

Campinas, SP / Dezembro, 2025



Mapeamento estratégico de potenciais rotas de risco da praga *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* raça 4 tropical no Brasil

Rafael Mingoti⁽¹⁾, Marcia Helena Galina Dompieri⁽¹⁾, Fernando Haddad⁽²⁾, Marcos Aurélio Santos da Silva⁽³⁾, Cristiani Kano⁽¹⁾, Paulo Augusto Vianna Barroso⁽⁴⁾, Juliana Ribeiro Alexandre⁽⁵⁾, Luiz Augusto Copati Souza⁽⁶⁾, Ricardo Hilman⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Pesquisadores, Embrapa Territorial, Campinas, SP. ⁽²⁾ Pesquisador, Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA. ⁽³⁾ Pesquisador, Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE. ⁽⁴⁾ Pesquisador, Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP. ⁽⁵⁾ Fiscais federais, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, DF. ⁽⁶⁾ Servidores, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, DF.

Resumo – Este estudo mapeia rotas potenciais de dispersão do *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* raça 4 tropical no Brasil, a partir da integração de dados logísticos, ambientais e agroprodutivos em ambiente de sistemas de informações geográficas (SIG). Foram considerados planos de informação relacionados ao risco de entrada (infraestrutura logística, mobilidade e proximidade de focos externos), risco de estabelecimento (adequação climática e presença de hospedeiros) e impacto potencial (dependência econômica da bananicultura). A modelagem espacial, baseada em pesos ponderados e análise de custo acumulado, identificou áreas de atenção de entrada — como Guarulhos, Foz do Iguaçu e Rio Branco — e rotas preferenciais de dispersão. Os resultados demonstram a convergência entre corredores logísticos e zonas produtivas que necessitam de atenção especial, especialmente Vale do Ribeira (SP), Sul de Minas (MG), Vale do São Francisco (BA/PE) e litoral norte de Santa Catarina. O modelo permite simular diferentes cenários e orientar estratégias de vigilância fitossanitária. As evidências reforçam a importância da inteligência territorial em estudos de prevenção, detecção precoce e contenção da praga.

Termos para indexação: logística agrícola, mal-do-Panamá, modelagem espacial, rota de dispersão, vigilância fitossanitária.

Strategic mapping of potential risk pathways of the pest *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* Tropical Race 4 in Brazil

Abstract – This study maps potential routes of dispersion for *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* tropical race 4 in Brazil, based on the integration of logistical, environmental, and agricultural production data within a geographic information system (GIS). Information layers related to the risk of introduction (logistical infrastructure, mobility, and proximity to external outbreak sites), establishment risk (climatic suitability and presence of hosts), and potential impact (economic dependence on banana production) were considered. The spatial modeling, based on weighted scores and cumulative cost analysis, identified priority entry areas — such as Guarulhos, Foz do Iguaçu, and Rio

Embrapa Territorial
Av. Soldado Passarinho, nº 303
Fazenda Chapadão
13070-115, Campinas, SP
www.embrapa.br/territorial
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente

Luciola Alves Magalhães

Secretária-executiva

Bibiana Teixeira de Almeida

Membros

André Luiz dos Santos Furtado,

Celina Maki Takemura, Janice

Freitas Leivas, Rafael Mingoti,

Suzilei Francisca de Almeida

Gomes Carneiro, Vera Viana

dos Santos Brandão, Jaudete

Daltio, Cristina Criscuolo, Rogério

Resende Martins Ferreira e

Daniela Tatiane de Souza

Edição executiva

Bibiana Teixeira de Almeida

Revisão de texto

Bibiana Teixeira de Almeida

Normalização bibliográfica

Vera Viana dos Santos Brandão

(CRB-8/7283)

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Suzilei Carneiro

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados à Embrapa.

Branco — and preferential dispersion routes. The results reveal the convergence between logistical corridors and productive zones requiring special attention, particularly Vale do Ribeira (SP), southern Minas Gerais (MG), the São Francisco Valley (BA/PE), and the northern coast of Santa Catarina. The model enables the simulation of different scenarios and guides phytosanitary surveillance strategies. The evidence reinforces the importance of territorial intelligence in studies focused on prevention, early detection, and containment of the pest.

Index terms: agricultural logistics, Panama disease, spatial modeling, dispersion route, phytosanitary surveillance.

Introdução

A fruticultura brasileira é um pilar da segurança alimentar e da economia rural, com forte participação da agricultura familiar e expressiva contribuição para a balança comercial. Nesse cenário, a bananicultura ocupa posição de destaque: são mais de 500 mil hectares plantados e produção superior a 6 milhões de toneladas por ano (IBGE, 2020b). Presente em todos os estados da Federação, a cultura da banana representa importante vetor de desenvolvimento socioeconômico regional (Silva et al., 2021).

Contudo, essa cadeia produtiva enfrenta uma ameaça fitossanitária sem precedentes: a murcha de *Fusarium*, causada pelo fungo *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense*. Historicamente, a raça 1 foi responsável por dizimar plantações comerciais da variedade ‘Gros Michel’ nas Américas, forçando sua substituição por clones do subgrupo ‘Cavendish’, resistentes a essa raça. No Brasil, a mesma raça também provocou declínio acentuado na produção da variedade ‘Maçã’, muito apreciada pelos consumidores, mas altamente suscetível ao patógeno. Estudos filogenéticos recentes indicam que a raça 4 tropical (TR4), raça ainda mais virulenta que afeta o subgrupo ‘Cavendish’ — responsável por cerca de 80% da produção global e 90% da brasileira —, tem origem na Indonésia, centro de diversidade da bananeira (Maryani et al., 2019). Essa raça também afeta todas as cultivares suscetíveis às raças 1 e 2 (Dita; Haddad, 2018b; Gasparotto et al., 2020a; Dutra et al., 2021).

Patógeno habitante de solo, o fungo apresenta alta letalidade e não dispõe de controle químico eficaz. Seus clamidósporos podem manter-se viáveis por mais de 20 anos na ausência de hospedeiros, o fungo pode sobreviver saprofiticamente em restos vegetais no solo e dispersar-se por múltiplas vias, incluindo solo contaminado, água, ferramentas

agrícolas, calçados, veículos e até resíduos vegetais usados na embalagem de frutos (Dita; Haddad, 2018a; Brasil, 2020; Gasparotto et al., 2020b).

A presença do fungo em países vizinhos, como Colômbia, Peru e Venezuela (Zanine et al., 2021), reforça o risco iminente de entrada no Brasil. Diante dessa ameaça, o Ministério da Agricultura e Pecuária (Mapa) classificou o fungo como praga quarentenária ausente e publicou a Instrução Normativa nº 30, de 5 de junho de 2020, instituindo o Plano Nacional de Prevenção e Vigilância com diretrizes para prevenção, contingência e erradicação, envolvendo educação fitossanitária, capacitação técnica, fiscalização em pontos de ingresso e proibição da importação de material propagativo de hospedeiros oriundos de países com ocorrência da praga (Brasil, 2020).

Apesar disso, a implementação de barreiras físicas e métodos convencionais de controle é limitada diante da complexidade de dispersão do patógeno. Experiências internacionais, como o projeto ALER4TA do Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA, 2022), demonstram que sistemas de alerta precoce e capacitação integrada podem retardar a introdução e reduzir os impactos da doença. No Brasil, a Embrapa tem papel central na pesquisa, desde o desenvolvimento de cultivares resistentes e protocolos de biossegurança até a elaboração de estratégias de monitoramento e contenção (Dita; Haddad, 2018b; Gasparotto et al., 2020b).

Nesse contexto, a aplicação de inteligência territorial associada à vigilância epidemiológica executada pelo Mapa torna-se fundamental. A presente abordagem propõe uma metodologia de modelagem espacial de rotas potenciais de dispersão do fungo, integrando dados logísticos (infraestrutura de transporte, polos de comércio agrícola), climáticos, de solo, uso da terra e agroprodutivos (zonas de cultivo intensivo de banana). Utiliza-se a técnica de menor custo de deslocamento (*least-cost path*), adaptada de estudos de conectividade ecológica (Rayfield et al., 2010; Di Leo; Ricciardi, 2020), para simular os caminhos mais prováveis de propagação entre pontos críticos de entrada (como portos e fronteiras) e áreas produtoras vulneráveis.

Material e métodos

A área de estudo abrange o território brasileiro, com recorte municipal. A malha administrativa foi obtida do IBGE (2019), complementada por informações de infraestrutura logística, dados climáticos e estatísticas agropecuárias.

As principais fontes de dados incluíram:

1. Dados logísticos e de mobilidade, como a localização de portos e aeroportos internacionais (ANTAQ; ANAC), rotas aéreas e o transporte de passageiros (ANAC, 2022), e a malha rodoviária federal e estadual (Empresa de Planejamento e Logística, 2021). Esses elementos são essenciais na modelagem da dispersão do fungo, dada a sua associação à movimentação humana e de cargas, conforme apontado por Rayfield et al. (2010) e reforçado por estudos aplicados à América Latina (Martínez-Solórzano; Rey-Brina, 2021).
2. Dados de comércio exterior, incluindo importações de materiais de possível propagação da praga, como substratos para plantio, entre outros, obtidos junto a Brasil (2021), os quais revelam os estados com maior vulnerabilidade ao ingresso da praga.
3. Cobertura e uso da terra, vegetação natural, áreas agrícolas, urbanas e antropizadas (IBGE, 2020a). Áreas com uso intensivo do solo são apontadas como mais suscetíveis ao estabelecimento do patógeno (Rodríguez-Yzquierdo et al., 2023).
4. Dados agropecuários, como a área plantada com banana e o valor da produção por município (IBGE, 2020a), fundamentais para estimar a presença de hospedeiros e os impactos econômicos da praga (Ibarra-Zapata et al., 2022).
5. Clima, com base no conjunto de 19 variáveis bioclimáticas da base WorldClim 2.1 (Fick; Hijmans, 2017), que subsidiam a modelagem de nicho ecológico do fungo, conforme a metodologia do algoritmo genético *Genetic Algorithm for Rule-Set Production* (GARP) utilizada por Di Leo e Ricciardi (2020).
6. Fronteiras nacionais e áreas de ingresso informal, conforme dados do Database of Global Administrative Areas (2021) e da Embrapa Territorial (Holler et al., 2015), importantes para mapear possíveis rotas de entrada terrestre não controladas, especialmente em regiões amazônicas (IICA, 2022).

A construção dos planos de informação contemplou, de forma integrada, três dimensões fundamentais: risco de entrada, risco de estabelecimento e impacto potencial da praga.

Os critérios espaciais adotados para a classificação de risco de cada fator foram estabelecidos por consenso entre a equipe de especialistas do projeto, considerando:

1. Definição de áreas de influência baseadas em raios específicos para diferentes infraestruturas (150 km para portos, aeroportos e faixa de fronteira; 10 km para áreas urbanas).
2. Classificação temporal das ocorrências, priorizando registros mais recentes (pós-2016: risco 10; 2011-2015: risco 6; 1997-2010: risco 3).
3. Intensidade de fluxos de transporte, utilizando classificação por quartis (Q4-alta, Q3-média, Q2-baixa, Q1-muito baixa).
4. Gradientes de distância geográfica (faixas de até 500 km, 500-1.000 km, 1.000-2.000 km e >2.000 km para proximidade a países com a praga).

A escolha por áreas de influência discretas, em detrimento de gradientes contínuos de distância, fundamentou-se na necessidade de estabelecer zonas operacionais para vigilância fitossanitária, facilitando a implementação prática de ações preventivas. Esse critério considera que: (1) o transporte secundário (rodoviário) redistribui o risco dentro da área de influência; (2) há necessidade de delimitar zonas prioritárias para instalação de barreiras sanitárias e postos de fiscalização; e (3) a abordagem apresenta maior aderência à realidade logística regional brasileira.

Risco de entrada

Para o risco de entrada, foram elaborados oito planos de informação vetoriais e matriciais, posteriormente convertidos para uma escala de 0 a 10. Os fatores considerados incluíram: proximidade a portos e aeroportos internacionais com registro de importação de possíveis fontes de propagação da praga de países onde o fungo está presente; densidade de tráfego aéreo e rodoviário; origem e volume do trânsito de cargas; distância a centros urbanos; proximidade a fronteiras terrestres vulneráveis; tipos de uso e cobertura da terra; proximidade a países vizinhos com ocorrência do fungo e fluxo do comércio agrícola.

Espacialização do risco associado a portos e aeroportos

Para a espacialização do risco associado a portos e aeroportos, foi definida área de influência com raio de 150 km a partir de cada ponto de entrada, estabelecida por consenso entre especialistas considerando: (1) o alcance típico de distribuição regional de cargas importadas; (2) a mobilidade de veículos e equipamentos agrícolas utilizados na região; (3) a área de atuação de empresas de logística e comércio agrícola; e (4) estudos sobre dispersão de pragas quarentenárias em

contextos similares. Nos casos de sobreposição de áreas de influência de múltiplos portos ou aeroportos, foi atribuído o valor de maior risco ao pixel correspondente. Às áreas localizadas além do raio de influência foi atribuído risco zero, considerando que a probabilidade de dispersão direta da praga diminui significativamente com o aumento da distância, e o risco nessas regiões é melhor representado por outros vetores (rodovias, áreas urbanas, municípios com importação) já incorporados no modelo integrado.

Espacialização do risco por importação municipal

Para municípios com registro de importação de produtos com potencial de disseminação da praga, o risco foi espacializado considerando os limites municipais completos. A atribuição de risco zero a municípios sem registro histórico de importação considera que a ausência de registro oficial reduz significativamente a probabilidade de entrada direta da praga por essa via específica. O risco em municípios adjacentes é capturado por outros componentes do modelo, como proximidade a rodovias de alto tráfego, áreas urbanas e fluxos regionais de comércio agrícola, assegurando que áreas vulneráveis próximas a municípios importadores sejam adequadamente consideradas na análise integrada.

Espacialização do risco de transporte aéreo

O risco associado ao transporte aéreo de passageiros e cargas foi espacializado considerando área de influência de 150 km a partir de cada aeroporto com registro de movimentação proveniente de países com a praga. Esse raio considera: (1) a área de dispersão típica de passageiros que chegam via aérea; (2) o alcance das conexões terrestres subsequentes para distribuição de mercadorias; (3) a zona de captação de serviços aeroportuários; e (4) o reconhecimento de que o transporte secundário redistribui o risco dentro dessa área. Em casos de sobreposição de áreas de influência de múltiplos aeroportos, foi mantido o valor de maior risco.

Espacialização do risco de trânsito de pessoas e cargas

O risco associado ao trânsito rodoviário e hidroviário foi atribuído diretamente aos eixos de transporte, refletindo que a praga dispersa-se prioritariamente pelo movimento de veículos, equipamentos, calçados e pessoas ao longo das vias. Para o transporte rodoviário, foram consideradas

apenas cargas containerizadas, pois: (1) os dados disponíveis (Empresa de Planejamento e Logística, 2021) apresentavam maior detalhamento e confiabilidade para esse modal; (2) contêineres são frequentemente utilizados no transporte de insumos agrícolas, equipamentos e materiais com maior potencial de carrear solo ou substrato contaminado; (3) representam fluxos de maior volume e regularidade nas rotas nacionais. Cargas não containerizadas não foram desconsideradas por ausência de risco, mas por limitação de dados estruturados disponíveis.

A classificação foi baseada em quartis de intensidade de tráfego (alta-Q4: risco 10; média-Q3: risco 7; baixa-Q2: risco 4; muito baixa-Q1: risco 1), permitindo identificar corredores críticos. Às áreas distantes das vias foi atribuído risco zero, considerando que a contaminação de áreas não adjacentes ocorreria preferencialmente por outros vetores já incorporados no modelo (áreas urbanas, presença de hospedeiros, movimentação local). Para hidrovias, foram mapeados apenas os trechos com dados disponíveis de fluxo de passageiros (Empresa de Planejamento e Logística, 2021), concentrados na região amazônica onde esse modal apresenta relevância significativa para a mobilidade regional.

Espacialização do risco associado a áreas urbanas

A espacialização do risco relacionado a áreas urbanas foi feita considerando área de influência de 10 km a partir do limite externo de cada área urbana mapeada (Farias et al., 2017), refletindo a zona de intensa interação rural-urbana onde ocorre circulação diária de pessoas, veículos agrícolas, ferramentas e insumos. A classificação do risco variou conforme a unidade da Federação, priorizando estados com maior proximidade a países com ocorrência da praga: Norte (Acre, Amazonas, Roraima): risco 10; Norte/Centro-Oeste (Rondônia, Mato Grosso, Pará, Amapá): risco 7; Centro-Oeste/Nordeste: risco 5; Sudeste: risco 3; Sul: risco 1.

Esse critério considera que centros urbanos funcionam como pontos de convergência e redistribuição regional de pessoas, mercadorias e equipamentos, independentemente de conectividade internacional direta. A aparente contradição de menores valores nas regiões Sul e Sudeste, apesar da maior urbanização, decorre da priorização da proximidade geográfica às fontes externas da praga, e o risco associado à intensidade de mobilidade e comércio nessas regiões é capturado por outros

componentes do modelo (portos, aeroportos, rodovias de alto tráfego).

Espacialização do risco na faixa de fronteira

A espacialização do risco de ingresso pela fronteira foi feita mediante definição de faixa de 150 km a partir da linha de fronteira internacional, classificada segundo características do trecho: fronteira seca sem floresta (risco 10), fronteira seca com floresta (risco 7), fronteira úmida sem floresta (risco 4) e fronteira úmida com floresta (risco 1). Esse critério considera que: (1) fronteiras secas facilitam o trânsito de pessoas, veículos e animais; (2) a presença de florestas representa barreira natural à dispersão; (3) cursos d'água dificultam o trânsito terrestre não controlado. A faixa de 150 km reflete a área prioritária para vigilância em zonas de fronteira, conforme práticas internacionais de defesa fitossanitária.

Espacialização do risco por cobertura da terra

O risco associado à cobertura da terra foi espacializado considerando os polígonos de mapeamento (IBGE, 2020a), com classificação: área antrópica dominante (risco 10), área antrópica dominante em tensão ecológica (risco 7), vegetação natural dominante em tensão ecológica (risco 4) e vegetação natural dominante ou massa d'água (risco 1). Áreas com uso intensivo do solo apresentam maior risco de estabelecimento do patógeno devido à movimentação de solo, máquinas e insumos agrícolas (Rodríguez-Yzquierdo et al., 2023). A ponderação iniciando em 1 (não zero) reflete que todo o território nacional apresenta algum nível de risco potencial associado ao tipo de cobertura.

Espacialização do risco por proximidade a países com a praga

O risco associado à proximidade de países sul-americanos com ocorrência confirmada da praga (Colômbia, Peru e Venezuela) foi espacializado mediante faixas de distância: até 500 km (risco 10), 500-1.000 km (risco 7), 1.000-2.000 km (risco 4) e superior a 2.000 km (risco 1). Esse foi o único critério que adotou gradientes contínuos de distância com valores discretos, permitindo capturar a influência da proximidade geográfica às fontes conhecidas da praga. A ponderação iniciando em 1 (não zero) reconhece que todo o território nacional apresenta algum nível de risco, embora decrescente com a distância.

Integração dos planos de risco de entrada

A ponderação desses fatores (Tabela 1) resultou no plano de risco de entrada, e baseou-se em juízo de especialistas, com ênfase em variáveis de logística e mobilidade (Martínez-Solórzano; Rey-Brina, 2021; Rodríguez-Yzquierdo et al., 2023). Os locais de possível ingresso foram definidos como áreas com valores de risco de entrada superiores a 5,5, representam o quartil superior da distribuição espacial e identificam pontos críticos como Guarulhos, Campinas, Santos, Foz do Iguaçu, Rio Branco, Epitaciolândia, Brasília, Manaus, Boa Vista e Pacaraima.

Risco de estabelecimento

O risco de estabelecimento foi representado por dois planos: um climático, com base na modelagem de nicho ecológico do fungo (GARP), utilizando registros confirmados da praga obtidos por revisão de literatura técnico-científica e consulta a bancos de dados internacionais de registros fitossanitários (CABI, EPPO, publicações indexadas) na Colômbia, no Peru e na Venezuela (Dutra et al., 2021; Zanine et al., 2021); e outro referente à presença de hospedeiros, mensurada a partir da razão percentual entre a área cultivada com banana e a área total cultivada com culturas perenes e temporárias por município (IBGE, 2020a). Essa métrica expressa a importância relativa da bananicultura no sistema agrícola municipal. Ambos os planos receberam pesos equivalentes a 50%.

A modelagem climática utilizou o algoritmo GARP (*Genetic Algorithm for Rule-Set Production*) com dados do WorldClim 2.1, e gerou um índice de adequação climática posteriormente classificado em: risco 10 (GARP $\geq 50\%$), risco 5 (GARP $\geq 30\%$ e $< 50\%$), risco 3 (GARP $\geq 15\%$ e $< 30\%$) e risco 1 (GARP $< 15\%$). Os locais com alto potencial de estabelecimento foram definidos pela integração ponderada com valores superiores a 7,0, indicando condições altamente favoráveis à persistência do patógeno.

Impacto potencial

O impacto potencial foi estimado a partir da razão percentual entre o valor da produção de banana e o valor total das culturas perenes e temporárias por município (IBGE, 2020a). Tal indicador expressa a dependência econômica relativa da bananicultura na renda agrícola local (Ibarra-Zapata et al., 2022). A classificação seguiu o método de quartis: alta (Q4: risco 10), média (Q3: risco 7), baixa (Q2: risco 4) e muito baixa (Q1: risco 1).

Tabela 1. Pesos aplicados aos planos de informação intermediários para obter plano de informação de risco de entrada.

Planos de informação intermediários	Peso
Portos com importação de plantas	0,075
Municípios com importação de plantas	0,075
Transporte aéreo de pessoas e cargas	0,15
Trânsito de pessoas e cargas	0,15
Proximidade a áreas urbanas	0,15
Ingresso por dispersão ativa pela fronteira	0,10
Cobertura da terra predominante	0,10
Proximidade a regiões com registro da praga no Brasil e no exterior	0,20
Total	1

Risco final e modelagem de rotas

Com os três planos normalizados na escala de 0 a 10, construiu-se um índice final de risco com pesos de 65% para risco de entrada, 5% para risco de estabelecimento e 30% para impacto potencial, priorizando a perspectiva da introdução logística. Esse índice foi utilizado para gerar um *raster* de "facilidade à dispersão" (função de custo reversa), onde valores mais baixos de risco final indicam maior favorabilidade ao trânsito da praga. A aplicação das ferramentas "Cost Distance" e "Cost Path as Polyline" (ArcGIS) permitiu o traçado de rotas de menor custo entre pontos com risco de entrada elevado (> 5,5) e quatro regiões produtivas vulneráveis selecionadas pela equipe de especialistas: Vale do Ribeira (SP), Luiz Alves (SC), Bom Jesus da Lapa (BA) e Janaúba (MG), conforme metodologia adaptada de Rayfield et al. (2010) e aplicada na América Latina por Ibarra-Zapata et al. (2022).

Todos os mapas foram gerados em formato *raster* com resolução espacial de 1.000 m, utilizando sistema de referência SIRGAS 2000 e projeção cônica equivalente de Albers (IBGE, 2019). A escala de ponderação apresentada nas legendas refere-se a valores contínuos de risco (0 a 10), não a classes discretas, permitindo maior sensibilidade na identificação de gradientes espaciais de vulnerabilidade.

Para o risco de entrada, foram elaborados oito planos de informação vetoriais e matriciais, posteriormente convertidos para uma escala de 0 a 10. Os fatores considerados incluíram: proximidade a portos e aeroportos internacionais com registro de importação de possíveis fontes de propagação da praga de países onde fungo está presente; densidade de tráfego aéreo e rodoviário; origem e volume do trânsito de cargas; distância a centros urbanos com conectividade internacional;

proximidade a fronteiras terrestres vulneráveis; tipos de uso e cobertura da terra; proximidade a países vizinhos com ocorrência de fungo (como Colômbia, Peru e Venezuela); e fluxo do comércio agrícola. A ponderação dos planos baseou-se em juízo de especialistas, com ênfase em variáveis de logística e mobilidade (Martínez-Solórzano; Rey-Brina, 2021; Rodríguez-Yzquierdo et al., 2023).

O risco de estabelecimento foi representado por dois planos: um climático, com base na modelagem de nicho ecológico do fungo (GARP), utilizando registros confirmados da praga na América do Sul (Dutra et al., 2021; Zanine et al., 2021); e outro referente à presença de hospedeiros, mensurada a partir da razão entre a área cultivada com banana e a área total cultivada das culturas perenes e temporárias por município. Ambos receberam pesos equivalentes a 50%.

O impacto potencial foi estimado a partir da área plantada e valor da produção de banana, considerando o valor total das culturas perenes e temporárias por município. Tal indicador expressa a dependência econômica relativa da bananicultura na renda agrícola local (Ibarra-Zapata et al., 2022).

Com os três planos normalizados, construiu-se um índice final de risco com pesos de 65% para risco de entrada, 5% para risco de estabelecimento e 30% para impacto potencial, priorizando a perspectiva da introdução logística. Esse índice foi utilizado para gerar um *raster* de "custo", onde valores mais baixos indicam maior favorabilidade à dispersão. A aplicação das ferramentas "Cost Distance" e "Cost Path as Polyline" (ArcGIS) permitiu o traçado de rotas de menor custo entre pontos com risco de entrada elevado (> 5,5) e regiões produtivas vulneráveis, conforme metodologia adaptada de Rayfield et al. (2010) e aplicada na América Latina por Ibarra-Zapata et al. (2022).

Resultados e discussão

Risco de entrada

O risco de entrada do *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* raça 4 tropical (fungo) foi mapeado a partir de múltiplos planos de informação intermediários, elaborados com base em dados secundários e validação por especialistas. Esses planos, posteriormente integrados por média ponderada, consideraram: importação por portos e aeroportos (Figura 1), importação por municípios (Figura 2), transporte aéreo de pessoas e cargas (Figura 3), trânsito terrestre e hidroviário de cargas e passageiros (Figuras 4, 5 e 6), proximidade a áreas urbanas (Figura 7), tipologia da fronteira (Figura 8), cobertura da terra (Figura 9) e distância a países com ocorrência da praga (Figura 10). Cada fator recebeu uma classificação de risco, houve geração de mapas em formato *raster*, projeção cônica equivalente de Albers e datum SIRGAS 2000 (IBGE, 2019).

A ponderação desses fatores resultou no plano de risco de entrada (Figura 11), que destaca áreas críticas como Guarulhos, Campinas, Santos, Foz do Iguaçu, Rio Branco, Epitaciolândia, Brasília, Manaus, Boa Vista e Pacaraima. Esses locais apresentam

forte conectividade internacional, presença de infraestrutura logística (portos, aeroportos e rodovias federais), elevada mobilidade humana e proximidade de países com ocorrência confirmada da praga (Dutra et al., 2021; IICA, 2022; Martínez-Solórzano; Rey-Brina, 2021). A análise geoespacial de Ibarra-Zapata et al. (2022) confirma esses pontos como eixos logísticos estratégicos para ações de vigilância fitossanitária.

Usando os planos de informação intermediários correspondentes ao risco de entrada, foi calculado um novo plano de informação (Figura 11) a partir da média ponderada, considerando os pesos apresentados na Tabela 1. A definição dos pesos para cada plano de informação intermediário ocorreu por consenso entre a equipe de especialistas do projeto.

Risco de estabelecimento

O risco de estabelecimento de *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* raça 4 tropical (Foc R4T) no território brasileiro foi avaliado com base na integração de duas variáveis fundamentais: a adequação climática e a presença de hospedeiros. A análise combinada desses fatores permitiu identificar as áreas com maior probabilidade de persistência e proliferação do patógeno, caso este seja introduzido.

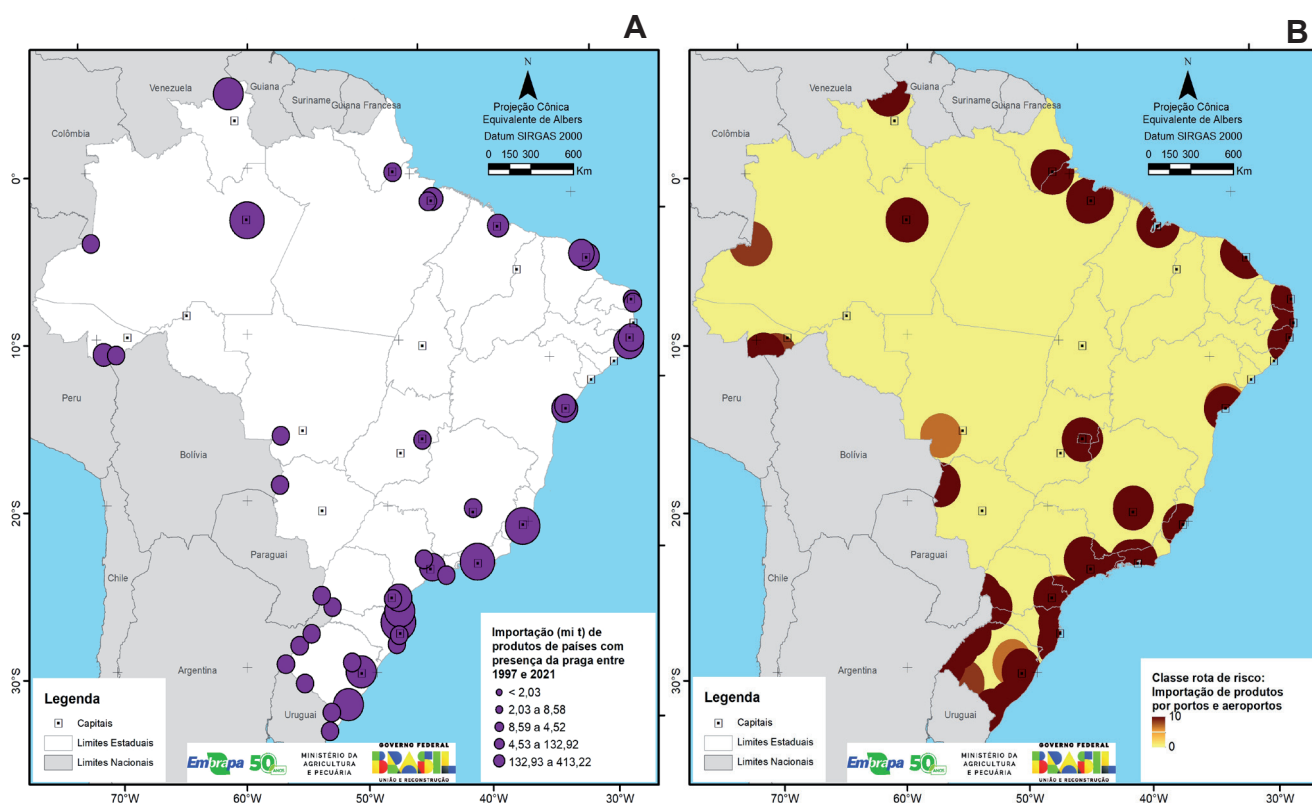


Figura 1. A – Volume importado (milhões de toneladas) por portos e aeroportos de produtos com potencial de disseminação da praga de países onde o fungo está presente. B – Ponderação e espacialização do risco associado à importação nesses locais.

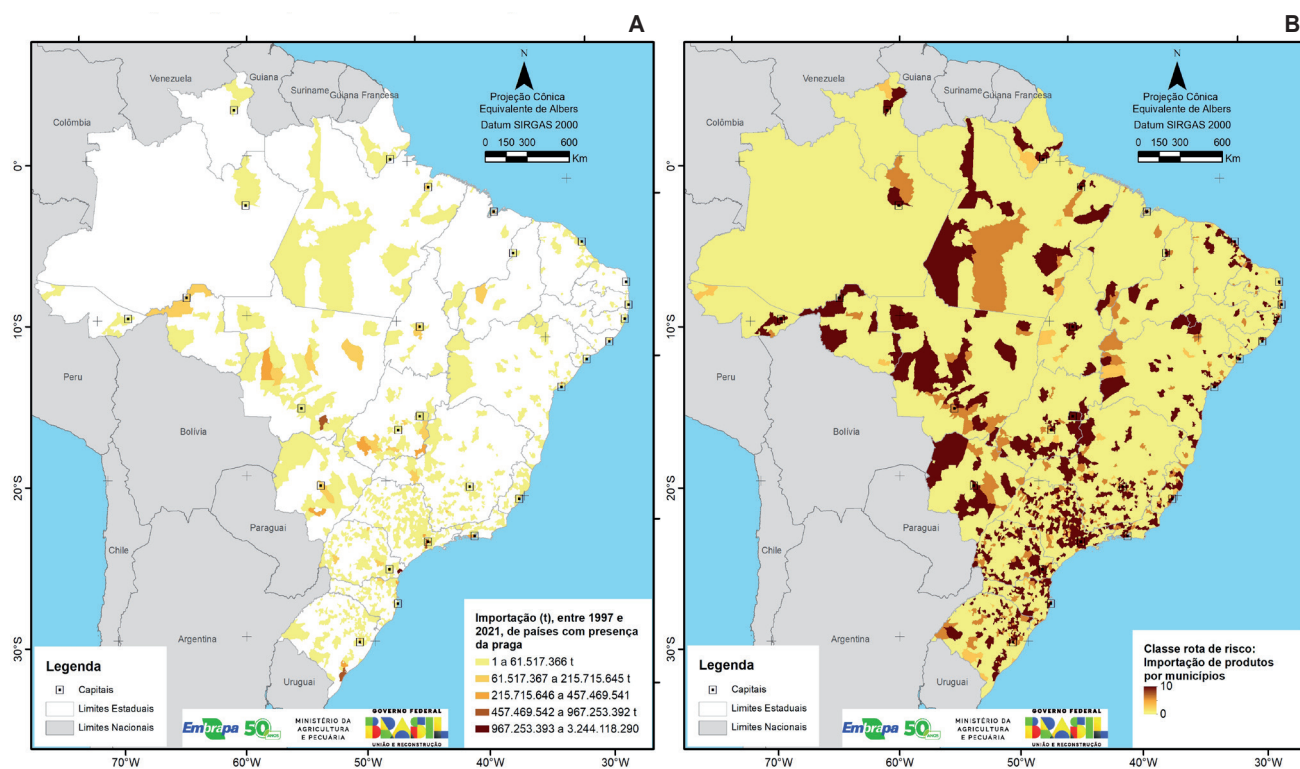


Figura 2. A – Volume importado por municípios (milhões de toneladas) de produtos com risco de disseminação da praga de países onde o fungo está presente. B – Ponderação e espacialização associadas à importação municipal desses produtos.

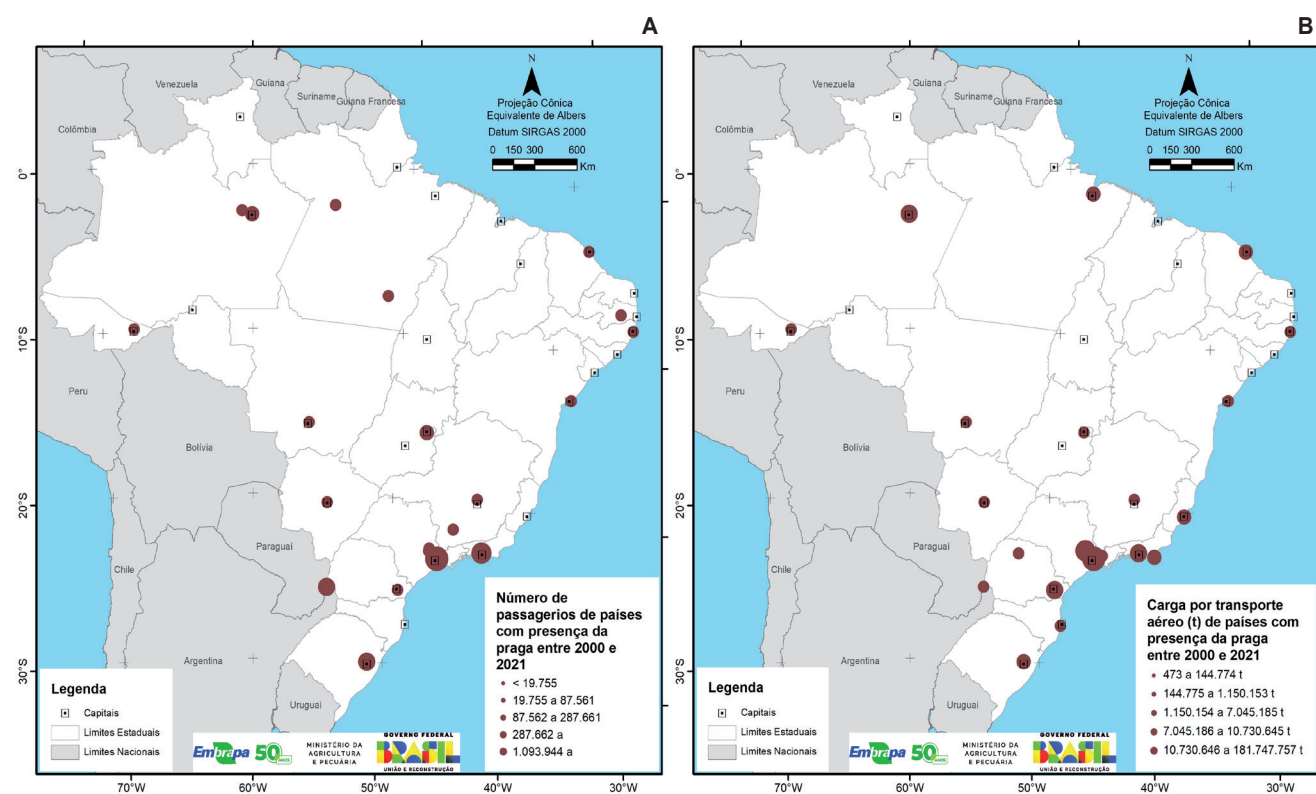


Figura 3. A – Passageiros aéreos desembarcados em aeroportos brasileiros (2000–2021) provenientes de países com a praga. B – Carga aérea importada para aeroportos brasileiros no mesmo período, oriunda dos mesmos países.

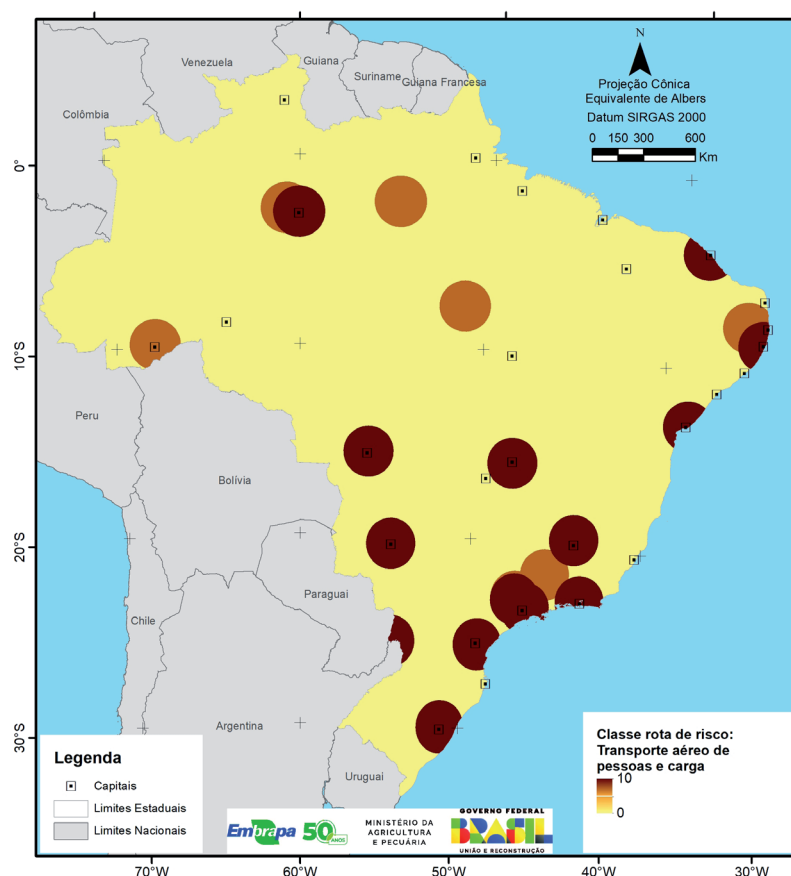


Figura 4. Ponderação e espacialização associadas ao transporte aéreo de passageiros e cargas oriundos de países com ocorrência da praga *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* raça 4 tropical.

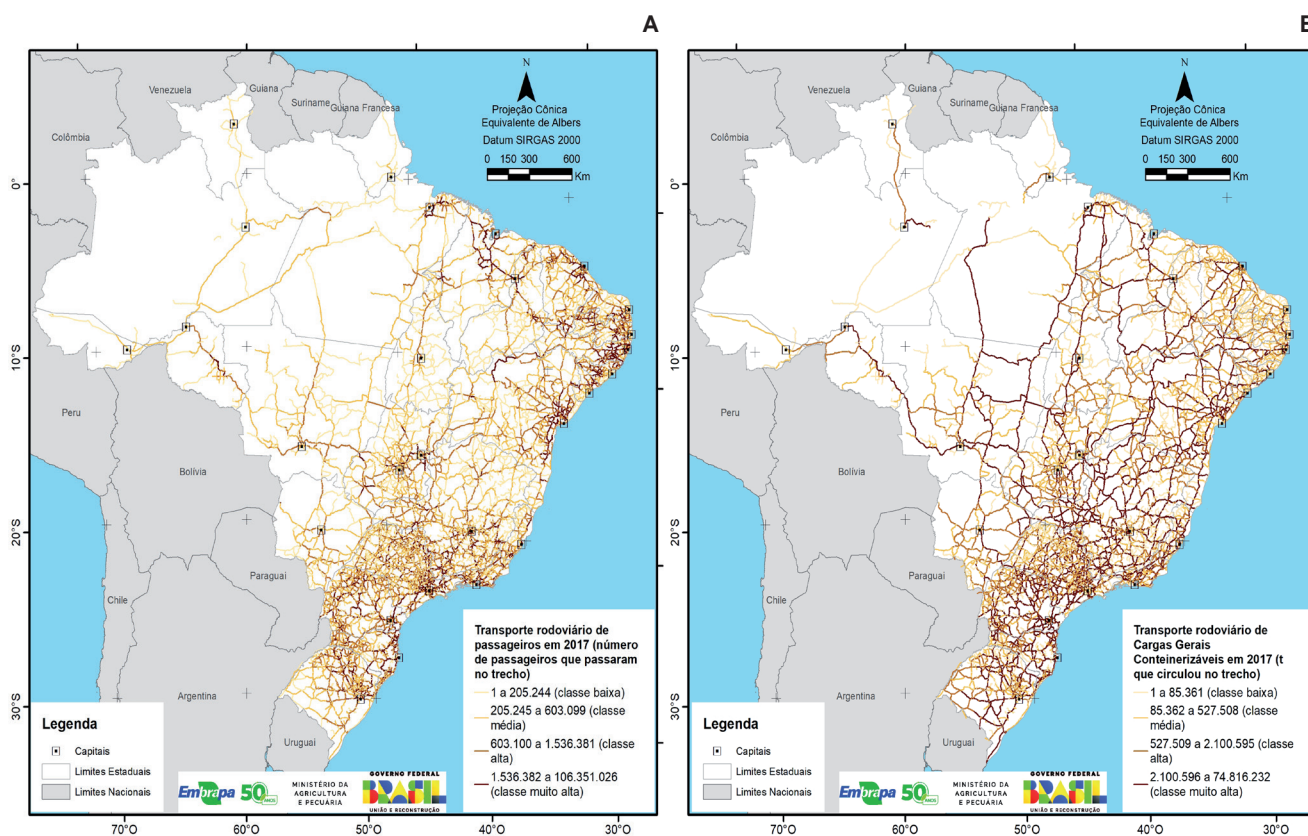
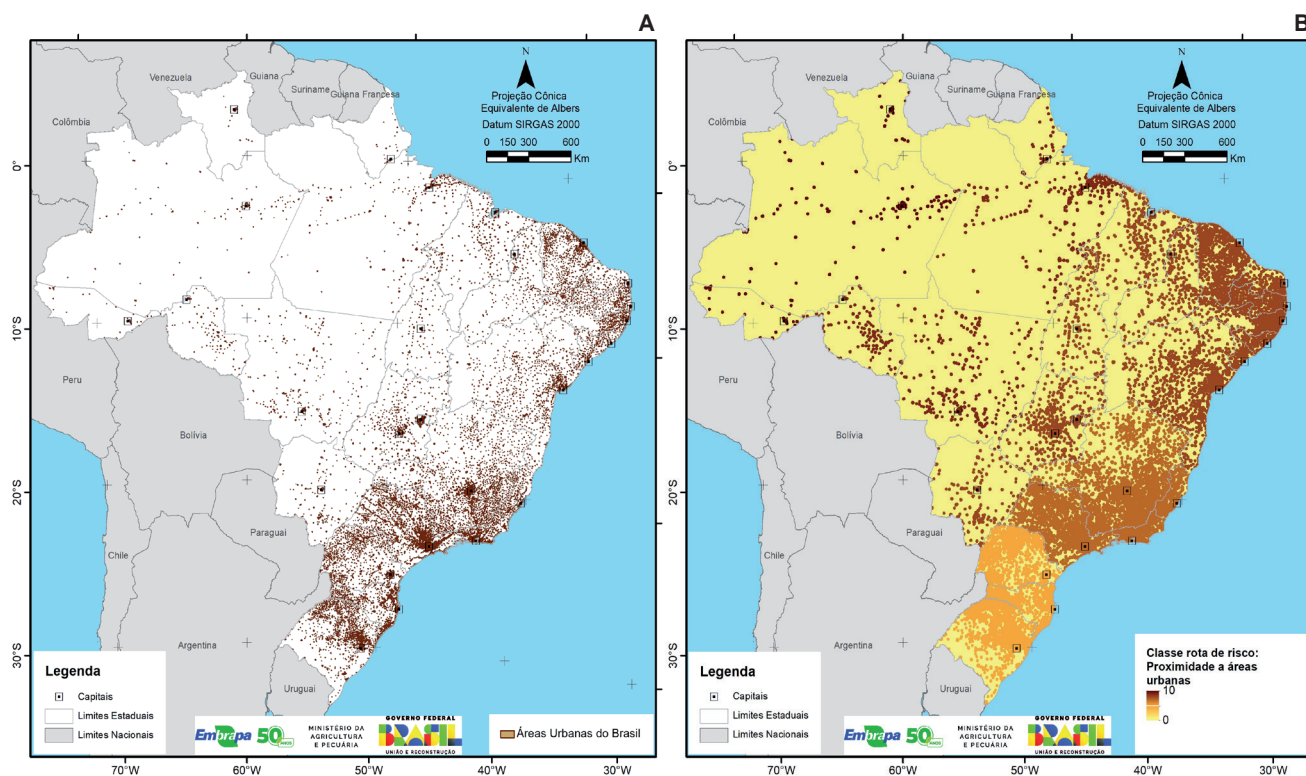
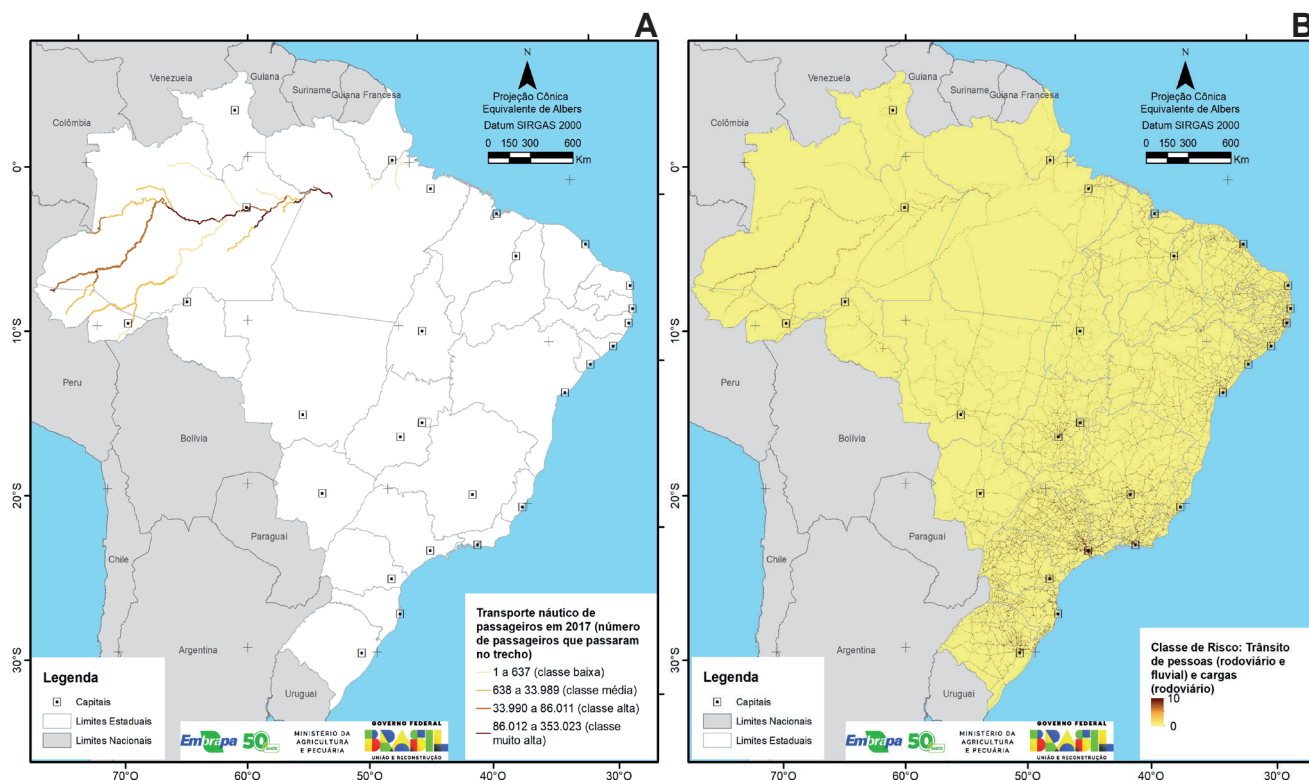


Figura 5. A – Classificação das rodovias brasileiras conforme a intensidade do transporte rodoviário: A – Passageiros; B – Cargas containerizadas.



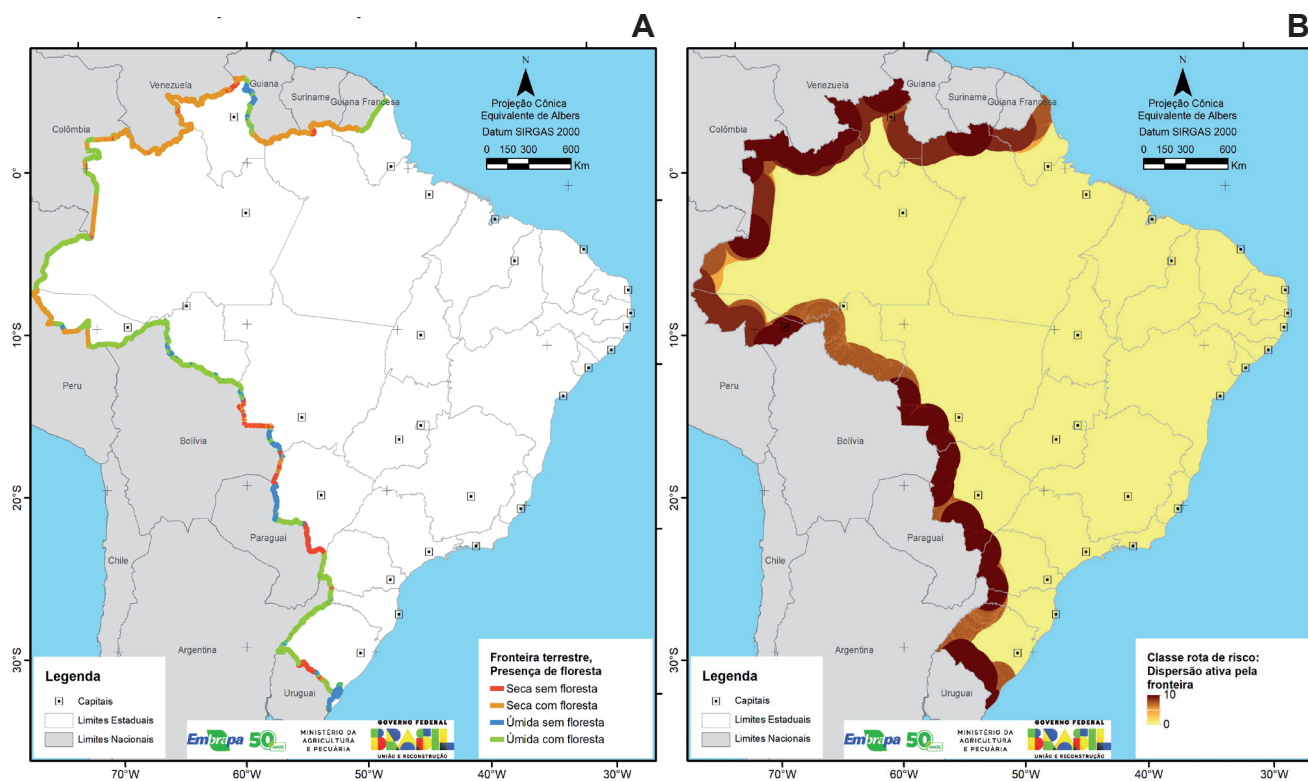


Figura 8. A – Classificação das fronteiras terrestres do Brasil segundo o tipo de fronteira (seca/úmida) e com ou sem a presença de floresta. B – Ponderação e espacialização de ingresso por dispersão ativa na fronteira.

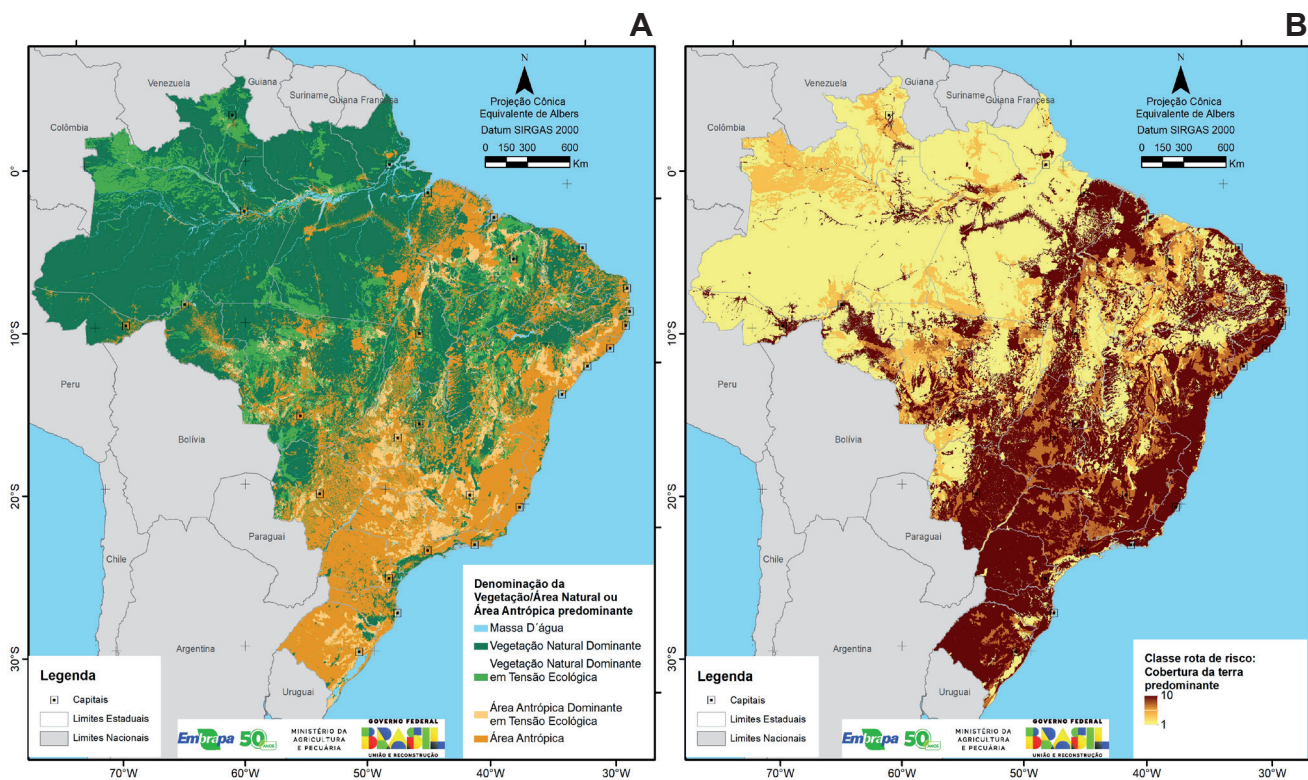


Figura 9. A – Coberturas da terra predominantes no Brasil. B – Ponderação e espacialização segundo a cobertura da terra.

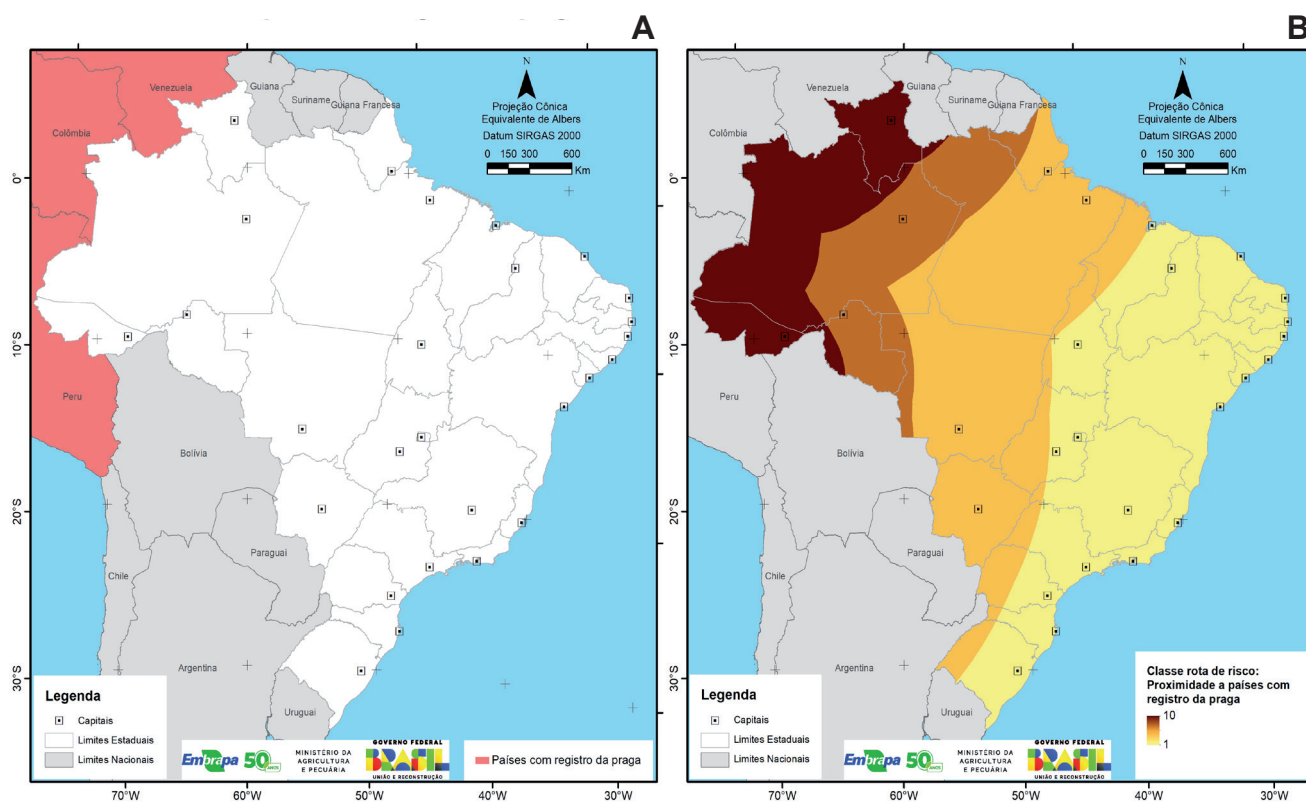


Figura 10. A – Países da América do Sul com presença da praga. B – Ponderação e espacialização da proximidade desses países.

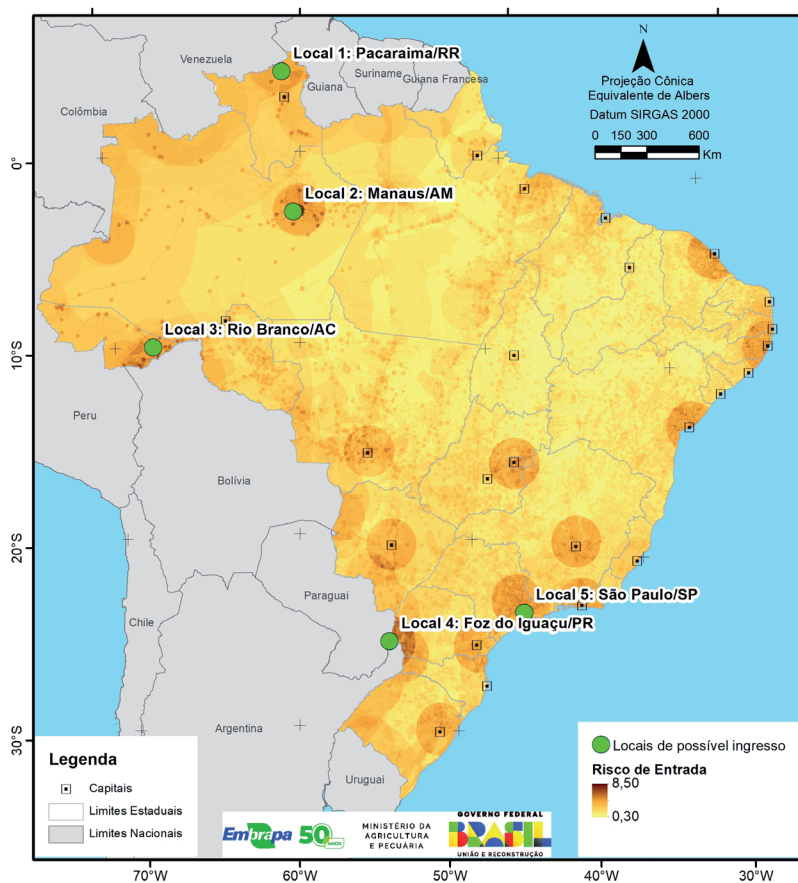


Figura 11. Locais de possível ingresso da praga no Brasil.

A adequação climática foi determinada por meio de modelagem de nicho ecológico, utilizando o algoritmo GARP (*Genetic Algorithm for Rule-set Production*) implementado na plataforma OpenModeller. Para isso, foram utilizados registros confirmados da ocorrência da praga, obtidos a partir de bancos de dados internacionais de pragas e de revisão da literatura técnico-científica especializada (Figura 12). Esses dados de ocorrência foram associados a variáveis bioclimáticas da base WorldClim 2.1, como temperatura média, precipitação e sazonalidade, para projetar a favorabilidade ambiental para o desenvolvimento do fungo em escala global (Figura 13) e, posteriormente, recortar os resultados para o território nacional (Figuras 14A e 14B). O índice de adequação resultante foi classificado em uma escala de risco, na qual valores de GARP $\geq 50\%$ receberam risco máximo (10), refletindo condições ambientais altamente propícias ao estabelecimento do Foc R4T.

Paralelamente, a presença de hospedeiros foi espacializada com base em dados municipais de área plantada e valor de produção de banana, obtidos do Sistema IBGE de Recuperação Automática (Sidra) para o ano de 2020. Para capturar a relevância relativa da cultura no contexto agrícola local, calculou-se a proporção entre a área cultivada com banana e a área total destinada a

culturas temporárias e perenes em cada município. Essa métrica foi então classificada em quartis, atribuindo-se os maiores valores de risco (10 e 7) às classes alta e média de densidade de hospedeiros, respectivamente (Figuras 15A e 15B).

Impacto potencial

O impacto potencial da introdução do *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* raça 4 tropical (Foc R4T) no Brasil foi avaliado com base na dependência econômica regional da bananicultura. Utilizou-se como indicador a proporção percentual entre o valor da produção de banana e o valor total da produção de culturas temporárias e perenes por município (IBGE, 2020a), conforme ilustrado na Figura 16A. Essa métrica permite identificar municípios nos quais a bananicultura representa uma parcela significativa da renda agrícola local, refletindo a vulnerabilidade socioeconômica em caso de introdução e estabelecimento da praga.

A classificação do impacto potencial, apresentada na Figura 16A e 16B, seguiu o método de quartis, com atribuição dos seguintes valores de risco: classe alta (Q4: risco 10), classe média (Q3: risco 7), classe baixa (Q2: risco 4) e classe muito baixa (Q1: risco 1). Municípios sem registro de produção de banana em 2020 receberam risco zero.

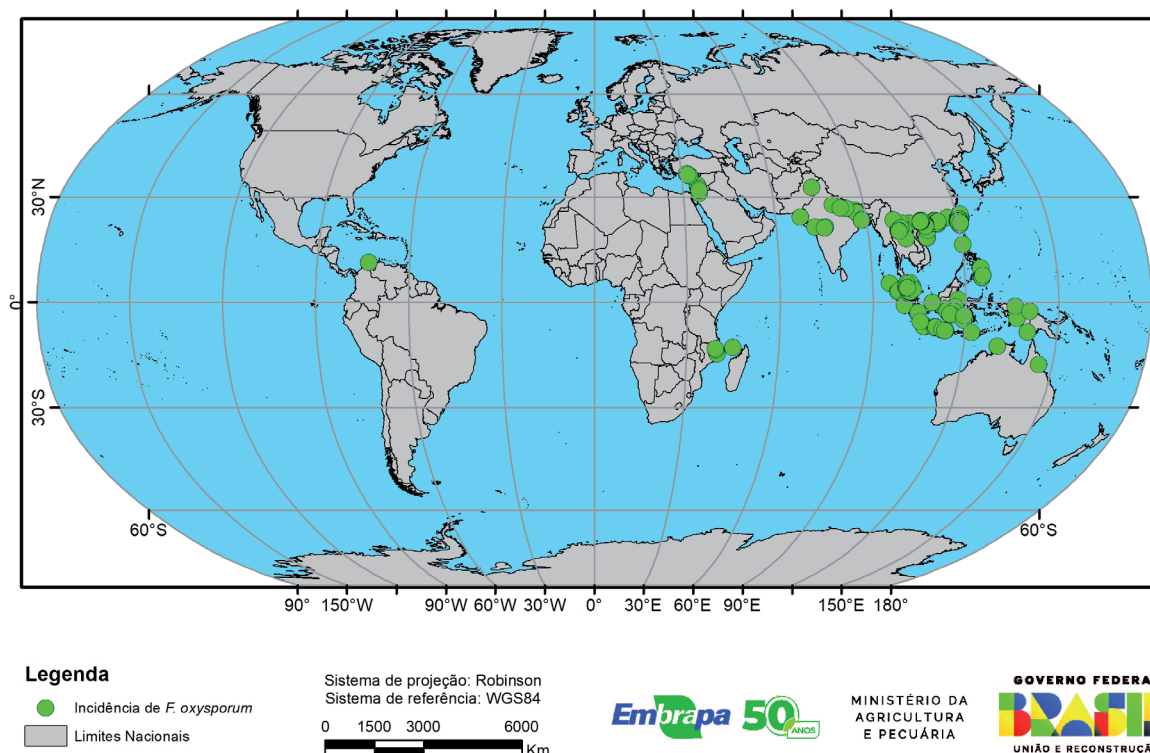


Figura 12. Pontos com presença de *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* raça 4 tropical, conforme literatura técnico-científica.

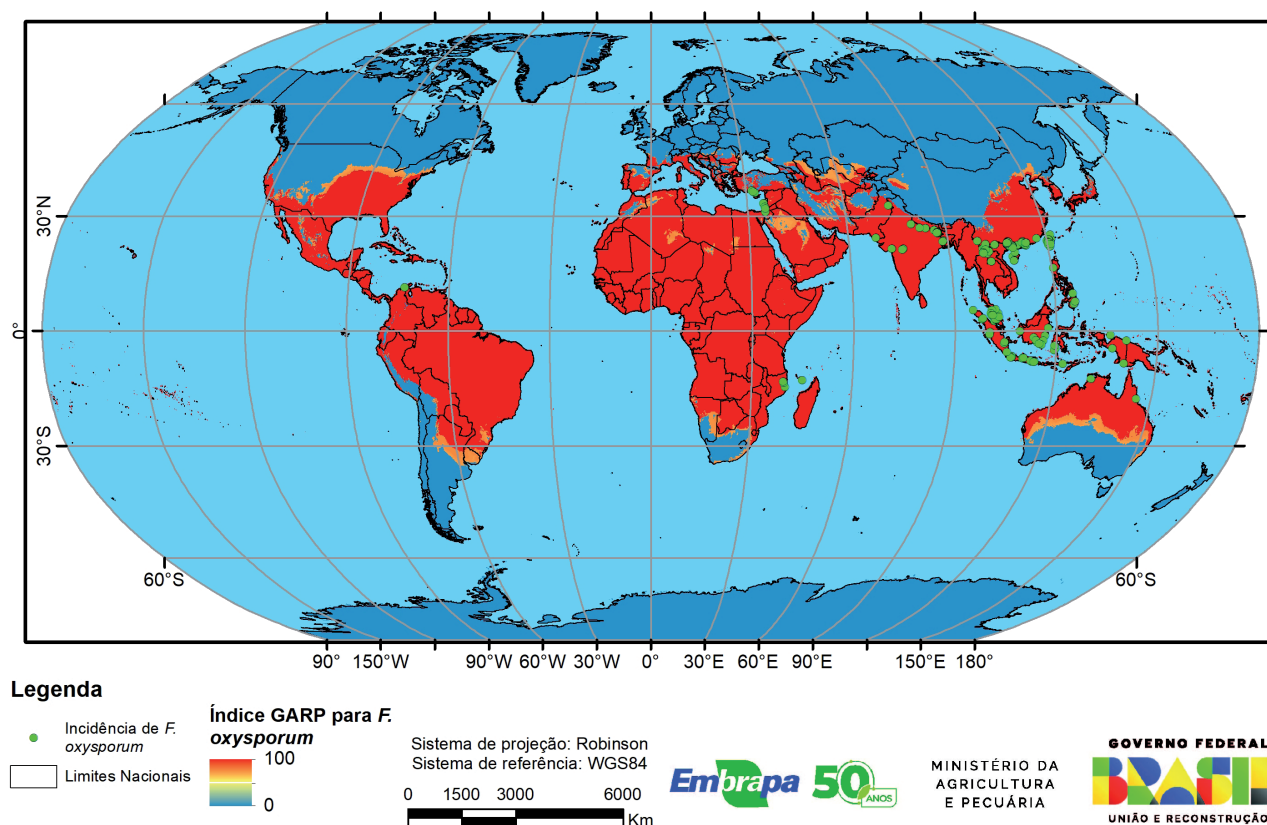


Figura 13. Zoneamento global das áreas favoráveis a *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* raça 4 tropical, elaborado por modelagem de nicho ecológico utilizando o algoritmo GARP/OpenModeller.

Os resultados evidenciam que as regiões com maior impacto potencial coincidem com os principais polos produtivos de banana no País, notadamente o Vale do Ribeira, SP, o Sul de Minas Gerais, o Vale do São Francisco, BA/PE, e o litoral norte de Santa Catarina. Nessas áreas, a bananicultura constitui uma atividade econômica central e sustenta cadeias produtivas locais e regionais, empregando trabalhadores rurais (Ibarra-Zapata et al., 2022).

A sobreposição entre alto impacto potencial, adequação climática e presença de hospedeiros (Figura 17) reforça a criticidade dessas regiões. A introdução do Foc R4T nessas áreas resultaria em perdas produtivas severas, com reflexos diretos na economia local e na segurança alimentar, agravados pela ausência de medidas curativas eficazes e pela longa persistência do patógeno no solo (Dutra et al., 2021). Dessa forma, o impacto potencial serve como indicador crucial para priorizar ações de vigilância, monitoramento e resposta rápida, orientando a alocação de recursos e a implementação de políticas públicas voltadas à proteção dos territórios mais vulneráveis.

Os fatores descritos foram ponderados, e resultaram em um mapa integrado de risco de

estabelecimento (Figura 17). Os resultados indicaram que as regiões Sudeste e Nordeste, especialmente no Vale do Ribeira, SP, Sul de Minas Gerais, perímetro irrigado do Vale do São Francisco, BA/PE, e litoral norte de Santa Catarina apresentaram condições propícias para o estabelecimento do fungo.

Essas regiões, além da presença de hospedeiros, apresentam condições edafoclimáticas favoráveis à persistência do fungo, conforme evidenciado por Rodríguez-Yzquierdo et al. (2023) além de temperatura com fase de crescimento ótima entre 23 e 27 °C (Pérez-Vicente et al., 2004).

O cruzamento entre as áreas com clima adequado para o estabelecimento do patógeno e a distribuição dos cultivos hospedeiros (bananas) confirmou uma forte sobreposição entre condições ambientais favoráveis e a presença de hospedeiros, reforçando a vulnerabilidade dos principais polos produtivos nacionais (Ibarra-Zapata et al., 2022). Segundo Dutra et al. (2021), essas áreas seriam particularmente impactadas pela introdução da praga, dada a ausência de métodos eficazes de erradicação e a longevidade dos clamidósporos no solo.

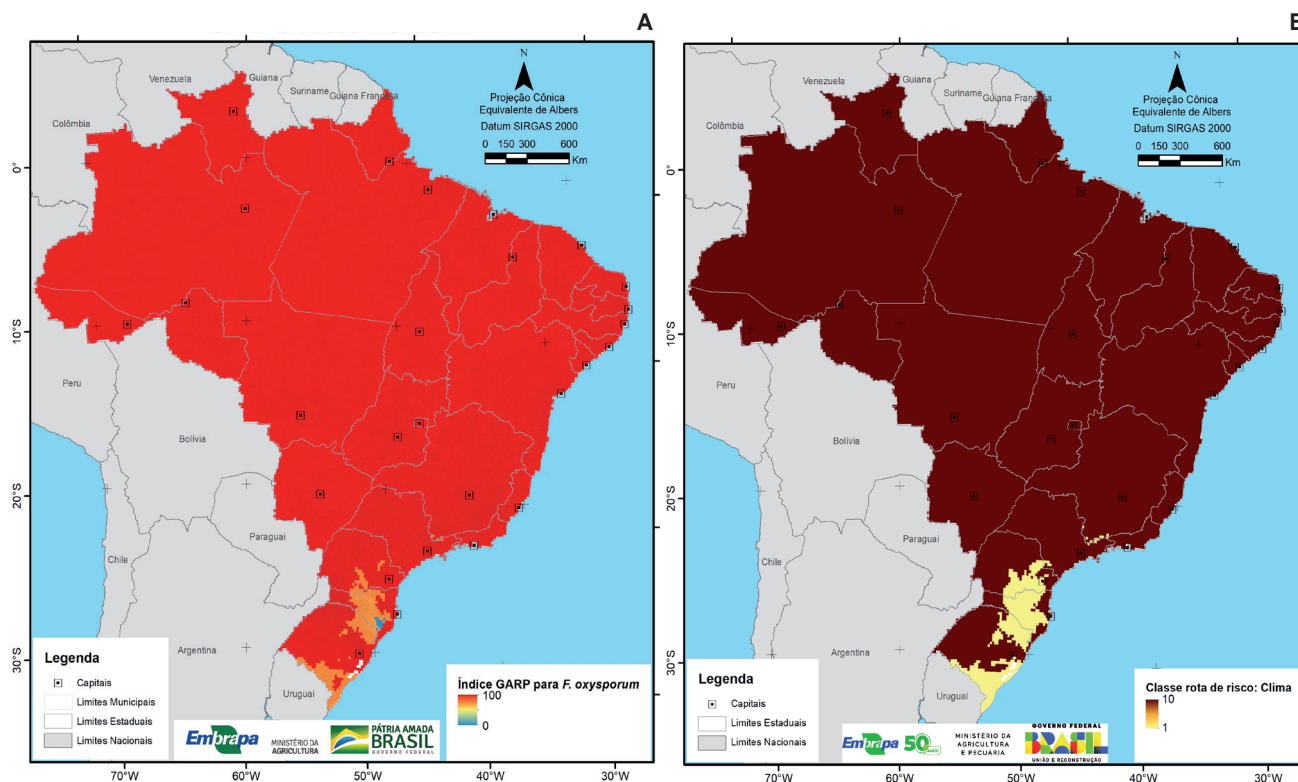


Figura 14. A – Zoneamento nacional das áreas favoráveis a *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* raça 4 tropical, por modelagem de nicho ecológico (GARP/OpenModeller). B – Ponderação e espacialização associadas à favorabilidade climática para o desenvolvimento da praga.

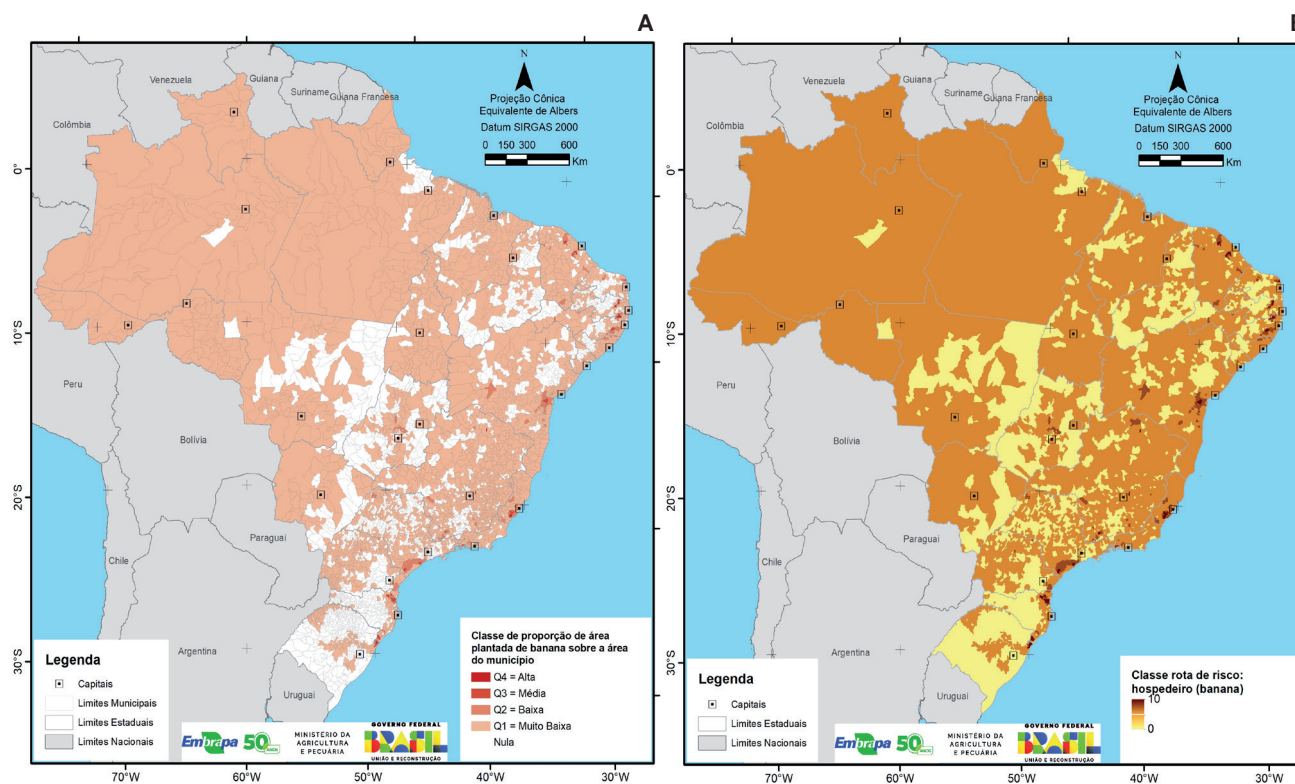


Figura 15. A – Proporção de área cultivada com banana com relação aos demais cultivos. B – Ponderação e espacialização associadas à presença de hospedeiros da praga.

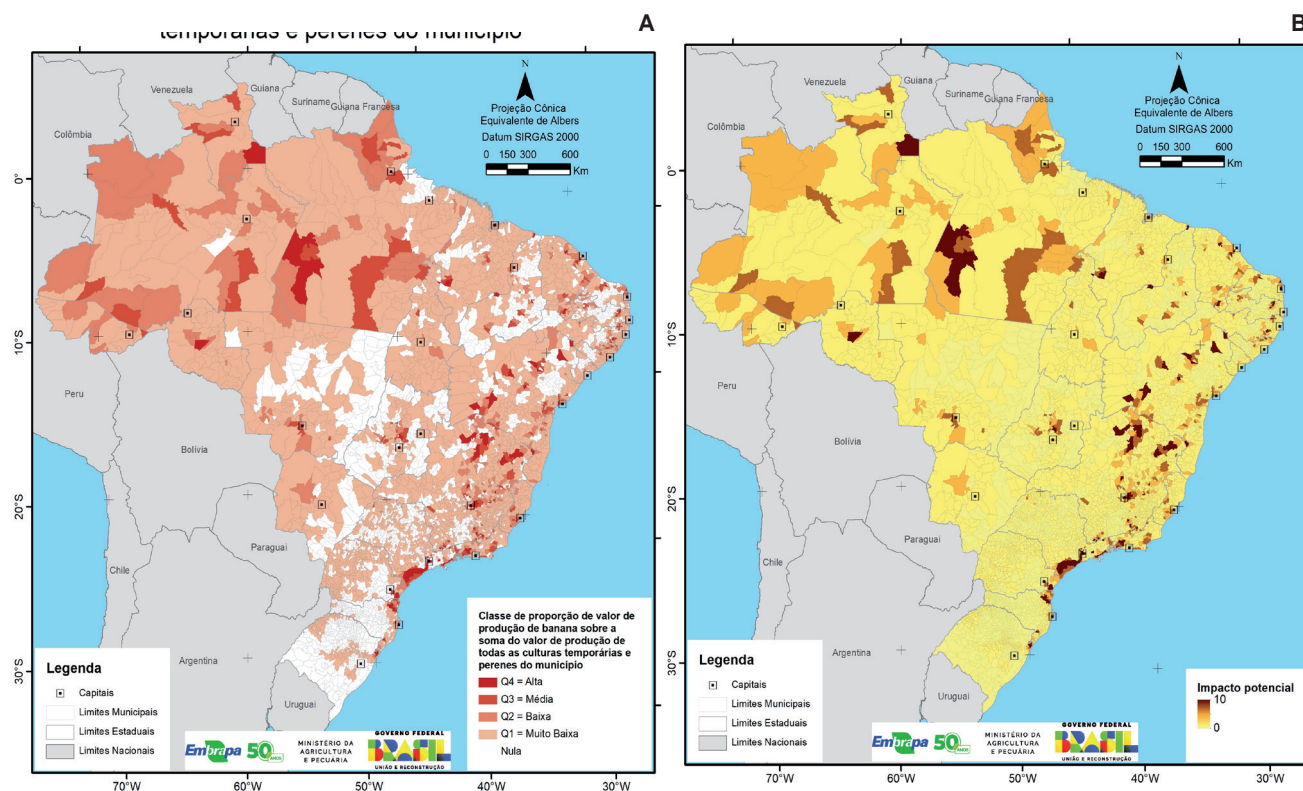


Figura 16. Distribuição das classes da proporção do valor de produção da cultura hospedeira. B – Ponderação e espacialização do impacto potencial da praga no Brasil.

Risco final e rotas de dispersão

A integração dos planos de risco de entrada (65%), estabelecimento (5%) e impacto potencial (30%) (Tabela 2), originou o plano de risco final, que permitiu calcular o plano de facilidade à dispersão (função de custo reversa) e, com base nas ferramentas “Cost Distance” e “Cost Path as Polyline” (ArcGis), foram geradas rotas preferenciais de dispersão da praga desde os pontos críticos de entrada até os principais polos produtivos (Figuras 18 e 19).

As rotas destacam os seguintes trajetos: (1) Guarulhos ao Vale do Ribeira, SP, pela BR-116; (2) Foz do Iguaçu ao oeste paulista via BR-277/369; (3) Rio Branco até Janaúba, MG, e Bom Jesus da Lapa, BA, via BR-364/135; (4) Manaus até o oeste da Bahia e norte de Goiás. Essas rotas coincidem com corredores logísticos nacionais e zonas de movimentação intensa de insumos agropecuários, onde a circulação de tratores, caixas de banana, caminhões e trabalhadores rurais pode representar vetor relevante de contaminação (Martínez-Solórzano; Rey-Brina, 2021; Rodríguez-Yzquierdo et al., 2023). A presença simultânea de condições logísticas e ambientais propícias à dispersão do fungo justifica a instalação de barreiras fitossanitárias móveis, postos de monitoramento e ações de vigilância ativa e passiva.

A metodologia de modelagem espacial adotada permite simulações dinâmicas com diferentes pesos e planos de informação, adaptando-se a novos cenários e medidas de contenção. Por exemplo, a introdução de barreiras sanitárias, controle de importações ou restrições ao tráfego de insumos vegetais em zonas críticas pode ser representada por aumento do “custo de dispersão” em determinados trechos. Esse recurso é apontado por Di Leo e Ricciardi (2020) como uma das principais vantagens do uso de algoritmos de menor custo em modelagem de conectividade ecológica. Aplicada ao contexto fitossanitário, essa técnica torna-se uma ferramenta poderosa para o planejamento prospectivo de políticas públicas (Holler et al., 2015; IICA, 2022).

Conclusões

A bananicultura brasileira, essencial para a segurança alimentar e a economia rural, sobretudo de pequenos produtores, enfrenta um desafio fitossanitário com a ameaça do *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* raça 4 tropical. A gravidade desse patógeno, somada à alta suscetibilidade das principais variedades cultivadas e à ausência de controle químico eficaz, exige uma resposta

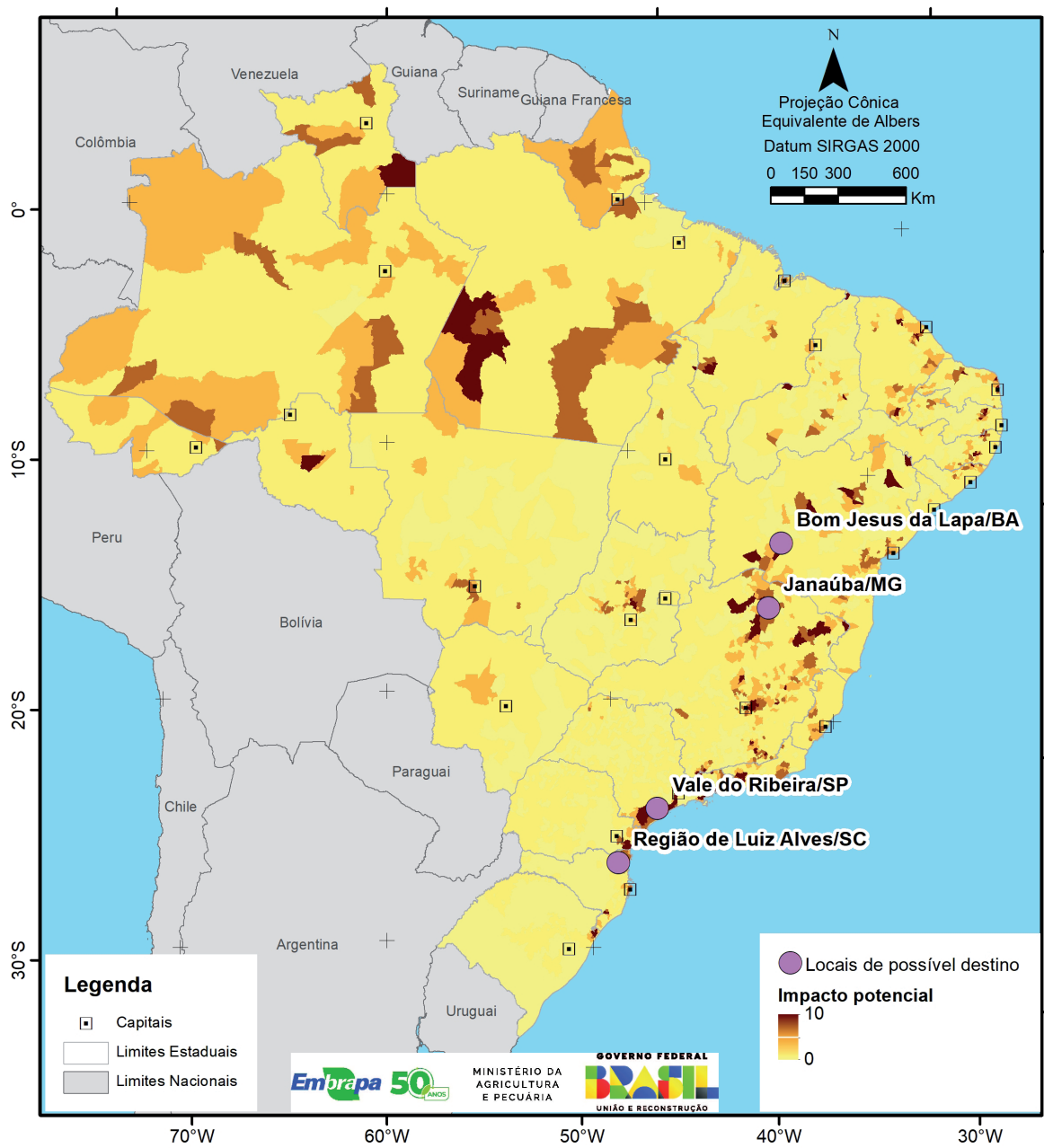


Figura 17. Locais potenciais de entrada da praga no Brasil.

Tabela 2. Pesos aplicados aos planos de informação intermediários para obtenção do plano de informação de risco final.

Planos de informação intermediários	Peso
Riscos de entrada	65
Riscos de estabelecimento	5
Impacto potencial	30
Total	100

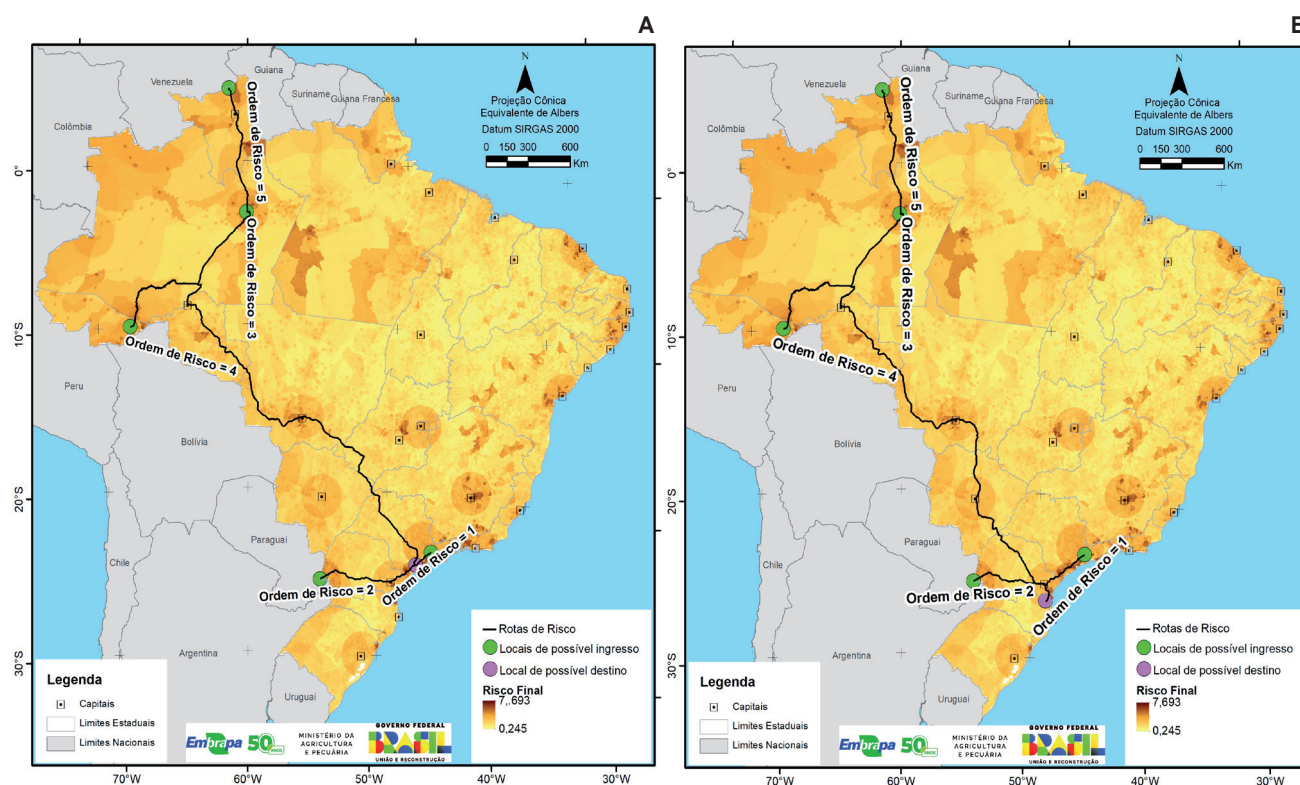


Figura 18. A – Potenciais rotas de risco de ingresso de *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* raça 4 tropical com destino ao Vale do Ribeira, SP. B – Potenciais rotas de risco de ingresso da praga com destino à região de Luiz Alves, SC.

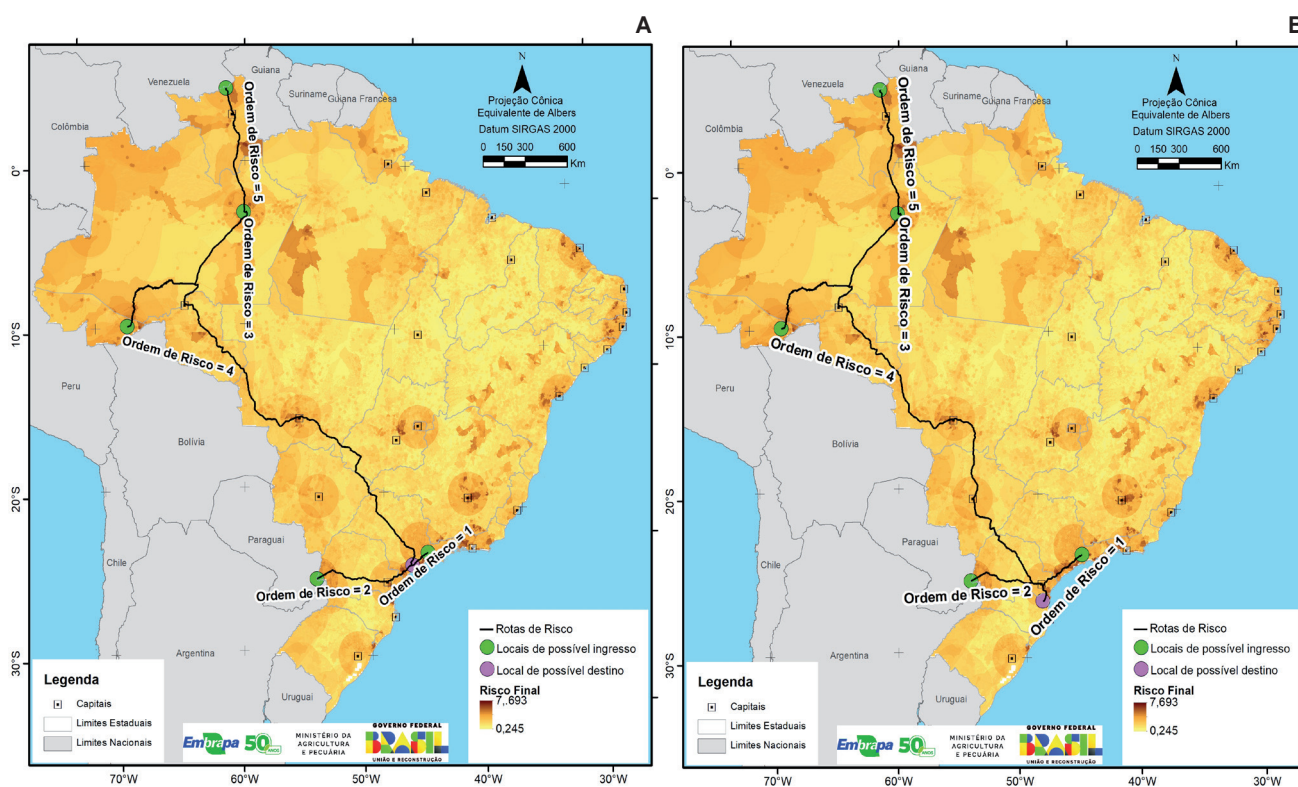


Figura 19. A – Potenciais rotas de risco de ingresso de *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* raça 4 tropical para Bom Jesus da Lapa, BA. B – Potenciais rotas de risco de ingresso da praga para Janaúba, MG.

articulada, pautada por evidências científicas, para evitar prejuízos severos à cadeia produtiva.

A metodologia de modelagem espacial desenvolvida neste estudo mostrou-se eficaz para identificar áreas prioritárias de vigilância fitossanitária, ao integrar variáveis logísticas, ambientais e produtivas. Os principais pontos de entrada do fungo coincidem com polos de conectividade internacional e intenso fluxo de pessoas e cargas — como Guarulhos, Foz do Iguaçu, Rio Branco, Manaus e Boa Vista — além de rotas terrestres, com destaque para os corredores que conectam o Brasil ao Peru e à Venezuela. Essas zonas de maior risco devem ser foco de ações preventivas e rigoroso controle fitossanitário, conforme diretrizes do Ministério da Agricultura e Pecuária (Mapa).

O cruzamento entre condições climáticas favoráveis e a presença de áreas com alta densidade de hospedeiros — notadamente o Vale do Ribeira, SP, Sul de Minas Gerais e o Vale do São Francisco, BA/PE, — evidencia a necessidade de proteção da produção nacional. Esses territórios demandam articulação precoce, bem como capacitação técnica contínua para produtores e agentes de campo, visando à identificação rápida de possíveis focos de infecção.

Os resultados apresentados neste estudo têm subsidiado a estratégia nacional de levantamentos fitossanitários coordenada pelo Mapa, a qual vem implementando medidas de prevenção ao fungo. Essas iniciativas, articuladas com a experiência acumulada no enfrentamento da raça 1 de *Fusarium* e com os avanços no melhoramento genético liderados pela Embrapa, evidenciam a importância da integração entre pesquisa científica, políticas públicas e setor produtivo. Nesse cenário, o avanço no desenvolvimento de cultivares resistentes, aliado à disseminação de práticas de manejo sustentável e à estruturação de um sistema nacional de alerta fitossanitário, constitui um alicerce estratégico para a preparação do setor.

Essas medidas assumem relevância estratégica quando respaldadas por instrumentos normativos consolidados, como a Instrução Normativa nº 30/2020, que disciplina o trânsito de material vegetal e define zonas de proteção fitossanitária, fortalecendo a capacidade nacional de prevenção e resposta ao fungo. Essa abordagem integrada, que alia ciência, vigilância e inovação tecnológica, oferece ao Brasil condições de construir uma resposta proporcional à gravidade da ameaça, contribuindo para a resiliência da cadeia produtiva da banana.

A experiência demonstra que a sustentabilidade da bananicultura diante dessa ameaça não será alcançada por meio de ações isoladas. É imprescindível a adoção de uma estratégia coordenada, sustentada por vigilância ativa, pesquisa aplicada e implementação de boas práticas agrícolas, a qual pode ser potencializada por meio de parcerias nacionais e internacionais, de forma a proteger a produção, os empregos gerados e o desenvolvimento socioeconômico das regiões produtoras.

Referências

- ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. **Dados e estatísticas**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/dados-e-estatisticas>. Acesso em: 10 out. 2025.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 30, de 5 de junho de 2020. Institui, no âmbito do Programa Nacional de Prevenção e Vigilância de Pragas Quarentenárias Ausentes, o Plano Nacional de Prevenção e Vigilância de *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* raça 4 tropical – PNPV/FocR4T. **Diário Oficial da União**, seção 1, Brasília, DF, 9 jun. 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/instrucao-normativa-n-30-de-5-de-junho-de-2020-260854899>. Acesso em: 13 ago. 2025.
- BRASIL. Ministério da Economia. **Comércio exterior**: importações de produtos vegetais. Brasília, 2021.
- DATABASE OF GLOBAL ADMINISTRATIVE AREAS. **GADM maps and data**. Disponível em: <https://gadm.org/>. Acesso em: 10 out. 2025.
- DI LEO, M.; RICCIARDI, V. Cost-distance analysis of banana disease dispersal in Central America: an ecological connectivity approach. **Geographical Review**, v. 110, n. 4, p. 542–561, 2020.
- DITA, M. A.; HADDAD, F. Application of biotechnology for the management of *Fusarium* wilt in banana. In: **Biotechnology and banana improvement**. Washington, DC: FAO, 2018a. p. 73–87.
- DITA, M. A.; HADDAD, F. *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense*, raça 4 tropical (Hypocreales: Nectriaceae). In: FIDELIS, E. G.; LOHMANN, T. R.; SILVA, M. L.; PARIZZI, P.; LARANJEIRA, F. F. (ed.). **Priorização de pragas quarentenárias ausentes no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 2018b. cap. 16.
- DUTRA, M. R.; SILVA, S. O.; HADDAD, F.; MATOS, A. P.; ALVES, E. J. *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* raça 4 tropical (FocR4T): uma ameaça à bananicultura brasileira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 43, e-103, 2021.

EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA. **Plano Nacional de Logística 2035** – PNL 2035. Relatório final. Empresa de Planejamento e Logística S.A. 2021. Disponível em: <https://portal.epl.gov.br/plano-nacional-de-logistica-pnl>. Acesso em: 10 out. 2025.

FARIAS, A. R.; MINGOTI, R.; VALLE, L. B.; SPADOTTO, C. A.; LOVISI FILHO, E. **Identificação, mapeamento e quantificação das áreas urbanas do Brasil**. Campinas: Embrapa Gestão Territorial, 2017. 5 p. (Embrapa Gestão Territorial. Comunicado técnico, 4). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1069928/1/20170522-COT-4.pdf>. Acesso em: 10 out. 2025.

FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 12, p. 4302–4315, 2017.

GASPAROTTO, L.; DITA, M.; ALEXANDRE, J. R.; SCHURT, D. A.; LEITE, R. S. V. ***Fusarium oxysporum* f.sp. cubense raça 4 tropical**: perigo para a bananicultura nacional. Manaus, AM: Embrapa Amazônia Ocidental, 2020a. 20 p. (Comunicado Técnico, 149). Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sanidade-animal-e-vegetal/sanidade-vegetal/planos-de-contingencia-pragas-ausentes/copy2_of_ComTec149.pdf. Acesso em: 23 ago. 2023

GASPAROTTO, L.; PEREIRA, J. C. R.; HANADA, R. E.; OLIVEIRA, S. A. S. **Fusariose da bananeira no Brasil e no mundo**: situação atual e perspectivas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2020b. (Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos, 142).

HOLLER, W. A.; BRASCO, M. A.; LOVISI FILHO, E.; FARIAS, A. R.; MINGOTI, R. **Identificação de segmentos e locais nos limites territoriais do Brasil para ações de prevenção à entrada de pragas**. Campinas: Embrapa Gestão Territorial, 2015. 8 p. (Embrapa Gestão Territorial. Circular Técnica, 03).

IBARRA-ZAPATA, E.; SANTOS, R. F.; LÓPEZ, J. M.; GÓMEZ, L. A. Análise geoespacial fitossanitária da dispersão de *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* raça 4 tropical na América do Sul. **Revista de Agricultura e Ambiente**, v. 13, n. 2, p. 89–106, 2022.

IBGE. **Malha municipal 2019**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

IBGE. **Mapas de uso e cobertura da terra do Brasil: 2000–2018**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.

IBGE. **Produção agrícola municipal**: culturas permanentes e temporárias. SIDRA/IBGE, 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 10 jul. 2023.

IICA. Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura. **Projeto ALER4TA – Fortalecimento de**

capacidades nacionais de resposta ao FocR4T na América Latina. San José: IICA, 2022.

MARTÍNEZ-SOLÓRZANO, G. E.; REY-BRINA, J. M. Diagnóstico regional da vulnerabilidade logística ao FocR4T na América Latina. **Agrosistemas Latinoamericanos**, v. 12, n. 1, p. 33–49, 2021.

MARYANI, N.; LOMBARD, L.; POERBA, Y. S.; SUBANDIYAH, S.; CROUS, P. W.; KEMA, G. H. J. Phylogeny and genetic diversity of the banana Fusarium wilt pathogen *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* in the Indonesian centre of origin. **Studies in Mycology**, v. 92, p. 155–194, 2019.

PÉREZ-VICENTE, L. Fusarium wilt (Panama disease) of bananas: an updating review of the current knowledge on the disease and its causal agent. In: REUNIÓN INTERNACIONAL ACORBAT, 16., 2004, Oaxaca, Mexico. **Anais...** Oaxaca, Mexico: 2004. p. 1-14.

RAYFIELD, B.; FORTIN, M. J.; FALL, A. Connectivity for conservation: a framework to classify network measures. **Ecology**, v. 91, n. 1, p. 198–206, 2010.

RODRÍGUEZ-YZQUIERDO, G.; RAMÍREZ, V.; SANTOS, A. M.; GONZÁLEZ, F. Soil predisposition to *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* in tropical regions: physical–chemical drivers and predictive modeling. **Applied Soil Ecology**, v. 185, 104599, 2023.

SILVA, J. A.; SOUZA, R. T.; LIMA, M. F.; COSTA, E. M. Cadeias produtivas da fruticultura e agricultura familiar: um panorama nacional. **Cadernos de Desenvolvimento Rural**, v. 18, n. 2, p. 55–78, 2021.

ZANINE, A. M.; FERREIRA, C. F.; SILVA, L. C.; SANTOS, E. M.; ALVES, A. A. **Situação fitossanitária da raça 4 tropical de *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* na América do Sul**. Petrolina: Embrapa Semiárido 2021 (Embrapa Semiárido. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 73).

