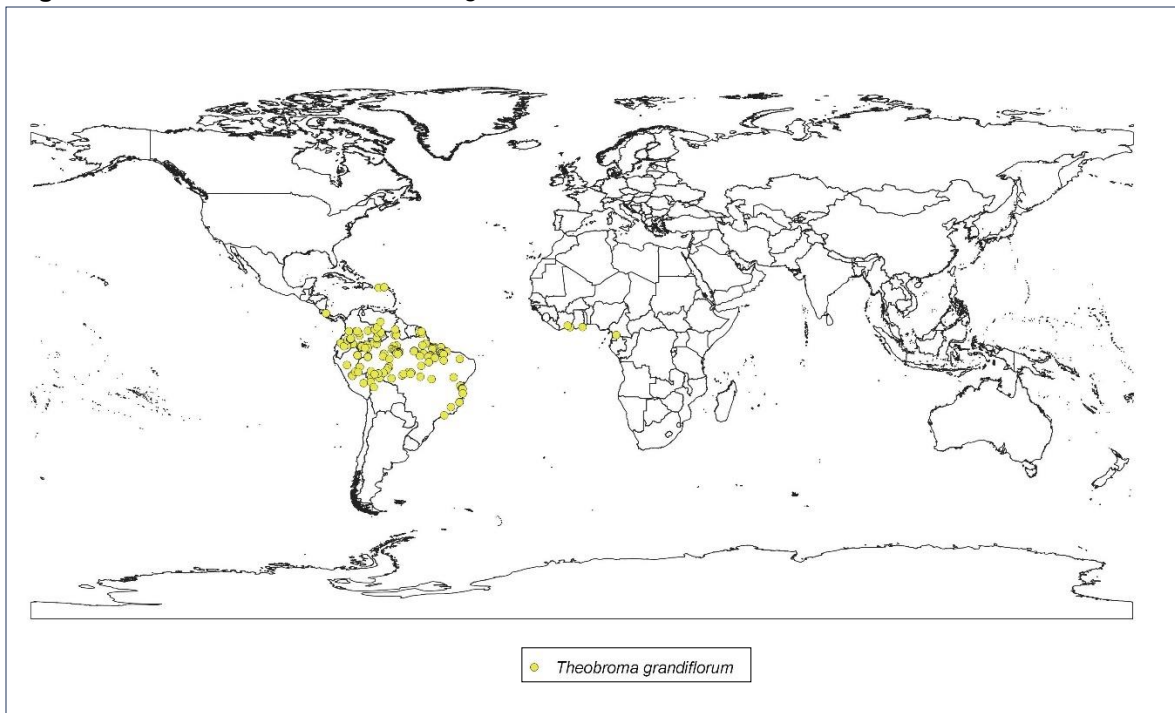
Figura 3: Ocorrências de *Theobroma cacao* no mundo



3.1.2. *Theobroma grandiflorum*

Foram identificados 236 registros de ocorrências de *Theobroma grandiflorum* no mundo (GBIF, 2024c), sendo 147 pontos localizados no Brasil, que representam 62,29% (Figura 4). O cupuaçu também está presente na Colômbia (43 pontos), Peru (16 pontos) e Venezuela (14 pontos), que juntos somam 30,93% dos registros. Os outros 16 registros estão distribuídos em países como Bolívia, Equador, Costa do Marfim e Camarões. A grande maioria das ocorrências, 98,73% dos pontos, estão no continente americano e apenas 1,27% estão no continente africano.

Figura 4: Ocorrências de *Theobroma grandiflorum* no mundo

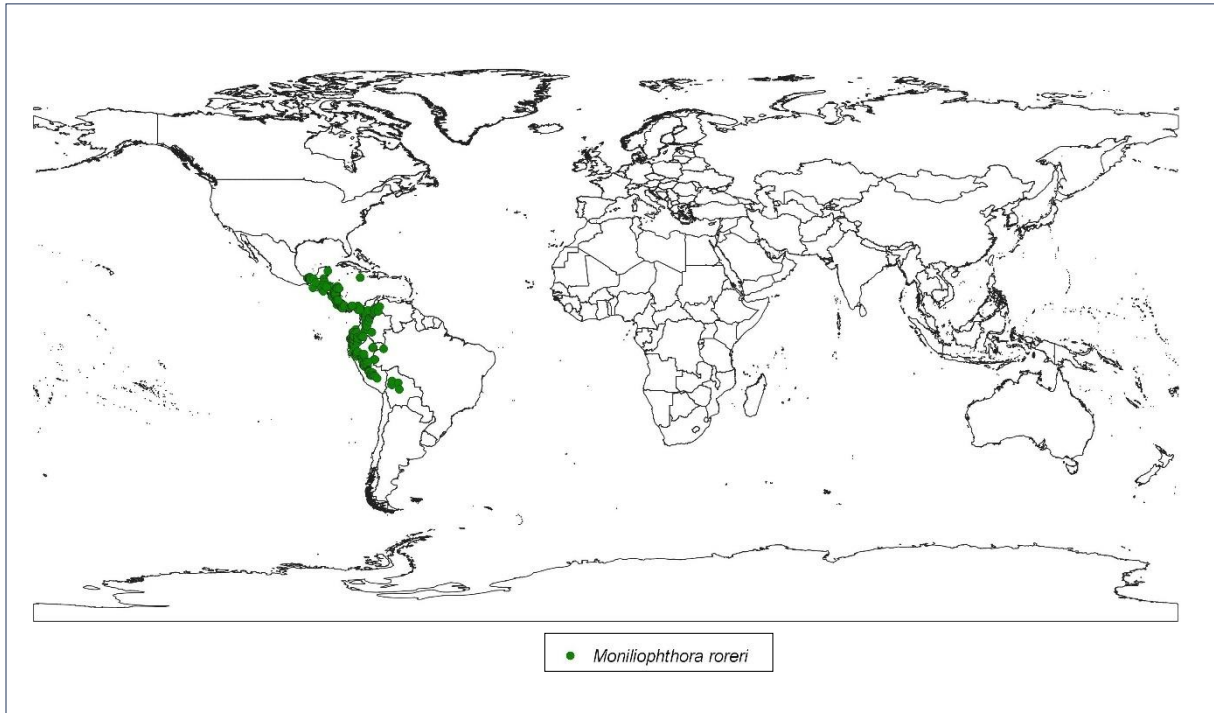


3.1.3. *Moniliophthora roreri*

Um total de 287 ocorrências de *Moniliophthora roreri* foram registradas em 15 países (GBIF, 2024a). Todos os pontos estão localizados no continente americano (Figura 5). Peru, Colômbia e Equador possuem a maior parte dos registros (55,1%) com 59, 51 e 48 ocorrências, respectivamente, seguidos por Costa Rica, México, Nicarágua e Panamá, que somam 32,1%. Os outros 37 pontos são distribuídos entre

Honduras, Bolívia, Belize, Brasil, Venezuela, Guatemala, Jamaica, El Salvador e Guiana Francesa e representam 12,9% do total.

Figura 5: Ocorrências de *Moniliophthora roreri* no mundo



3.2. Análise da distribuição das espécies em relação à classificação climática Koppen-Geiger

3.2.1. *Theobroma cacao*

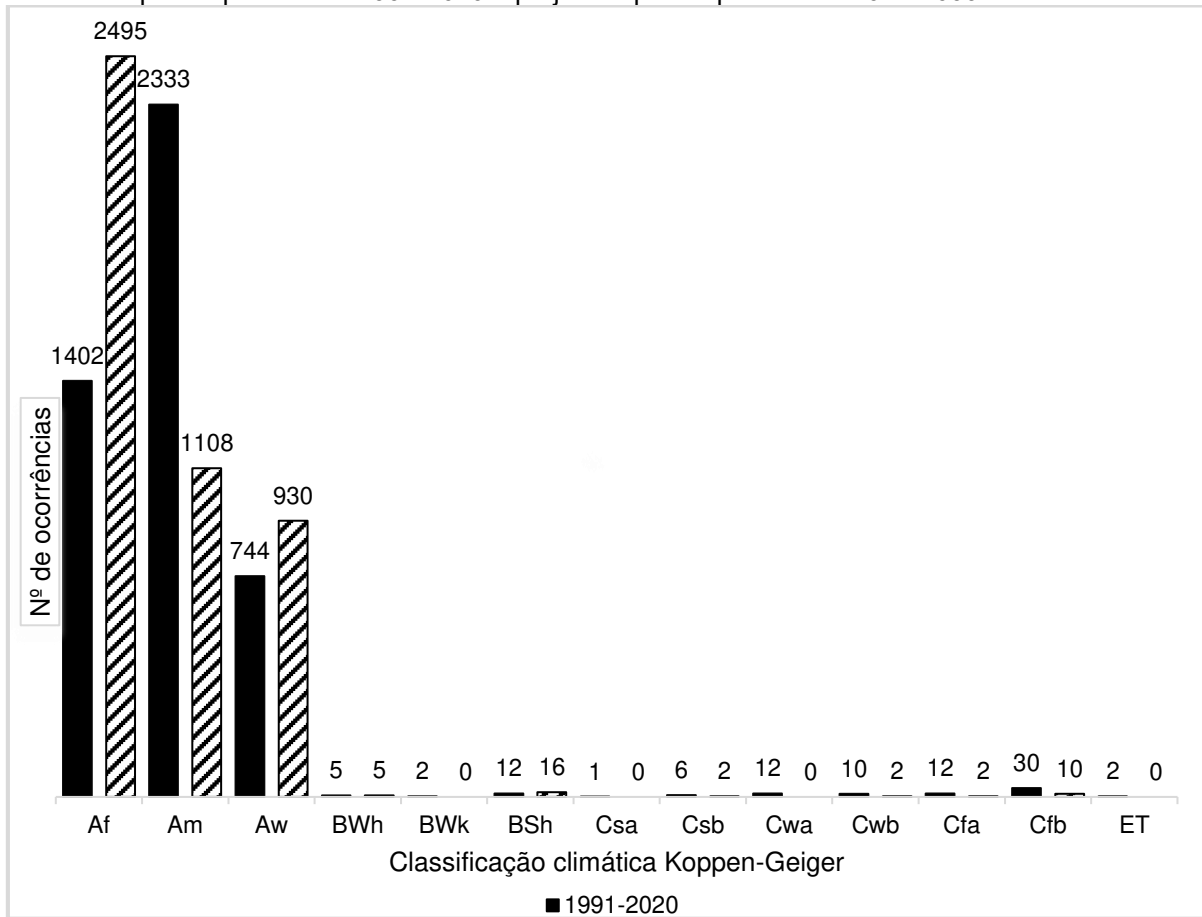
Ao avaliar a distribuição geográfica através dos registros de ocorrências do cacau em relação à classificação climática Koppen-Geiger, no mapa histórico observado para o período de 1991-2020 (Figura 6), verificou-se que essa espécie ocorreu em 13 subclasses climáticas, mas 97,98% dos pontos estão localizados em áreas de clima tropical (A), onde o clima tropical úmido (Af) representou 30,67% das ocorrências, o tropical monção (Am) predominou em 51,04% e o tropical com estação seca no inverno (Aw) respondeu por 16,27% do total de pontos.

O cacau também esteve presente com pouco mais de dez ocorrências nos climas: árido de estepe seco e quente (BSh), temperado com inverno seco e quente

(Cwa), temperado úmido sem seca com verão quente (Cfa) e temperado úmido sem seca e com verão ameno (Cfb).

O número de subclasses climáticas com ocorrências de cacau, no mapa com projeções futuras para o período de 2071-2099, caiu para nove. As regiões com climas Af, Am e Aw continuaram representando a maioria dos registros (99,16%), mas neste cenário o clima Af aparece com um maior número de ocorrências (54,58%), indicando uma possível transição de outros tipos de climas para esta subclasse no futuro. O número de pontos em áreas com o clima Am representou 24,23% e em Aw foram 20,34%.

Figura 6: Registros de *Theobroma cacao* no mapa mundial da classificação Koppen-Geiger observado para o período de 1991-2020 e projetado para o período de 2071-2099

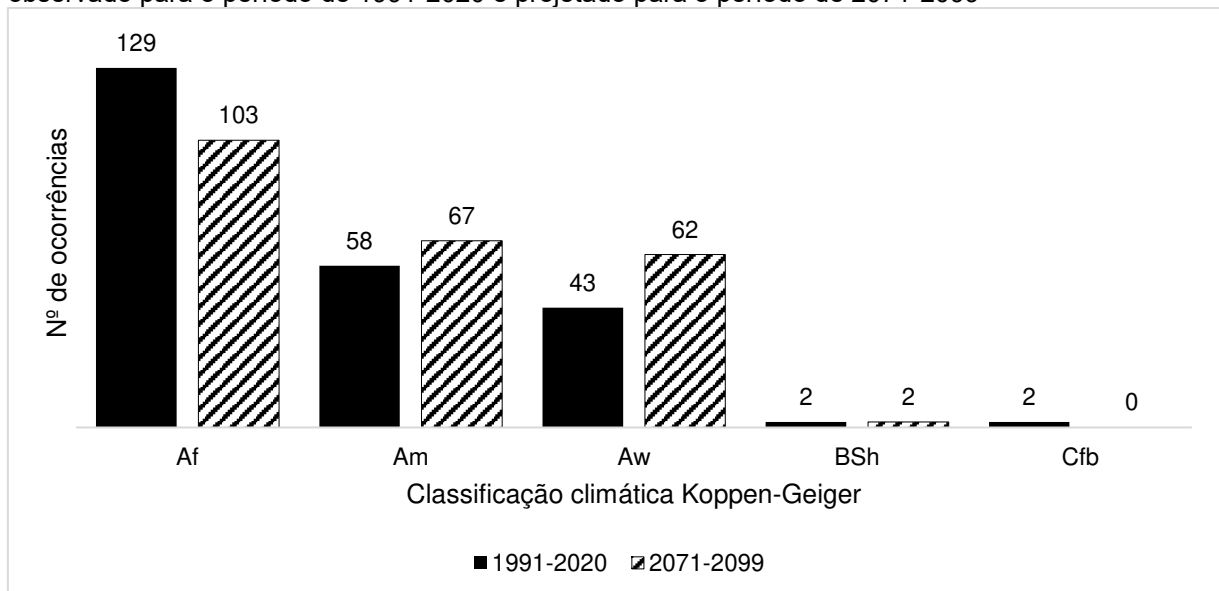


3.2.2. *Theobroma grandiflorum*

Os pontos de ocorrências do cupuaçu estão distribuídos em cinco subclasses climáticas, no mapa histórico observado para o período de 1991-2020, mas de forma semelhante ao que ocorreu com o cacau, a grande maioria dos pontos se concentram em regiões com climas Af, Am e Aw, que representaram 98,29% do total de registros, sendo a participação de cada um de 55,1%, 24,79% e 18,38%, respectivamente (Figura 7). Apenas quatro registros foram observados nos climas árido de estepe seco e quente (BSh) e temperado úmido sem seca e com verão ameno (Cfb), sendo a metade em cada subclasse.

No cenário projetado para 2071 a 2099 não foram encontradas ocorrências no clima temperado úmido sem seca e com verão ameno (Cfb) e houve somente dois pontos em áreas áridas de estepe seco e quente (BSh). Os outros 232 registros se distribuíram nos climas tropicais Af, Am e Aw. Constatou-se que ocorreu uma redução de 25,24% das ocorrências no clima Af e acréscimos de 15,51% e 44,19% em Am e Aw, respectivamente.

Figura 7: Registros de *Theobroma grandiflorum* no mapa mundial da classificação *Köppen-Geiger* observado para o período de 1991-2020 e projetado para o período de 2071-2099

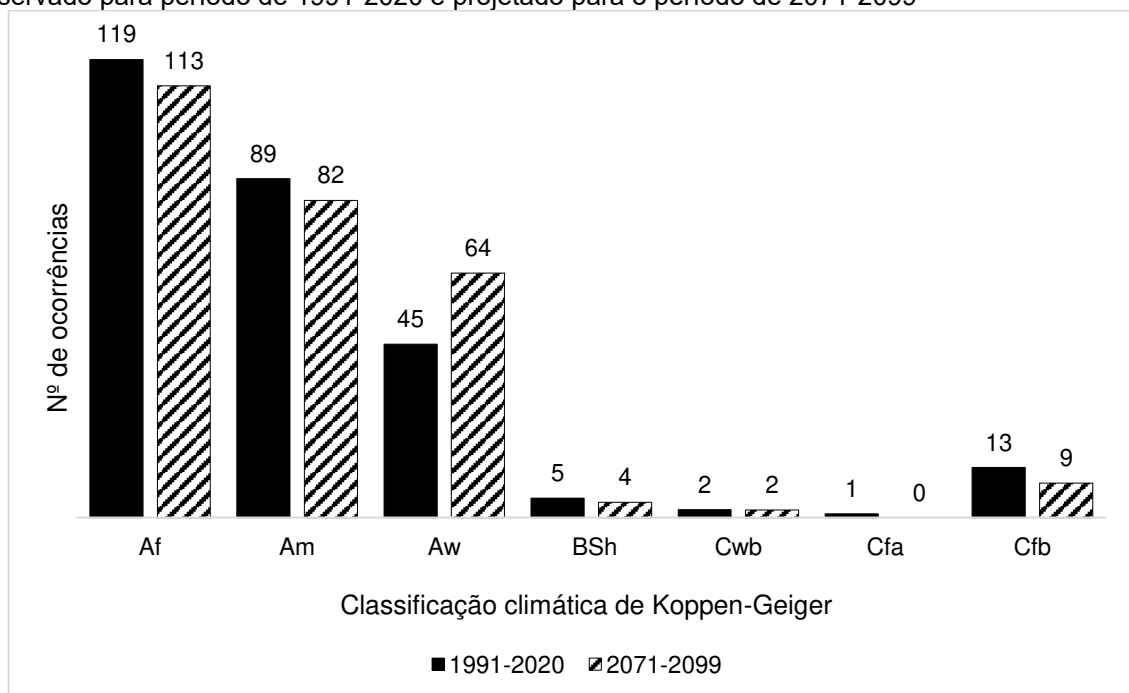


3.2.3. *Moniliophthora roreri*

A monilíase no período histórico observado de 1991-2020 está presente em sete subclasses climáticas diferentes e as ocorrências também predominaram nos climas Af, Am, Aw, que representam 92,33% do total, sendo que 43,43% dos registros estão em regiões com clima tropical úmido (Af), 32,48% em tropical monção (Am) e 16,42% em tropical com estação seca no inverno (Aw). Ainda há registros em menores quantidades nos climas árido de estepe seco e quente (BSh), temperado com inverno seco e verão ameno (Cwb), temperado úmido sem seca com verão quente (Cfa) e temperado úmido sem seca e com verão ameno (Cfb) (Figura 8).

Ao analisar o cenário de 2071-2099 percebeu-se que o clima Cfa deixou de ter registros e os climas Af, Am e Aw aumentaram a sua participação, alcançando 94,52% do total. Houve reduções de 5,04% e 7,86% nos climas Af e Am, respectivamente, e um aumento de 42,22% na subclasse Aw.

Figura 8: Registros de *Moniliophthora roreri* nos mapas mundiais da classificação Koppen-Geiger observado para período de 1991-2020 e projetado para o período de 2071-2099



3.3. Locais com potencial para a introdução de *Moniliophthora roreri* e para os cultivos de *Theobroma cacao* e *T. grandiflorum*

Observou-se que no continente africano as áreas com as classes climáticas favoráveis ao desenvolvimento de *M. roreri* e seus hospedeiros sofrem um discreto aumento (Figura 9). Neste continente se localizam Costa do Marfim, Gana e Nigéria que possuem grandes áreas de cacau, mas ainda não registraram a presença da monilíase do cacauero. Guiné-Bissau e Sudão do Sul também possuem climas favoráveis em grande parte de seu território.

Dentre os países do continente africano onde não se cultiva cacau ou cupuaçu atualmente, Etiópia, Malawi, Quênia, Ruanda e Zâmbia aumentarão as áreas com climas tropicais (Af, Am e Aw) no futuro. Já as áreas com esses climas, localizadas em Gâmbia, Mali e Senegal, diminuirão no cenário de 2071-2099.

Na América há um aumento das áreas com climas Af, Am e Aw no cenário de 2071-2099. Estes climas estarão presentes em grande parte dos territórios de países como Brasil, Equador, Colômbia, Peru, Venezuela, México e Nicarágua. A Argentina e o Paraguai também terão uma participação maior de climas favoráveis para o desenvolvimento das espécies estudadas nas áreas de seus territórios. Observa-se que atualmente as regiões com clima tropical úmido (Af) se concentram na região amazônica de países como o Brasil, Colômbia, Equador e Venezuela, onde o cacau e o cupuaçu são amplamente cultivados.

A Indonésia e as Filipinas, localizadas no continente asiático, possuem o clima tropical úmido (Af) em grande parte de seus territórios. Observou-se que haverá um aumento expressivo do clima tropical com estação seca no inverno (Aw) na Índia. As regiões de Bangladesh, Hong Kong (China), Macau (China), Laos e Myanmar também aumentarão as áreas com climas Af, Am e Aw nas projeções futuras.

Na Oceania há poucas regiões com a presença de climas tropicais. O norte da Austrália apresentará o clima tropical com estação seca no inverno (Aw) nas projeções futuras.

Ao analisar a sobreposição dos registros de ocorrências de *Theobroma cacao*, *Theobroma grandiflorum* e *Moniliophthora roreri* (Figura 10), observa-se que há uma estreita relação entre as condições climáticas necessárias para o desenvolvimento

destas espécies, indicando a vulnerabilidade das áreas do Brasil e dos continentes africano e asiático ao ataque do patógeno.

Na Tabela 1 estão relacionados todos os países com clima tropical (Af, Am e Aw), que são potencialmente favoráveis para as espécies estudadas. Observa-se que os territórios da Argentina, Butão, Eritreia, Hong Kong, Macau e Nepal não possuem este clima no período observado de 1991-2020, mas terão parte de suas áreas com esta classe climática no cenário projetado para 2071-2099.

Figura 9: Mapas da classificação climática Koppen-Geiger para períodos de 1991-2020 (A) e 2071-2099 (B) com as áreas com potencial para a introdução de *Moniliophthora roreri* e para o cultivo de *Theobroma cacao* e *T. grandiflorum*

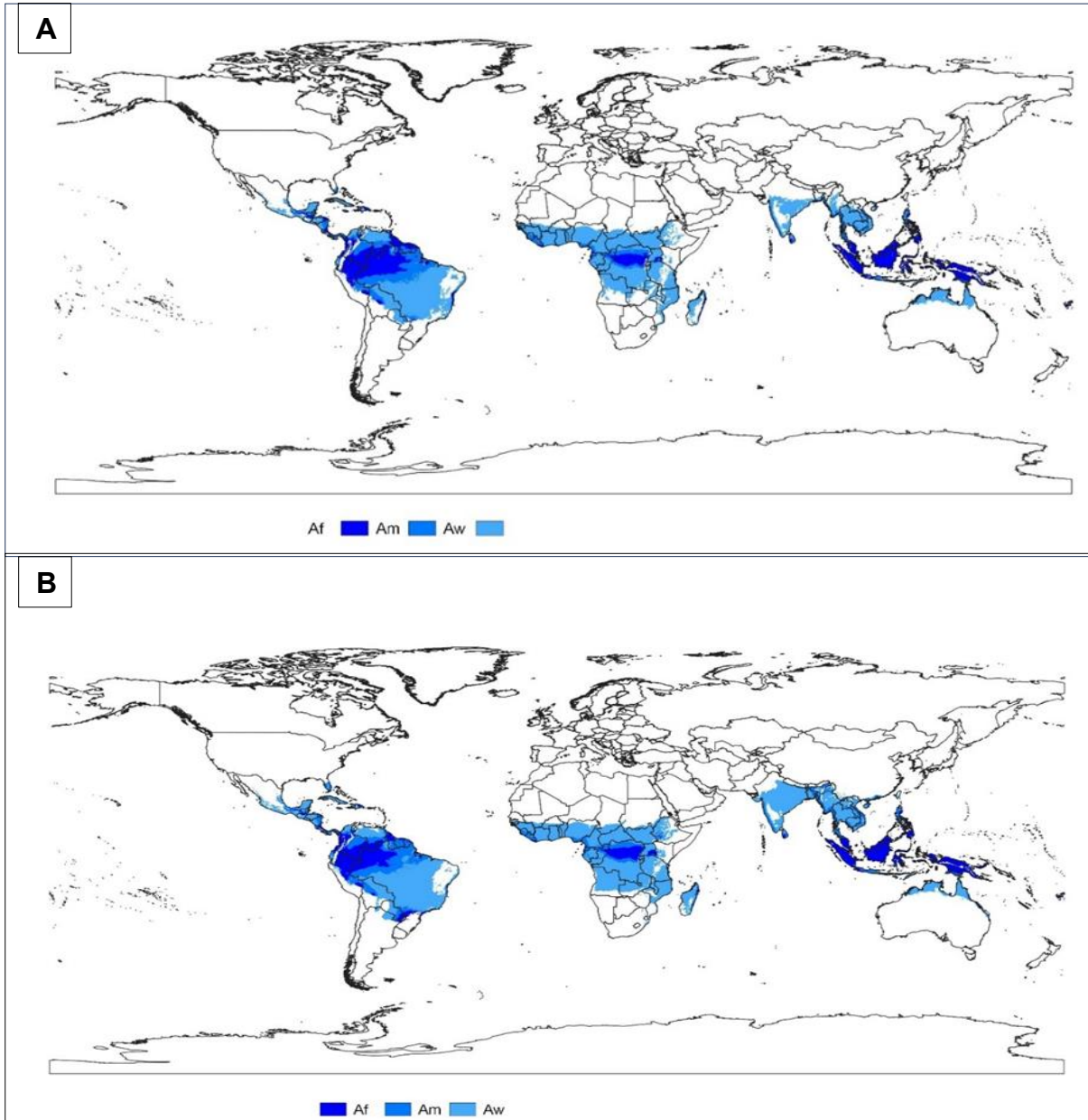


Figura 10: Distribuições geográficas de *M. roreri*, *T. cacao* e *T. grandiflorum* nos climas Af, Am e Aw da classificação Koppen-Geiger, nos períodos de 1991-2020 (A) e 2071-2099 (B)

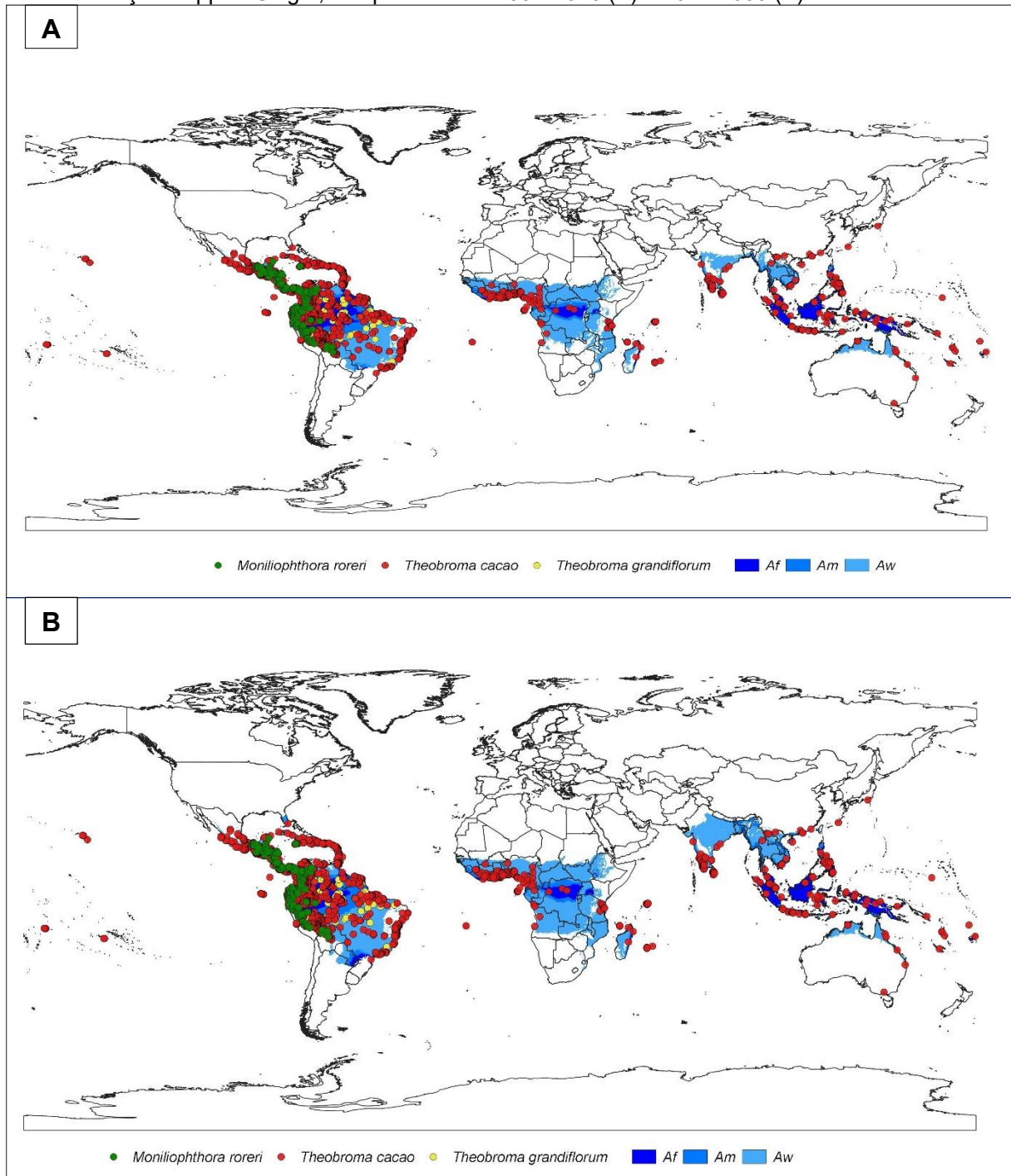


Tabela 1 – Lista de países com áreas potenciais para a introdução de *Moniliophthora roreri* e para o cultivo de *Theobroma cacao* e *T. grandiflorum* de acordo com a classificação Koppen-Geiger nos períodos de 1991-2020 e 2071-2099

Clima	1991-2020	2071-2099
Af	<p>África (Camarões, Congo, Costa do Marfim, Guiné-Equatorial, Libéria, Madagascar, Maurício, Nigéria, Quênia, República Democrática do Congo, Tanzânia, Uganda), América (Belize, Bolívia, Brasil, Colômbia, Costa Rica, Cuba, Dominica, Equador, Estados Unidos, Guatemala, Guiana, Haiti, Honduras, Jamaica, México, Nicarágua, Panamá, Paraguai, Peru, República Dominicana, Santa Lúcia, São Cristóvão e Névis, São Vicente e Granadinas, Suriname, Trinidad e Tobago, Venezuela), Ásia (Brunei, Filipinas, Indonésia, Japão, Malásia, Sri Lanka, Tailândia, Vietnã), Oceania (Austrália, Fiji, Ilhas Salomão, Papua Nova Guiné, Vanuatu)</p>	<p>África (Camarões, Congo, Costa do Marfim, Etiópia, Guiné-Equatorial, Libéria, Madagascar, Quênia, República Democrática do Congo, Tanzânia, Uganda), América (Argentina, Belize, Bolívia, Brasil, Colômbia, Costa Rica, Cuba, Dominica, Equador, Estados Unidos, Guatemala, Guiana, Haiti, Honduras, Jamaica, México, Nicarágua, Panamá, Paraguai, Peru, República Dominicana, Santa Lúcia, São Vicente e Granadinas, Suriname, Venezuela), Ásia (Brunei, Filipinas, Indonésia, Japão, Malásia, Sri Lanka, Tailândia, Vietnã), Oceania (Austrália, Fiji, Ilhas Salomão, Papua Nova Guiné, Vanuatu)</p>
Am	<p>África (África do Sul, Camarões, Comores, Congo, Costa do Marfim, Etiópia, Gabão, Gana, Guiné, Guiné-Bissau, Guiné-Equatorial, Libéria, Madagascar, Maurício, Nigéria, Quênia, República Centro-Africana, República Democrática do Congo, São Tomé e Príncipe, Serra Leoa, Tanzânia, Uganda) América (Antígua e Barbuda, Belize, Bolívia, Brasil, Colômbia, Costa Rica, Cuba, Equador, Estados Unidos, Guatemala, Guiana, Haiti, Honduras, Jamaica, México, Nicarágua, Panamá, Paraguai, Peru, República Dominicana, Santa Lúcia, São Cristóvão e Névis,</p>	<p>África (Camarões, Comores, Congo, Costa do Marfim, Etiópia, Gabão, Gana, Guiné, Guiné-Equatorial, Libéria, Madagascar, Maurício, Nigéria, Quênia, República Centro-Africana, República Democrática do Congo, Ruanda, São Tomé e Príncipe, Serra Leoa, Sudão do Sul, Tanzânia, Uganda, Antígua e Barbuda) América (Argentina, Belize, Bolívia, Brasil, Colômbia, Costa Rica, Cuba, Equador, Estados Unidos, Guatemala, Guiana, Haiti, Honduras, Jamaica, México, Nicarágua, Panamá, Paraguai, Peru, República Dominicana, Santa Lúcia, São Cristóvão e Névis,</p>

	Suriname, Trinidad e Tobago, Venezuela), Ásia (Bangladesh, Camboja, China, Filipinas, Índia, Indonésia, Laos, Myanmar, Sri Lanka, Tailândia, Timor-Leste, Vietnã), Oceania (Austrália, Fiji, Papua Nova Guiné)	Suriname, Trinidad e Tobago, Venezuela), Ásia (Bangladesh, Butão, Camboja, China, Filipinas, Hong Kong (China), Índia, Indonésia, Laos, Macau (China), Myanmar, Nepal, Sri Lanka, Tailândia, Timor-Leste, Vietnã), Oceania (Austrália, Fiji, Papua Nova Guiné)
Aw	África (Abyei, África do Sul, Angola, Benin, Burkina Fasso, Camarões, Chade, Congo, Costa do Marfim, Eritreia, Essuantíni, Etiópia, Gabão, Gâmbia, Gana, Guiné, Guiné-Bissau, Guiné-Equatorial, Libéria, Madagáscar, Malauí, Mali, Maurício, Moçambique, Nigéria, Quênia, República Centro-Africana, República Democrática do Congo, Ruanda, São Tomé e Príncipe, Senegal, Serra Leoa, Somália, Sudão, Sudão do Sul, Tanzânia, Togo, Triângulo do Ilemi, Uganda, Zâmbia, Zimbábue) América (Antígua e Barbuda, Bahamas, Belize, Bolívia, Brasil, Colômbia, Costa Rica, Cuba, El Salvador, Equador, Estados Unidos, Guatemala, Guiana, Haiti, Honduras, Jamaica, México, Nicarágua, Panamá, Paraguai, Peru, República Dominicana, São Cristóvão e Névis, Suriname, Trinidad e Tobago, Venezuela), Ásia (Bangladesh, Camboja, China, Filipinas, Índia, Indonésia, Laos, Myanmar, Singapura, Sri Lanka, Tailândia, Timor-Leste, Vietnã), Oceania (Austrália, Papua Nova Guiné)	África (Abyei, África do Sul, Angola, Benin, Burkina Fasso, Camarões, Chade, Comores, Congo, Costa do Marfim, Eritreia, Essuantíni, Etiópia, Gabão, Gâmbia, Gana, Guiné, Guiné-Bissau, Guiné-Equatorial, Libéria, Madagáscar, Malauí, Mali, Maurício, Moçambique, Nigéria, Quênia, República Centro-Africana, República Democrática do Congo, Ruanda, São Tomé e Príncipe, Senegal, Serra Leoa, Somália, Sudão, Sudão do Sul, Tanzânia, Togo, Triângulo do Ilemi, Uganda, Zâmbia, Zimbábue) América (Argentina, Belize, Bolívia, Brasil, Colômbia, Costa Rica, Cuba, El Salvador, Equador, Estados Unidos, Guatemala, Guiana, Haiti, Honduras, Jamaica, México, Nicarágua, Panamá, Paraguai, Peru, República Dominicana, São Cristóvão e Névis, Suriname, Trinidad e Tobago, Venezuela), Ásia (Bangladesh, Camboja, China, Filipinas, Índia, Indonésia, Laos, Myanmar, Nepal, Singapura, Sri Lanka, Tailândia, Timor-Leste, Vietnã), Oceania (Austrália, Papua Nova Guiné)

4. DISCUSSÃO

De acordo com os resultados obtidos, constatou-se que a distribuição geográfica de *Theobroma cacao*, *Theobroma grandiflorum* e *Moniliophthora roreri* ocorre com maior frequência em áreas onde o clima tropical (Af, Am e Aw) da classificação Köppen-Geiger é predominante. Esta zona climática possui temperaturas médias ou superiores a 18°C no mês mais frio do ano, precipitações mensais significativas, que podem ser maiores ou iguais a 60 milímetros no clima tropical úmido (Af). Ocupa grande parte do continente americano, onde se localizam os centros de origem das espécies pesquisadas (Cuatrecasas, 1964). A maior diversidade dos isolados de monilíase é encontrada no nordeste da Colômbia e em regiões do Equador (Phillips-Mora; Aime e Wilkinson, 2007; Díaz-Valderrama, Leiva-Espinoza e Aime, 2020).

As condições climáticas desempenham um papel importante no desenvolvimento da praga. O fungo pode se desenvolver em temperaturas de 10 a 40 °C e necessita de umidade elevada, sua esporulação e germinação são favorecidas em temperaturas médias de 22 a 30 °C e umidade relativa do ar acima de 80%. Mas temperaturas constantes inferiores a 18°C podem limitar o seu crescimento e esporulação. Há relatos desta praga em regiões com altitude que variam de 0 a 1520 metros e precipitações anuais de 780 a 5500 milímetros (Evans, 1981; Dorado Orea *et al.*, 2017).

O cacau e o cupuaçu são mais restritivos quanto às condições climáticas, exigindo temperaturas entre 23 e 25°C, não podendo ser inferiores a 21° C, precipitações bem distribuídas, com médias anuais acima de 1200 milímetros e menos de dois meses de estiagem, sendo estas condições encontradas nos climas Af e Am (Leandro-Munoz *et al.*, 2017). Observou-se que em todos os climas onde a monilíase e seus hospedeiros ocorrem há pelo menos um período com muita umidade, que podem favorecer o aparecimento e o desenvolvimento da praga.

O uso de técnicas de irrigação e sombreamento nas culturas do cacau e do cupuaçu possibilitam a expansão de seus cultivos em climas como o tropical com estação seca no inverno (Aw), onde há a presença de períodos secos, aumentando consideravelmente as áreas com potencial para o desenvolvimento dessas espécies.

As culturas do cacau e do cupuaçu possuem um relevante papel socioambiental, pois em muitas áreas são consorciadas com essências florestais, fator positivo para a conservação das florestas. A mão-de-obra em muitas propriedades advém da agricultura familiar e contribui para a fixação do homem no campo. A adequabilidade climática evidenciada neste estudo de grandes áreas onde se cultivam os hospedeiros, mas livres desta praga, ressalta a importância da adoção de medidas de prevenção para que não ocorra a introdução deste organismo nestes locais. Caso as mudanças climáticas progressivas afetem a adequação climática do cacau e do cupuaçu, pode ocorrer um impacto na produção global, com implicações negativas sobre a cadeia produtiva destas culturas.

Conforme Evans, 1989, o fungo *Moniliophthora roreri* é capaz de produzir bilhões de esporos, que são os únicos propágulos infectivos e podem ser facilmente levados de um local para o outro através de um fruto infectado ou por meio de materiais contaminados. Os esporos podem sobreviver até nove meses em frutos aderidos às plantas e até um mês em frutos colhidos e deixados no chão. Podem ser espalhados pelo vento, chuva e atividade humana (Bailey *et al.*, 2018). A ausência de sintomas na fase inicial de infecção do fungo, aliada à capacidade de sobreviver em diferentes condições ambientais, à alta velocidade de dispersão natural e à suscetibilidade de grande parte dos genótipos comerciais de cacau e cupuaçu indicam que esta praga pode representar uma ameaça potencial em todo o mundo (Phillips-Mora e Wilkinson, 2007).

O homem possui grande participação na disseminação de *M. roreri* para áreas ou regiões onde a praga ainda não ocorre. Em locais com condições climáticas favoráveis e com a presença de hospedeiros, os prejuízos podem atingir até 100% de perda (Phillips-Mora, 2021). Portanto, é preciso adotar medidas de biossegurança no trânsito de pessoas ou qualquer artigo regulamentado oriundos de áreas onde há a presença deste fungo. A globalização e a maior circulação de pessoas e mercadorias entre áreas livres e os locais com a presença da praga elevam o risco de ocorrer a introdução deste organismo em outras regiões, devido à grande quantidade de áreas com adequabilidade climática para este fungo.

Houve um período de tempo considerável para a praga ultrapassar a Cordilheira dos Andes e se espalhar para novas áreas. Porém, após romper esta barreira o ritmo e a frequência de novos relatos têm aumentado, como as recentes

introduções no México em 2005, Belize em 2006, na Bolívia em 2012 (Phillips-Mora *et al.*, 2006a, 2006b, 2015), na Jamaica em 2016 (Johnson *et al.*, 2017) e no Brasil em 2021. Apesar de *M. roreri* se desenvolver em uma grande amplitude térmica, o fato de seus hospedeiros serem somente dos gêneros *Theobroma* e *Herrania* limita a sua abrangência.

É imperativo evitar a introdução deste patógeno em outras regiões produtoras de cacau e cupuaçu, como o Brasil e os países africanos e asiáticos, através da adoção de medidas de prevenção, detecção precoce e da mitigação de riscos. Entre as medidas preventivas que podem ser adotadas estão as ações de educação sanitária, visando orientar a população em geral sobre a praga, os riscos do transporte irregular de frutos dos hospedeiros e os cuidados de biossegurança; realização de treinamentos para os técnicos envolvidos com a cadeia produtiva do setor, para a detecção em estágios iniciais da praga; implantação de medidas regulatórias e acordos internacionais entre os países; e ações que visam mitigar os impactos causados pelo patógeno através do manejo integrado dos controles cultural, químico e biológico e da resistência genética (Krauss, 2010; Bailey *et al.*, 2018).

Os principais métodos controle cultural da monilíase consistem na retirada de frutos mumificados remanescentes nas plantas e na remoção semanal de frutos com sintomas iniciais, para evitar sua esporulação dentro das lavouras, aliado ao emprego de podas de formação e manutenção, para o rebaixamento das plantas favorecendo o manejo e a aeração das culturas (Álvarez *et al.*, 2014; Soberanis *et al.*, 1999). Entretanto, estas práticas demandam muita mão de obra e necessitam de uma análise de viabilidade econômica.

Há poucas alternativas de controle químico para a praga, fungicidas cúpricos e sistêmicos são utilizados nos países onde a praga está estabelecida (Krauss *et al.*, 2010). O número alto de aplicações e as características locais de cultivo podem inviabilizar a prática, sendo necessária uma análise de custo-benefício. No Brasil há oito agrotóxicos registrados no Mapa para o controle de *Moniliophthora roreri* e dois para *Moniliophthora perniciosa*, com os seguintes ingredientes ativos: azoxistrobina, clorotalonil e flutriafol para *M. roreri*; piraclostrobina, epoxiconazol e Tricovab (*Trichoderma stromaticum*) para *M. perniciosa* (AGROFIT, 2024).

Os estudos de possíveis alternativas de controle biológico têm aumentado, como os que avaliam o uso de organismos capazes de causar antibiose na planta,

tornando-a mais tolerante a infecção inicial do patógeno. Para o controle de *Moniliophthora perniciosa* a Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira - CEPLAC possui o registro do produto microbiológico Tricovab, composto por isolados de *Trichoderma stromaticum* (AGROFIT, 2024).

O uso de materiais resistentes ou tolerantes ao fungo é uma alternativa para reduzir os impactos ocasionados pela monilíase. Algumas instituições brasileiras têm importado materiais de outros países para fins de pesquisa e desenvolvimento de clones adaptados no Brasil, resistentes a este patógeno. Ainda são poucos os materiais com alguma resistência, os clones CATIE-R1, CATIE-R4, CATIE-R6, CC-137, ICS-95 e PMCT-58 estão disponíveis para os produtores em Belize, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicarágua e Panamá e foram introduzidos no Brasil recentemente (Bailey *et al.*, 2018). Esta seria a alternativa menos onerosa para os produtores.

O manejo é influenciado pela eficiência individual do produtor, aliado ao germoplasma implantado e ao ambiente local, sendo diretamente afetado pelo nível tecnológico de produção e pelo preço de mercado do produto (Evans, 2016). O fato dos esporos de *M. roreri* se dispersarem por longas distâncias requer que as práticas de manejo sejam adotadas por todos os produtores, pois lavouras abandonadas ou mal conduzidas podem servir de fonte de inóculo para novas infecções.

O aumento de áreas com clima tropical no futuro, evidenciado neste estudo, indica que esta praga continuará com condições climáticas adequadas para a sua expansão e estabelecimento. É importante destacar que fatores climáticos como a temperatura e a umidade desempenham um papel fundamental no desenvolvimento das espécies e as mudanças climáticas poderão afetar a sua distribuição.

Salienta-se que a classificação de Koppen-Geiger utiliza somente os dados de temperatura do ar e umidade para definir as regiões climáticas, mas outros fatores devem ser analisados, pois podem influenciar na distribuição e no estabelecimento de uma espécie, como a geografia local, tipo de solo, disponibilidade de nutrientes, intervenções humanas e transições dos ecossistemas. Portanto, estudos mais aprofundados são necessários para fundamentar as tomadas de decisões.

5. CONCLUSÕES

A zona climática tropical da classificação Koppen-Geiger possui maior adequabilidade para o desenvolvimento da *Moniliophthora roreri* e seus principais hospedeiros, *Theobroma cacao* e *Theobroma grandiflorum*.

As áreas com climas favoráveis para o desenvolvimento de *M. roreri* aumentarão no futuro, elevando também o risco de sua introdução em outros continentes. Países como a Argentina, Paraguai, Índia e China terão maior potencial no futuro para o cultivo de cacau e cupuaçu e, conseqüentemente, para o estabelecimento da monilíase do cacauero.

Novos estudos são necessários para verificar como as condições climáticas afetarão a agricultura no futuro e como ocorrerá a sua interação com os outros fatores que podem influenciar a distribuição e o estabelecimento de uma espécie.

REFERÊNCIAS

- AGROFIT. Sistemas de agrotóxicos fitossanitários. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 26 fev. 2024.
- ÁLVAREZ, Javier Correa; MARTÍNEZ, Sergio Castro; COY, Jairo. Estado de la moniliasis del cacao causada por *Moniliophthora roreri* en Colombia. **Acta agronómica**, v. 63, n. 4, p. 388-399, 2014.
- BAILEY, Bryan A. *et al.* *Moniliophthora roreri*, causal agent of cacao frosty pod rot. **Molecular plant pathology**, v. 19, n. 7, p. 1580-1594, 2018.
- BECK, Hylke E. *et al.* High-resolution (1 km) Köppen-Geiger maps for 1901–2099 based on constrained CMIP6 projections. **Scientific data**, v. 10, n. 1, p. 724, 2023.
- BORGES, Cláudia Eduarda *et al.* Distribution and future projection of potential cultivation areas for *Acrocomia aculeata* (Arecaceae) worldwide: the emerging energy culture of the tropics. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 146, p. 1069-1078, 2021.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 39, de 1 de outubro de 2018. Diário Oficial da União, 02/10/2018. Seção 1 Página 11.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 372, de 03 de agosto de 2021. Diário Oficial da União, 05/08/2021. Edição 147. Seção 1. Página 3.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria SDA nº 703, de 21 de novembro de 2022. Diário Oficial da União, 22/11/2022. Edição: 219. Seção: 1. Página 4.
- CUATRECASAS, José. **Cacao and its allies: a taxonomic revision of the genus *Theobroma***. Smithsonian Institution, 1964.
- DÍAZ-VALDERRAMA, Jorge R.; LEIVA-ESPINOZA, Santos T.; AIME, M. Catherine. The history of cacao and its diseases in the Americas. **Phytopathology**®, v. 110, n. 10, p. 1604-1619, 2020.
- DORADO, Orea *et al.* Current status of cocoa frosty pod rot caused by *Moniliophthora roreri* and a phylogenetic analysis. **Plant Pathology Journal (Faisalabad)**, v. 16, n. 1, p. 41-53, 2017.
- EVANS, Harry C. *et al.* On the taxonomy of *Monilia roreri*, an important pathogen of *Theobroma cacao* in South America. **Canadian Journal of Botany**, v. 56, n. 20, p. 2528-2532, 1978.

EVANS, H. C. *et al.* **Pod rot of cacao caused by *Moniliophthora (Monilia) roreri***. Commonwealth Mycological Institute., 1981.

EVANS, Harry C. Frosty pod rot (*Moniliophthora roreri*). **Cacao Diseases: A History of Old Enemies and New Encounters**, p. 63-96, 2016.

FAOSTAT - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Data Crops and livestock products. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 10 jan. 2024.

FRANKLIN, Janet. **Mapping species distributions: spatial inference and prediction**. Cambridge University Press, 2010.

GBIF. Global Biodiversity Information Facility. Occurrence Download. Disponível em: <https://doi.org/10.15468/dl.gwnawg>. Acesso em: 02 fev. 2024.

GBIF. Global Biodiversity Information Facility. Occurrence Download. Disponível em: <https://doi.org/10.15468/dl.jey3ta>. Acesso em: 02 fev. 2024.

GBIF. Global Biodiversity Information Facility. Occurrence Download. Disponível em: <https://doi.org/10.15468/dl.skcz64>. Acesso em: 02 fev. 2024.

GONÇALVES, Douglas dos Santos Damasceno *et al.* Cinética de secagem das amêndoas de cupuaçu cultivadas na Amazônia Oriental. **Research, Society and Development**, v. 13, n. 2, p. e0713244938-e0713244938, 2024.

GRAMACHO, K. Peres; ALBUQUERQUE, Paulo; NOVAIS, Cleber Bastos; LOPES, Uilson Vanderlei; MATTOS SOBRINHO, Catarina C.. *Moniliophthora roreri* (Cif & Par.) (Agaricales: Marasmiaceae) *In*: FIDELIS, Elisangela Gomes *et al.* **Priorização de pragas quarentenárias ausentes no Brasil**. Embrapa Roraima - Livro científico (ALICE), 2018.

HIGUCHI, Pedro *et al.* Influence of Climate and Migration Routes of Tree Species on the Phytogeography Patterns of Forests in Southern Brazil. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 4, p. 539-553, 2013.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção de Cacau**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/cacau/br>. Acesso em: 10 jan. 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção de Cupuaçu**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/cupuacu/br>. Acesso em: 10 jan. 2024.

JOHNSON, E. S. *et al.* First report of *Moniliophthora roreri* causing frosty pod rot on *Theobroma cacao* in Jamaica. **New Disease Reports**, v. 36, p. 2-2, 2017.

KRAUSS, Ulrike. Integrated management of the invasive cocoa pathogen *Moniliophthora roreri*, causal agent of frosty pod rot. 2010.

KRAUSS, U., *et al.* Improving the formulation and timing of application of endophytic biocontrol and chemical agents against frosty pod rot (*Moniliophthora roreri*) in cocoa (*Theobroma cacao*). **Biological Control**, 54(3), 230-240, 2010.

LEANDRO-MUNOZ, Mariela E. *et al.* Effects of microclimatic variables on the symptoms and signs onset of *Moniliophthora roreri*, causal agent of *Moniliophthora* pod rot in cocoa. **PLoS One**, v. 12, n. 10, p. e0184638, 2017.

NIMF, N. (1990). 5 Glossário de Termos Fitossanitários. Disponível em: https://www.ippc.int/largefiles/NIMF_05_2009_PT_FINAL_0.pdf. Acesso em: 05 fev. 2024.

PAGLIA, Adriano *et al.* Modelos de distribuição de espécies em estratégias para a conservação da biodiversidade e para adaptação baseada em ecossistemas frente a mudanças climáticas. **Natureza & Conservação**, v. 10, n. 2, p. 231-34, 2012.

PEEL, Murray C.; FINLAYSON, Brian L.; MCMAHON, Thomas A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and earth system sciences**, v. 11, n. 5, p. 1633-1644, 2007.

PHILLIPS-MORA, W. *et al.* First report of *Moniliophthora roreri* causing frosty pod rot (moniliasis disease) of cocoa in Mexico. **Plant pathology**, v. 55, n. 4, 2006.

PHILLIPS-MORA, W. *et al.* First report of frosty pod rot (moniliasis disease) caused by *Moniliophthora roreri* on cocoa in Belize. **Plant Pathology**, v. 55, n. 4, p. 584-584, 2006.

PHILLIPS-MORA, Wilbert; WILKINSON, M. Justin. Frosty pod of cocoa: a disease with a limited geographic range but unlimited potential for damage. **Phytopathology**, v. 97, n. 12, p. 1644-1647, 2007.

PHILLIPS-MORA, Wilbert; AIME, M. C.; WILKINSON, M. J. Biodiversity and biogeography of the cocoa (*Theobroma cacao*) pathogen *Moniliophthora roreri* in tropical America. **Plant pathology**, v. 56, n. 6, p. 911-922, 2007.

PHILLIPS-MORA, W. *et al.* First report of frosty pod rot caused by *Moniliophthora roreri* on cocoa in Bolivia. **New Disease Reports**, v. 31, n. 1, p. 29-29, 2015.

Phillips-Mora, W. *Moniliophthora* pod rot (frosty pod rot or moniliasis disease) In: End, M. J., Daymond, A. J., & Hadley, P. **Technical guidelines for the safe movement of cacao germplasm**. Revised from the FAO/IPGRI Technical guidelines No. 20 (Fourth Update 2021), p. 39-48.

PHILLIPS, Steven J.; ANDERSON, Robert P.; SCHAPIRE, Robert E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological modelling**, v. 190, n. 3-4, p. 231-259, 2006.

RAM, Asha. Biology, epidemiology and control of moniliasis (*Moniliophthora roreri*) of cocoa. 1989.

SOBERANIS, W. *et al.* Increased frequency of phytosanitary pod removal in cacao (*Theobroma cacao*) increases yield economically in eastern Peru. **Crop Protection**, v. 18, n. 10, p. 677-685, 1999.

TIRADO-GALLEGO, Paola Andrea; LOPERA-ÁLVAREZ, Andrea; RÍOS-OSORIO, Leonardo Alberto. Estrategias de control de *Moniliophthora roreri* y *Moniliophthora perniciosa* en *Theobroma cacao* L.: revisión sistemática. **Ciencia y Tecnología Agropecuaria**, v. 17, n. 3, p. 417-430, 2016.