

UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS CERRO LARGO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE E TECNOLOGIAS
SUSTENTÁVEIS
MESTRADO EM AMBIENTE E TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS

JULIO ROBERTO PELLEZ

RISCO CLIMÁTICO DE OCORRÊNCIA DE DERIVA EM APLICAÇÕES DE
PESTICIDAS NO BRASIL

CERRO LARGO

2023

JULIO ROBERTO PELLENZ

RISCO CLIMÁTICO DE OCORRÊNCIA DE DERIVA EM APLICAÇÕES DE
PESTICIDAS NO BRASIL

Dissertação apresentada para o Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Mestre em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis.

Orientador: Prof. Dr. Sidinei Zwick Radons

Cerro Largo

2023

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Pellenz, Julio Roberto
RISCO CLIMÁTICO DE OCORRÊNCIA DE DERIVA EM APLICAÇÕES
DE PESTICIDAS NO BRASIL / Julio Roberto Pellenz. --
2023.
61 f.:il.

Orientador: Doutor Sidinei Zwick Radons

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da
Fronteira Sul, Programa de Pós-Graduação em Ambiente e
Tecnologias Sustentáveis, Cerro Largo,RS, 2023.

1. Condições meteorológicas. 2. Contaminação
ambiental. 3. Análise territorial. I. Radons, Sidinei
Zwick, orient. II. Universidade Federal da Fronteira
Sul. III. Título.

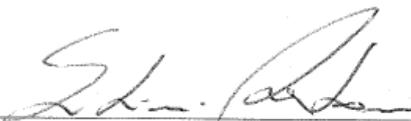
JULIO ROBERTO PELLENZ

**RISCO CLIMÁTICO DE OCORRÊNCIA DE DERIVA EM APLICAÇÕES DE
PESTICIDAS NO BRASIL**

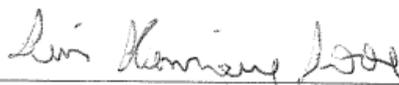
Dissertação apresentada para o Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Mestre em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis.

Esta dissertação foi defendida e aprovada pela banca examinadora em: 31/03/2023.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Sidinei Zwick Radons - UFFS
Orientador



Prof. Dr. Luis Henrique Loose - IFFAR
Avaliador



Dra. Silvane Isabel Brand - AgroTI
Avaliadora

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, pela vida, e à Jesus Cristo, por ter dado a sua vida para salvar a todos nós.

Agradeço aos meus pais Ana e Donato, e minhas irmãs Sara e Liara, pelo apoio que me deram durante esta caminhada.

À Universidade Federal da Fronteira Sul, pela oportunidade de realizar o curso de mestrado em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis na instituição.

Aos professores e colegas do mestrado em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis, pelos aprendizados e momentos de descontração proporcionados.

Ao professor doutor Sidinei Zwick Radons, pela orientação e contribuições para este trabalho.

Aos colegas do grupo de pesquisa, Joelson Haas, Aline Henck e Patrícia Pivetta, pelos esforços realizados na execução deste trabalho.

Aos demais amigos, amigas e colegas, pela compreensão e auxílio nos momentos de dificuldade enfrentados durante esta jornada.

À todos(as), o meu muito obrigado!

E se clamares por entendimento, e por inteligência alçares a tua voz,
se como a prata a buscares e como a tesouros escondidos a esquadrihares,
então entenderás o temor do SENHOR, e acharás o conhecimento de Deus.

Porque o SENHOR é o que dá a sabedoria; da sua boca é que sai
o conhecimento e o entendimento.

(Provérbios 2, 3-6)

RESUMO

O uso de pesticidas na agricultura tem sido importante para manter produções agrícolas satisfatórias, visando atender à crescente demanda mundial por alimentos. O Brasil está entre os países com maior consumo de pesticidas, devido a sua grande produção agrícola e condições climáticas que permitem o cultivo de até três safras por ano. Apesar de sua importância na agricultura, os pesticidas podem causar danos ao ambiente e à saúde humana, atingindo organismos não-alvo, como insetos benéficos, organismos edáficos, fauna e flora em áreas adjacentes, assim como a contaminação de mananciais hídricos. A ocorrência de deriva durante as aplicações de pesticidas tem sido uma das principais causas de contaminação ambiental causada por pesticidas, podendo esta ser agravada por condições meteorológicas adversas como velocidade e direção do vento, umidade relativa do ar, temperatura do ar e precipitação. O objetivo deste trabalho foi estimar e comparar o risco de ocorrência de deriva em aplicações de pesticidas no Brasil e baseado nas variáveis meteorológicas que o influenciam nos horários do dia e meses do ano, assim como compreender a distribuição espacial destas variáveis nestes períodos. Os dados meteorológicos foram obtidos das estações automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a partir dos quais foi estimado o risco de ocorrência de deriva em cada localidade e os fatores meteorológicos com maior influência na composição do risco. Foram considerados horários com risco de ocorrência de deriva aqueles com ocorrência de precipitação, temperatura do ar acima de 30 °C, umidade relativa do ar abaixo de 55% e velocidade do vento maior que 2,78 m s⁻¹. Foram gerados gráficos em *boxplot* por região brasileira com os valores de risco mensal e horário, assim como mapas mensais e horários usando-se a ferramenta de interpolação IDW. Considerando-se a velocidade do vento <0,83 m s⁻¹ como risco, observou-se uma variação deste entre 16 e 99%, com um valor médio de 68%. Na análise sem a velocidade do vento <0,83 m s⁻¹ como geradora de risco, teve-se a região com maior risco médio a região Nordeste (48%), e região Norte a com menor risco médio (33%). Nas regiões Norte e Centro-Oeste os meses de agosto e setembro foram os meses com maior risco de ocorrência de deriva, enquanto que na região Nordeste foram os meses de setembro e outubro, na região Sudeste o mês de setembro e na região Sul o maior risco ocorreu nos meses de agosto a dezembro. Os elementos com maior influência na ocorrência de risco mensal foram alta temperatura do ar na região Norte, baixa umidade relativa do ar nas regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste, e velocidade do vento maior que 2,78 m s⁻¹ na região Sul. O maior risco de ocorrência de deriva foi observado entre as 14:00 e 15:00 horas (UTC -3). Na análise

territorial, considerando-se a velocidade do vento menor que $0,83 \text{ m s}^{-1}$ como geradora de risco, 90% do território apresentou risco acima de 70% entre as 15:00 e 20:00 horas UTC.

Palavras-chave: Condições meteorológicas. Contaminação ambiental. Análise territorial.

ABSTRACT

The use of pesticides in agriculture has been important to maintain satisfactory agricultural production, aiming to meet the growing global demand for food. Brazil is among the countries with the highest pesticide consumption, due to its large agricultural production and climatic conditions that allow for up to three harvests per year. Despite their importance in agriculture, pesticides can cause damage to the environment and human health, affecting non-target organisms such as beneficial insects, soil organisms, fauna and flora in adjacent areas, as well as contaminate water sources. Spray drift occurrence during pesticide applications has been one of the main causes of environmental contamination caused by pesticides, which can be exacerbated by adverse weather conditions such as wind speed and direction, relative humidity, air temperature, and precipitation. The objective of this study was to estimate and compare the risk of spray drift occurrence in pesticide applications in Brazil based on the meteorological variables that influence it during different times of the day and months of the year, as well as to understand the spatial distribution of these variables in these periods. Meteorological data were obtained from meteorological stations of the National Institute of Meteorology (INMET), from which the risk of spray drift occurrence in each location and the meteorological factors with the greatest influence on the risk composition were estimated. Hours with spray drift occurrence risk were considered those with precipitation occurrence, air temperature above 30 °C, relative humidity below 55%, and wind speed greater than 2.78 m s⁻¹. Boxplot graphs were generated by Brazilian region with monthly and hourly risk values, as well as monthly and hourly maps using the IDW interpolation tool. Considering wind speed <0.83 m s⁻¹ as a risk, a variation of this risk between 16 and 99%, with an average value of 68%, was observed. In the analysis without wind speed <0.83 m s⁻¹ as a risk generator, the Northeast region had the highest average risk (48%), and the North region had the lowest average risk (33%). In the North and Central-West regions, the months of August and September had the highest risk of spray drift occurrence, while in the Northeast region, the months of September and October had the highest risk. In the Southeast region, September had the highest risk, and in the South region, the highest risk occurred from August to December. The elements with the greatest influence on monthly risk occurrence were high air temperature in the North region, low relative humidity in the Northeast, Central-West and Southeast regions, and wind speed greater than 2.78 m s⁻¹ in the South region. The highest risk of drift occurrence was observed between 14:00 and 15:00 hours

(UTC-3). In the territorial analysis, considering wind speeds less than 0.83 m s^{-1} as a risk generator, 90% of the territory presented risk above 70% between 15:00 and 20:00 hours UTC.

Key-words: Meteorological conditions. Environmental contamination. Territorial analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Crescimento do uso de pesticidas no período de 1990 a 2020 nos 10 países com maior consumo.....	16
Figura 2 – Spray drift occurrence during pesticide application.....	26
Figura 3 – Monthly and yearly risk of spray drift occurrence in pesticide applications on the Brazilian regions.....	30
Figure 4 – Influence of meteorological elements on the spray drift risk composition in the Brazilian regions.....	32
Figura 5 - Hourly risk of spray drift occurrence in pesticide applications on the Brazilian regions.....	35
Figura 6 - Influence of meteorological elements on the hourly spray drift risk composition in the Brazilian regions.....	37
Figura 7 – Localização das estações meteorológicas automáticas do INMET	45
Figura 8 – Risco médio mensal (%) de ocorrência de deriva em aplicações de pesticidas no Brasil.....	47
Figura 9 – Risco médio horário (%) de ocorrência de deriva em aplicações de pesticidas no Brasil.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos pesticidas quanto ao potencial de periculosidade ambiental (PPA).....	18
Tabela 2 – Mean monthly risk of pesticide drift occurrence in the five Brazilian regions.....	28
Tabela 3 – Mean hourly risk of pesticide drift occurrence in the five Brazilian regions.....	33
Tabela 4 – Área (% em relação ao total do país) de abrangência de diferentes níveis de risco (%) de ocorrência de deriva em aplicações de pesticidas nos meses do ano no Brasil.....	46
Tabela 5 – Área (% em relação ao total do país) de abrangência de diferentes níveis de risco (%) de ocorrência de deriva em aplicações de pesticidas nos horários do dia no Brasil.....	50

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1	USO DE PESTICIDAS NA AGRICULTURA.....	15
2.2	IMPACTOS DOS PESTICIDAS NO MEIO AMBIENTE.....	18
2.3	OCORRÊNCIA DE DERIVA EM APLICAÇÕES DE PESTICIDAS.....	19
3	METEOROLOGICAL RISK OF SPRAY DRIFT OCCURRENCE IN BRAZILIAN PESTICIDE APPLICATIONS ON AN HOURLY AND MONTHLY SCALE.....	23
	ABSTRACT.....	23
3.1	INTRODUCTION.....	24
3.3	MATERIALS AND METHODS.....	26
3.4	RESULTS AND DISCUSSION.....	27
3.5	CONCLUSION.....	37
	DECLARATIONS.....	38
	REFERENCES.....	38
4	RISCO CLIMÁTICO ESPACIAL DE OCORRÊNCIA DE DERIVA EM APLICAÇÕES DE PESTICIDAS NO BRASIL.....	41
	RESUMO.....	41
4.2	INTRODUÇÃO.....	42
4.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	44
4.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
4.5	CONCLUSÕES.....	53
	REFERÊNCIAS.....	54
5	CONCLUSÕES GERAIS.....	57
	REFERÊNCIAS.....	58

1 INTRODUÇÃO

O uso de pesticidas na agricultura tem sido importante para garantir altas produtividades agrícolas, visando atender a crescente demanda por alimentos da população mundial (DEGUINE *et al.*, 2021). Porém o seu uso inadequado tem gerado vários problemas ambientais, afetando serviços ecossistêmicos em ambientes terrestres e aquáticos (CEQUINEL; RODRIGO, 2018).

O Brasil figura como o 2º maior consumidor mundial de pesticidas (FAOSTAT, 2022), com um aumento nas vendas de 322% nos últimos 20 anos (IBAMA, 2020). Esse alto consumo se dá pela grande área utilizada para cultivos agrícolas, políticas de incentivo ao uso de pesticidas, e clima favorável para o cultivo de até três safras por ano (MORAES, 2019; LANGENBACH; CALDAS, 2017).

Climas com altas temperaturas, umidade elevada e chuvas frequentes, como ocorre no Brasil, criam um ambiente propício para a proliferação de organismos patogênicos. Essas condições podem aumentar a sobrevivência de inóculos, como esporos, larvas ou ovos de pragas e patógenos, permitindo que persistam no ambiente mesmo após a colheita. A presença desses inóculos entre as safras pode representar um risco significativo para a próxima cultura, exigindo medidas de manejo adequadas para minimizar o impacto dessas pragas e doenças na produção agrícola (MADDEN; HUGHES; BOSCH, 2007).

Apesar de serem importantes para a prática da agricultura, os pesticidas têm gerado grandes danos ambientais. Segundo Matthews, Bateman e Miller (2014), até 80% do produto aplicado pode ser perdido, afetando organismos edáficos, insetos benéficos, flora e fauna em áreas adjacentes, e a contaminação de mananciais hídricos (AKTAR; SENGUPTA; CHOWDHURY, 2009).

Entre as causas que geram contaminação ambiental por pesticidas, tem se destacado a ocorrência de deriva durante as aplicações (ANDEF, 2010). Condições meteorológicas adversas, como velocidade do vento, temperatura do ar, umidade relativa do ar e ocorrência de precipitação podem afetar a deriva, sendo necessário o monitoramento dessas variáveis para reduzir o seu risco (CONTIERO; BIFFE; CATAPAN, 2018).

Com base em valores de referência para estas variáveis, e de posse de um banco de dados meteorológicos, é possível estimar os períodos e locais que apresentam condições mais

críticas para a ocorrência de deriva. Além disso, é possível verificar qual destas variáveis possui maior influência no seu risco (OLIVEIRA; FERREIRA; SENTELHAS, 2020; SILVA; OLIVEIRA; GANDOLFO, 2018).

De posse destes dados, pode-se alterar a frequência e os pontos de monitoramento ambiental, a fim de se ter uma avaliação adequada da qualidade da água e outros parâmetros ambientais (ANA, 2023). Os dados também podem auxiliar no planejamento e fiscalização do uso dos recursos naturais e no controle e zoneamento das atividades potencial ou efetivamente poluidoras, conforme previsto na Política Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 1981).

O objetivo do presente trabalho foi estimar e comparar o risco de ocorrência de deriva em aplicações de pesticidas no Brasil e identificar quais das variáveis de precipitação, temperatura, umidade relativa do ar ou velocidade do vento mais influenciam o risco durante os horários do dia e meses do ano, assim como compreender a distribuição espacial do risco nestes períodos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 USO DE PESTICIDAS NA AGRICULTURA

Desde o início da agricultura, os agricultores tiveram que competir com organismos prejudiciais, que causavam perdas nos produtos. A fim de reduzir as perdas, desenvolveram formas físicas, biológicas e químicas de controle (OERKE, 2005).

Os primeiros registros do uso de pesticidas na agricultura foram feitos pelos sumérios, na antiga Mesopotâmia, a cerca de 4500 atrás, usando compostos de enxofre para controle de insetos e ácaros (PANDYA, 2018). Há 3200 anos atrás os chineses passaram a usar compostos de mercúrio e arsênio para controle de piolhos, e posteriormente começaram a entender a importância dos microrganismos no controle de pragas (BANK, 2012). Porém, foi somente após as grandes guerras mundiais que os agrotóxicos passaram a ser usados mais intensamente, a partir da “Revolução Verde”, que almejava aumentos de produtividade para acabar com a fome que assolava boa parte da população mundial (LONDRES, 2011).

A transformação de ecossistemas naturais em agroecossistemas consiste inicialmente na remoção da biodiversidade original de plantas e animais, a qual é substituída por comunidades mais simples, com número reduzido de interações ecológicas (ALTIERI, 2012). Estas comunidades possuem espécies com alta capacidade reprodutiva, e quando usam as plantas cultivadas como alimento passam a se tornar pragas (SUJII *et al.*, 2010).

De acordo com Oerke (2005), em média 35% da produtividade agrícola potencial é perdida por pragas durante o cultivo, enquanto outros 35% são perdidos após a colheita. Segundo o autor, apesar do aumento no uso de pesticidas nos últimos anos, as perdas dos cultivos para as pragas não diminuíram significativamente.

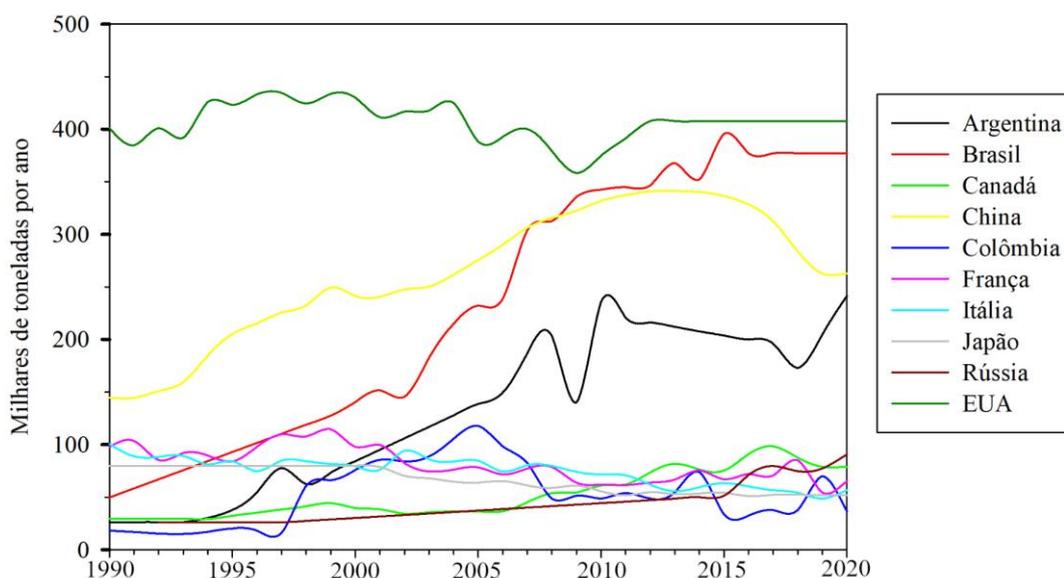
Headley (1968) identificou que o uso de pesticidas na agricultura possui uma alta taxa de retorno econômico, com retornos maiores que os investidos em fertilizantes, o que justifica o investimento feito pelos agricultores em pesticidas. Porém Popp, Petö e Nagy (2012) apontam que este estudo somente levou em consideração os custos e benefícios em termos monetários, não mensurando aspectos humanos e ambientais, que são difíceis de serem expressados em termos monetários.

Espera-se que a população mundial chegue a 9 bilhões de pessoas em 2050. Para atender a demanda por alimentos, a produção destes deve aumentar em 70%, usando a mesma área

utilizada atualmente (FAO, 2009). Ainda segundo estes, a produção de alimentos compete com a de biocombustíveis, necessitando assim um grande aumento na produtividade para atender essa demanda. Segundo Cassman (1999), maiores aumentos de produtividade são obtidos através da proteção das plantas às pragas, comparado ao aumento do potencial produtivo das culturas. Assim, os pesticidas podem ter uma importante contribuição para se chegar aos níveis de produtividade esperados para 2050.

No ano de 2020, o Brasil figurou como 2º maior consumidor de pesticidas, sendo os Estados Unidos (EUA) o país com maior consumo absoluto (FAOSTAT, 2022) (Figura 1). Segundo Moraes (2019), este alto consumo no Brasil se deve à grande área utilizada para agricultura no país, bem como a grande quantidade de produtos agrícolas produzidos nessas áreas. Além disso, as políticas públicas que incentivaram o uso de pesticidas a partir da Revolução Verde. Além disso, por apresentar clima favorável para o cultivo durante todo o ano e fontes de água abundante, pode-se fazer até 3 safras em um ano agrícola, o que demanda uma quantidade maior de pesticidas que outros países com clima temperado, por exemplo (LANGENBACH; CALDAS, 2017). Patossistemas em climas tropicais, como no Brasil, costumam ser mais endêmicos, permanência contínua de inóculo, ciclos mais longos e menor dependência de fatores climáticos, quando comparados com patossistemas de climas temperados (ZADOKS, 1998).

Figura 1 - Uso de pesticidas no período de 1990 a 2020 nos 10 países com maior consumo



Fonte: Autor com dados de FAOSTAT (2022).

Entre os 10 países com maior consumo de pesticidas no mundo, observa-se que o Brasil, China e Argentina tiveram um grande crescimento no consumo nos últimos 30 anos, tendo a China reduzido seu consumo nos últimos 3 anos. Apesar de ser o país com o maior consumo de pesticidas, os EUA não tiveram um grande aumento no uso nos últimos anos, podendo ser facilmente ultrapassado por países como o Brasil, caso a tendência de consumo continue.

Segundo dados do IBAMA (2020), o consumo de pesticidas no Brasil no ano de 2020 foi de 686 mil toneladas de ingrediente ativo, valor significativamente maior que o apontado pela FAOSTAT (2022), que foi de 377 mil toneladas. Segundo Wang, Chi e Li (2022), o consumo de pesticidas na China no ano de 2020 foi de 1,4 bilhões de toneladas, diferindo também do valor apresentado por FAOSTAT (2022), que foi de 263 mil toneladas.

Porém o consumo absoluto de pesticidas não indica o impacto gerado pelos mesmos, uma vez que a toxicidade destes varia conforme a eficiência dos processos físicos e biológicos em que os mesmos estão envolvidos, características do ambiente e do composto químico (CEQUINEL; RODRIGO, 2018).

O Brasil teve um aumento de 322% nas vendas de pesticidas nos últimos 20 anos, passando de 162.462 toneladas de ingrediente ativo em 2000 para 685.745 toneladas em 2020. Do volume comercializado em 2020, 53% das vendas ocorreram nos estados do Mato Grosso, São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul, que são os estados com maior consumo de pesticidas no Brasil. Já os estados do Amazonas, Amapá, Roraima, Rio Grande do Norte e Rio de Janeiro o volume comercializado foi inferior a 0,1% (IBAMA, 2020). Estes dados mostram que a aplicação de pesticidas no Brasil está concentrada em algumas regiões, sendo importante estudos que analisem seu impacto.

Quanto ao consumo de pesticidas por área, o mesmo é mais elevado nos estados do Acre, Rondônia e São Paulo, onde foram usados 11,98, 10,71 e 10,62 kg de ingrediente ativo por hectare em 2020, respectivamente (IBAMA, 2020; IBGE, 2022). Já as culturas agrícolas que apresentam maior uso de pesticidas no Brasil são a soja, o milho e a cana-de-açúcar, com 570, 117 e 49 milhões de litros de pesticidas consumidos no ano de 2015, respectivamente. Em relação ao consumo por área plantada, as culturas com maior consumo de pesticidas são o tabaco, algodão e cítricos, com um consumo médio de 60, 28,6 e 23 L/ha, respectivamente (PIGNATI *et al.*, 2017).

2.2 IMPACTOS DOS PESTICIDAS NO MEIO AMBIENTE

Embora sejam importantes na produção de alimentos, os pesticidas podem vir a contaminar o solo, água, outras plantas e organismos não-alvo, como pássaros, insetos, e peixes. Por meio do escoamento da calda das plantas tratadas, a mesma atinge o solo e também a água superficial, sendo possível encontrar resíduos de agrotóxicos em águas de zonas rurais e urbanas, assim como a contaminação do lençol freático (AKTAR *et al.*, 2009).

Os pesticidas são compostos por diferentes moléculas, com diferentes modos de ação, e que apresentam diferentes níveis de toxicidade ambiental. O IBAMA (2018) classifica os pesticidas em diferentes potenciais de periculosidade ambiental (PPA) (Tabela 1), que são definidos a partir de parâmetros como transporte, persistência, bioconcentração e ecotoxicidade a diferentes organismos.

Tabela 1 - Classificação dos pesticidas quanto ao potencial de periculosidade ambiental (PPA)

Classe I	Produto ALTAMENTE PERIGOSO ao meio ambiente
Classe II	Produto MUITO PERIGOSO ao meio ambiente
Classe III	Produto PERIGOSO ao meio ambiente
Classe IV	Produto POUCO PERIGOSO ao meio ambiente

Fonte: IBAMA (2018)

Segundo Matthews, Bateman e Miller (2014), aproximadamente um terço dos pesticidas aplicados é perdido para o solo no momento da aplicação. Após a aplicação, a calda depositada nas folhas pode ainda ser levada pela água da chuva ou irrigação, podendo chegar a uma perda de até 80% do produto aplicado.

Depois de aplicados, os pesticidas podem seguir diferentes caminhos, sendo uma parte absorvida pelas plantas e pelo solo, outra parte sofre degradação, seja por fotólise ou decomposição por microrganismos, e outra ainda é transportada para locais fora da área de cultivo (BARRIUSO *et al.*, 1996). Segundo Veiga *et al.* (2006), a presença de pesticidas em sistemas hídricos é bastante comum, principalmente em corpos hídricos próximos à áreas agrícolas. Quando presentes em corpos d'água, os pesticidas podem alterar a biota presente nestes ambientes, selecionando espécies mais resistentes, além de serem acumulados na cadeia alimentar, processo este conhecido como biomagnificação (CEQUINEL; RODRIGO, 2018).

Segundo Borsoi *et al.* (2014), o uso de pesticidas tem causado o desaparecimento de insetos úteis, o que tem causado o surgimento de novas pragas. Além disso, muitas pragas têm

se tornado resistentes aos pesticidas, sendo necessário o uso de doses mais elevadas e/ou uso de outros produtos. Saraiva *et al.* (2015), identificaram que o uso de herbicidas, além dos impactos diretos causados no ambiente, pode reduzir as populações de insetos predadores por meio da eliminação de plantas daninhas que servem como refúgio para estes. Com isto, ocorre um aumento nas populações de pragas, sendo necessário o uso de mais pesticidas para o seu controle. O uso de pesticidas pode ainda reduzir a variabilidade genética das plantas e animais presentes no ambiente em que são utilizados (CEQUINEL; RODRIGO, 2018).

Schamphelire *et al.* (2007), identificaram que a deriva de pesticidas não representa risco para os organismos edáficos, como as minhocas, nem para pessoas que se encontram próximas ao local de aplicação. Porém, os pesticidas podem apresentar riscos para as comunidades aquáticas, o que pode ser reduzido, caso seja deixado uma faixa tampão entre a lavoura e os corpos aquáticos.

2.3 OCORRÊNCIA DE DERIVA EM APLICAÇÕES DE PESTICIDAS

A ocorrência de deriva durante as pulverizações agrícolas tem sido uma das principais causas de contaminação ambiental por pesticidas. Segundo ANDEF (2010), deriva é o quando a calda de produtos fitossanitários não atinge o organismo alvo. Quando essas perdas acontecem dentro do dossel vegetativo, são denominadas de endoderiva, e geralmente acontecem devido ao escorrimento de calda das folhas das plantas. Quando esse fenômeno acontece fora do dossel, é conhecido como exoderiva, e ocorre devido ao deslocamento lateral provocado pelo vento ou evaporação da calda.

Segundo Contiero, Biffe e Catapan (2018), a ocorrência de deriva pode resultar em subdosagem do produto, tornando o controle ineficaz, podendo ser necessária uma nova aplicação, assim como um aumento da dosagem para compensar as perdas. Nestes casos, a quantidade de pesticidas necessária é maior, agravando ainda mais os problemas ambientais gerados pela ocorrência de deriva.

Os fatores que interferem na ocorrência de deriva estão relacionados às características da pulverização e do equipamento, como tamanho de gota, tipo e tamanho de ponta de pulverização, altura e pressão de pulverização, formulação do produto, como também a habilidade e cuidados do operador. Assim como, características ambientais, como velocidade do vento, estabilidade atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, (CONTIERO; BIFFE; CATAPAN, 2018). Segundo Arviddson, Bergström e Kreuger

(2011), dentre os fatores citados, os com maior influência na ocorrência de deriva são a altura da barra de pulverização e a velocidade do vento.

A evaporação das gotas pode acontecer quando o diâmetro destas for menor que 200 μm , fazendo com que as mesmas não atinjam o alvo desejado. Fatores como temperatura alta e baixa umidade relativa do ar podem favorecer a evaporação das mesmas. Correntes de ar podem arrastar as gotas para longe do local de aplicação. A velocidade do vento normalmente é o fator mais crítico entre os fatores meteorológicos que afetam a deriva. A presença de orvalho e ocorrência de precipitação após a aplicação também contribuem para a ocorrência de deriva, uma vez que favorecem o escorrimento da calda das folhas das plantas (ANDEF, 2010; CONTIERO; BIFFE; CATAPAN, 2018; GRAZIANO, 2016).

A velocidade e direção do vento têm sido apontados como um dos principais fatores causadores de deriva (ARVIDDSON; BERGSTRÖM; KREUGER, 2011; NUYTTENS *et al.*, 2005). Quando a velocidade do vento é muito elevada ($> 10 \text{ km h}^{-1}$), as correntes de ar arrastam consigo as gotas da calda de pulverização, levando as mesmas para fora do alvo desejado. Esse arraste ocorre de forma mais intensa com gotas de menor diâmetro, uma vez que estas têm uma maior relação área/volume, aumentando a área de contato com o ar (KRUGER *et al.*, 2019). Por este motivo, recomenda-se o uso de pressões mais baixas e pontas de pulverização que produzam gotas mais grossas quando realizam-se aplicações de pesticidas com velocidade do vento maior, a fim de reduzir o arraste das gotas pelo vento. A relação entre velocidade do vento e quantidade de calda perdida é exponencial. Nuyttens *et al.* (2005) estipularam uma relação quadrática entre a velocidade do vento e a porcentagem de calda perdida por deriva. Desta forma, pequenos incrementos na velocidade do vento podem causar grandes aumentos na perda de calda de pulverização por deriva.

Condições de baixa velocidade do vento permitem a formação do fenômeno conhecido como inversão térmica. Esse fenômeno se caracteriza pela formação de camadas de ar com temperatura inferior próximas da superfície terrestre, e temperatura mais alta nas camadas mais altas. Devido ao ar frio ser mais denso que as gotas de pulverização, este acaba dificultando a descida das gotas, que permanecem em suspensão na atmosfera, podendo serem carregadas mais facilmente para outros locais (ENZ; HOFMAN; THOSTENSON, 2019).

A direção do vento também é um fator a ser considerado na ocorrência de deriva. Quando a direção do vento é perpendicular ao sentido de aplicação, as gotas são carregadas no sentido lateral, indo para fora da faixa de aplicação, gerando perda de produtos. Quando

paralela ao sentido da aplicação, as gotas carregadas pelo vento ficam depositadas na faixa de aplicação, tendo uma chance menor de serem carregadas para fora do dossel. No momento da aplicação, a direção do vento deve ser contrária à localização de áreas sensíveis, como matas nativas, corpos d'água ou áreas habitadas, a fim de evitar a contaminação desses locais (KRUGER *et al.*, 2019).

Aplicações de pesticidas com temperaturas elevadas favorecem a evaporação das gotas, ficando os pesticidas dispersos na atmosfera e propensos a serem carregados pelas correntes de ar. A evaporação faz com que as gotas percam parte do seu volume de água, tornando as gotas mais leves e reduzindo a sua velocidade de sedimentação, porém mantendo a mesma quantidade de pesticidas presentes (MILLER, 2014). A velocidade de evaporação das gotas duplica a cada 10 °C de aumento na temperatura. A temperatura do ar quando acima de 30 °C pode causar estresses nas plantas, o que dificulta a absorção e translocação dos pesticidas nas plantas. Além disso, temperaturas mais altas tendem a deixar o ar mais turbulento, podendo as gotas serem deslocadas pela ação do vento (CONTIERO; BIFFE; CATAPAN, 2018).

A temperatura do ar também possui relação inversa com a umidade relativa do ar, uma vez que o ar mais quente pode conter uma maior quantidade de água na forma de vapor, e como a umidade absoluta não apresenta grande alteração durante o dia, ocorre uma redução na umidade relativa do ar com o aumento da temperatura (VAREJÃO-SILVA, 2006). Assim, a temperatura elevada do ar associada com uma baixa umidade relativa do ar torna ainda mais propícia a evaporação das gotas de pulverização.

A ocorrência de precipitação durante ou após a aplicação de pesticidas gerar a ocorrência de deriva, uma vez que a água da chuva que atinge as plantas pode solubilizar os compostos químicos ainda não absorvidos, levando-os para o solo e ambientes aquáticos (LUPI *et al.*, 2019). Por usarem a água como veículo de dispersão durante a aplicação, os pesticidas devem ser hidrossolúveis, a fim de permitir uma distribuição mais homogênea na área aplicada. Porém, este fator facilita o carreamento das gotas de pulverização pela água da chuva, podendo atingir águas superficiais (AZEVEDO; FREIRE, 2006; CABRERA; COSTA; PRIMEL, 2008).

Andef (2010), estabeleceu parâmetros seguros para as variáveis meteorológicas, a fim de reduzir o risco de ocorrência de deriva. Assim, a umidade relativa do ar deve estar acima de 55%, a velocidade do vento entre 3 e 10 km h⁻¹, e a temperatura do ar abaixo de 30 °C. Com base nesses intervalos e de posse de um banco de dados meteorológicos, pode-se estimar o

tempo disponível para aplicação de pesticidas, visando otimizar o planejamento agrícola e a eficiência das aplicações (OLIVEIRA; FERREIRA; SENTELHAS, 2020; SILVA; OLIVEIRA; GANDOLFO, 2018).

3 METEOROLOGICAL RISK OF SPRAY DRIFT OCCURRENCE IN BRAZILIAN PESTICIDE APPLICATIONS ON AN HOURLY AND MONTHLY SCALE

Julio Roberto Pellenz^{1*}; Sidinei Zwick Radons¹; Aline Ulzefer Henck¹; Joelson Nadiel Haas¹; Patrícia Pivetta¹

*Julio Roberto Pellenz

jpellenz@uffs.edu.br

¹Federal University of Fronteira Sul

Av. Jacob Reinaldo Haupenthal, 1580

Cerro Largo, RS, Brazil

ABSTRACT

Brazil is among the countries with the highest consumption of pesticides in the world, with a high potential of harming non-target organisms, causing environmental and economic damage. Spray drift is one of the main causes of environmental contamination by pesticides, which can be intensified by adverse meteorological conditions such as wind speed, air temperature, relative humidity, and rainfall can favor the occurrence of spray drift. Based on favorable intervals for these variables, it is possible to estimate the time available for pesticide application, aiming to optimize the efficiency of the application and the use of equipment, as well as reduce the environmental impacts generated by spray drift. Meteorological data was obtained from the website of the National Institute of Meteorology from all automatic meteorological stations in Brazil, from which the risk of spray drift occurrence was estimated in each locality, as well as the influence of each meteorological factor on the risk composition. The risk values were grouped by Brazilian region, from which boxplot graphs were developed to verify their monthly and hourly variation. Studies evaluating the variation of meteorological risk of spray drift have not yet been published. The highest average risk was observed in the Northeast region, while the lowest average risk was observed in the North region. The monthly risk varied in all regions, which was higher in the months of August and September in the Central-West region. In the hourly analysis, a great risk variation was observed throughout the day, with the highest risk occurring at 14:00 and 15:00 hours (UTC -3) in all regions. The meteorological elements with the greatest influence in risk were high temperature in the North region, low relative humidity in the Northeast, Central-West and Southeast regions, and high wind velocity in the South region.

Keywords: Meteorological conditions. Environmental contamination. Monthly variation. Hourly variation.

3.1 INTRODUCTION

The Green Revolution has increased the food production in the last century, aiming to meet the demands of a growing population. As a result, there was a major transformation of natural ecosystems into agro-ecosystems, which have simpler ecological interactions and are more susceptible to pest attacks. In order to maintain high levels of productivity, it is necessary to control these pests, which is mostly done through the use of pesticides (OERKE, 2005).

According to FAO (FAOSTAT, 2022), Brazil was the second largest consumer of pesticides in 2020, only behind the United States. This is due to the large area used for agriculture in the country, with large production, and a climate favorable for pests development (MORAES, 2019).

In recent years, the greatest increases in productivity happened by reducing stress caused by pests on crops, rather than by increasing the ceiling of crop yields (CASSMAN, 1999). The occurrence of pests in crops is a phenomenon that happens due to the transformation of natural ecosystems into agro-ecosystems, which have simpler ecological relationships, making them more susceptible to pest attacks. Therefore, it is necessary to protect crops against pests to maintain high levels of productivity, being pesticides the most common tool used for this purpose (OERKE, 2005).

However, if used improperly, pesticides can be harmful to the environment and human health. They can affect non-target organisms, such as plants outside the application area, natural predators, soil organisms, pollinators, and aquatic organisms (BELCHIOR et al., 2014).

According to Andef (2010), the occurrence of spray drift during pesticide applications has been one of the main causes of environmental contamination by pesticides (Figure 2). In addition to the damage caused to the environment, spray drift can contaminate the pesticide applicator, generate economic losses for farmers, and lead to unsuccessful control of plants, pests or pathogens, requiring new applications to control them, thus enhancing the environmental damage.

Contiero, Biffe and Catapan (2018) say that adverse weather conditions can intensify the occurrence of spray drift during and after pesticide applications. According to Andef (2010), the ideal weather conditions for spraying are relative humidity (RH) above 55%, wind speed between 0.83 and 2.78 m s⁻¹ and air temperature below 30 °C. As for Enz, Hofman and Thostenson (2019), the risk of drift occurring when wind speed is below 0.83 m s⁻¹ only exists under conditions of thermal inversion, which must be evaluated at the site and time of application, and is not considered in the spraying activity due to the difficulty of verifying it (ABI SAAB, 2004). Therefore, based on these values and with access to a meteorological database, it is possible to estimate the quantity of favorable hours for pesticide application at each time and location, optimizing the efficiency of applications and the use of equipment (OLIVEIRA; FERREIRA; SENTELHAS, 2020; SILVA; OLIVEIRA; GANDOLFO, 2018).

Therefore, it is necessary to monitor these meteorological variables, seeking to identify the times of the day and months of the year with the greatest risk of occurrence of these adverse conditions, enabling to predict when the risk of spray drift occurrence is higher. This makes it possible to intensify the environmental monitoring during these moments, as well as optimize the sizing of agricultural equipment to avoid pesticide applications under spray drift risk conditions.

The aim of this study was to estimate and to compare the average climatic risk of spray drift occurrence in pesticide applications during different hours of the day and months of the year for each Brazilian region.

Figure 2 – Spray drift occurrence during pesticide application



Source: Gandolfo and Gandolfo (2020)

3.2 MATERIALS AND METHODS

Hourly meteorological data were obtained from the website of the National Institute of Meteorology (INMET). Data from automatic weather stations in the five Brazilian regions were downloaded, being 86 stations in the North region, 146 in the Northeast, 114 in the Central-West, 149 in the Southeast, and 94 in the South. The period of data collected was from the founding date of each station until 31/12/2021, with an average of 4,198 days analyzed per station. The top 5% of weather stations with the highest number of failures in the historical data were excluded, so only data from stations with less than 55% of failures were analyzed.

The data were organized in spreadsheets, where the hours with risk of spray drift occurrence were identified in the following variables and conditions: occurrence of rainfall, air

temperature greater than 30°C, relative humidity (RH) less than 55% and wind speed above 2.78 m s⁻¹, as established by Andef (2010). A risk value of 1 was assigned to records in these ranges and 0 for the others. To estimate the overall risk, it was considered that if any of these variables were in the risk range, it represented the occurrence of risk at that time. The sum of the times with risk in each of the meteorological variables and also of the overall risk was performed, which was divided by the total number of records, obtaining the overall risk values and the risk associated with each of the variables, for thereby identify the most important variable for risk occurrence at a given hour or month.

The data were grouped by Brazilian region, obtaining a spreadsheet with monthly data and another with hourly data. From the overall risk data, a boxplot analysis was performed to compare the hours of the day and months of the year in each region, using the Sigmaplot software. From the risk data for precipitation, temperature, relative humidity and wind speed, line and column charts were produced to identify the most influential variable in risk occurrence in each period and region. A statistical analysis was performed using the SASM-Agri software, using the Scott-Knott test at a 5% probability of error for mean comparison.

3.3 RESULTS AND DISCUSSION

A significant variation in risk was observed throughout the year in all regions, with a higher risk in the months of August and September in the North and Central-West regions, September and October in the Northeast region, September in the Southeast region, and from August to December in the South region (Table 2).

The Northeast region has the highest average annual risk, which was 48%. The region accounted for only 9.35% of pesticide consumption in 2020. In addition, the Northeast region had the lowest pesticide consumption per cultivated area, with 6 kg of active ingredient per hectare cultivated in 2020 (IBAMA, 2020; IBGE, 2022). Unlike the other regions, the Northeast region had a decrease in the cultivated area over the last 10 years, which was 6.09%. Despite this, pesticide sales increased by 98.29% between 2010 and 2020 (IBGE, 2022; IBAMA, 2020).

Table 2 – Mean monthly risk of pesticide drift occurrence in the five Brazilian regions.

Month	North	Northeast	Central-west	Southeast	South
January	0.28 d*	0.46 d	0.35 e	0.39 d	0.44 b
February	0.29 d	0.42 e	0.34 f	0.36 d	0.41 b
March	0.28 d	0.39 f	0.31 f	0.31 e	0.40 b
April	0.27 d	0.36 f	0.30 f	0.28 e	0.38 c
May	0.27 d	0.37 f	0.31 f	0.28 e	0.36 c
June	0.30 d	0.42 e	0.37 e	0.30 e	0.37 c
July	0.35 b	0.49 d	0.51 b	0.39 d	0.41 b
August	0.42 a	0.56 b	0.65 a	0.48 b	0.48 a
September	0.43 a	0.62 a	0.64 a	0.54 a	0.50 a
October	0.38 b	0.61 a	0.48 c	0.48 b	0.50 a
November	0.33 c	0.57 b	0.39 d	0.41 c	0.50 a
December	0.30 d	0.51 c	0.35 e	0.37 d	0.47 a
CV (%)	30.62	33.50	23.40	34.29	37.27

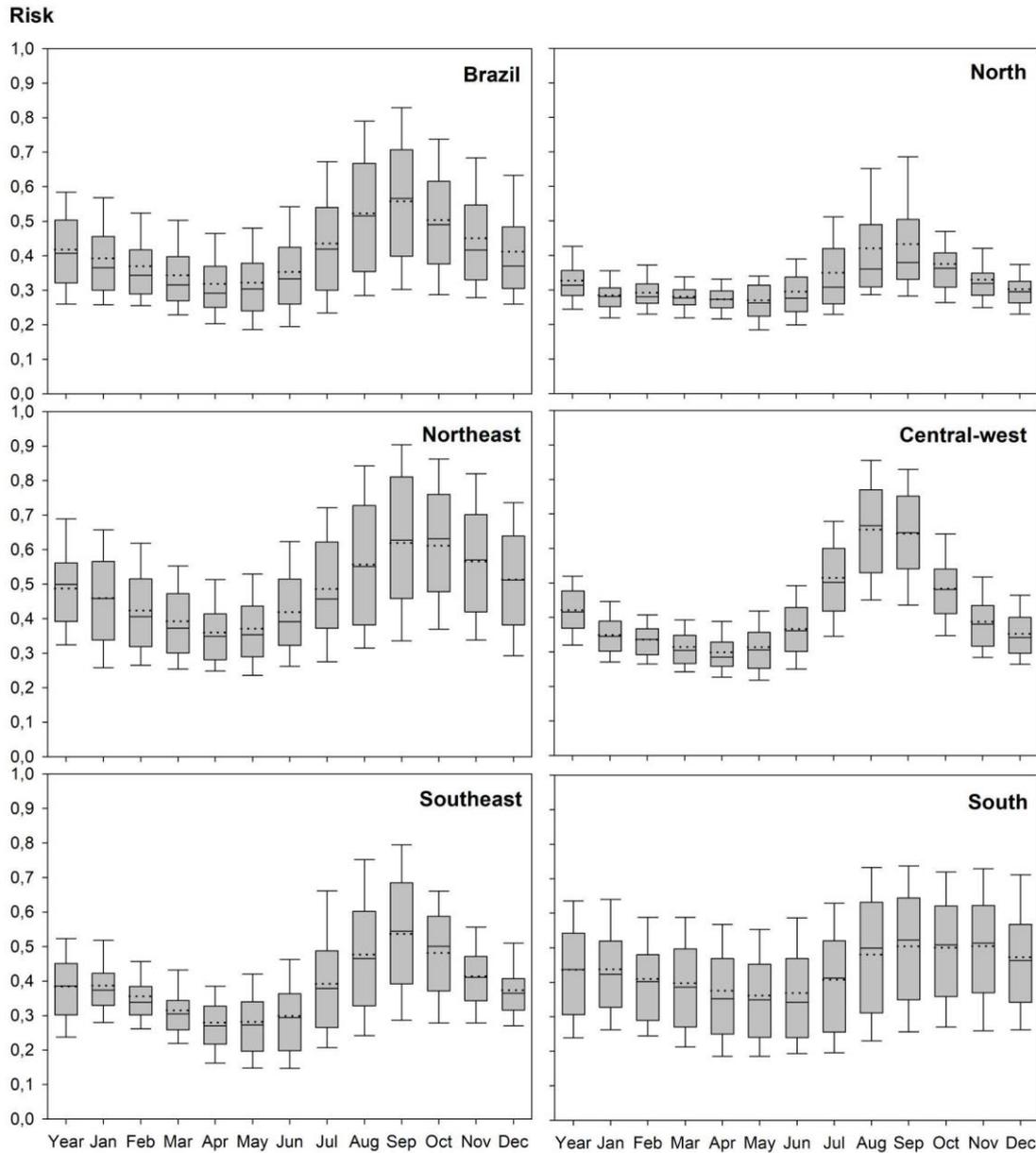
* Means followed by the same letter in the column do not differ statistically by the Scott-Knott test at a 5% significance level. CV = Coefficient of variation.

The highest monthly risk occurred in the Central-West region in August and September, being 65% and 64% of the analyzed hours, respectively, not statistically differing from each other. However, these months represent the end of the dry season in the region (INMET, 2022), when only irrigated crops are in development during this period. Thus, these months do not represent a high risk of environmental contamination. Central-West was also the region with the highest pesticide consumption in 2020 (IBAMA, 2020), using 34.58% of the products sold in Brazil. In addition, it was the region with the highest absolute growth in cultivated area over

the last decade, with 13 million more hectares cultivated in September 2022 than in September 2012 (IBGE, 2022), representing an increase of 63.32%.

The Northern region presented a constant risk from December to July, with an increase in the remaining months, reaching 42% and 43% in August and September, respectively (Figure 3). The region also had the lowest annual risk, which was 33% of the analyzed hours. This is the Brazilian region with the lowest pesticide consumption, accounting for only 5.03% of national consumption in 2020 (IBAMA, 2020). So there is currently a low potential for environmental contamination by spray drift. However, the Northern region is the Brazilian region with the highest expansion of the agricultural frontier. This expansion accounted for an increase of 66.41% in cultivated area over the last 10 years (IBGE, 2022). In addition, it is the second region with the highest pesticide consumption per area, with an average of 8.3 kg of active ingredient applied per hectare cultivated in 2020 (IBAMA, 2020; IBGE, 2022).

Figure 3 – Monthly and yearly risk of spray drift occurrence in pesticide applications on the Brazilian regions



The lower and upper ends of each boxplot represent the 5th and 95th percentiles of the data, respectively. The bottom and top of the rectangles represent the first and third quartiles, respectively. The line inside the rectangles represents the median, and the dotted line represents the mean of the data.

The South region shows a lower variation in the average risk throughout the year, with May being the month with the lowest value (36%) and September being the month with the

highest risk (50%). However, it is the region with the highest coefficient of variation, which means that there is greater variation around the mean, requiring more localized studies to obtain more accurate average values. The region is the second highest pesticide consumer, accounting for 22.54% of national consumption in 2020 (IBAMA, 2020). It is also the second region with the largest cultivated area, with 23.5 million hectares planted in 2022, representing an increase of 19.91% over the last decade (IBGE, 2022).

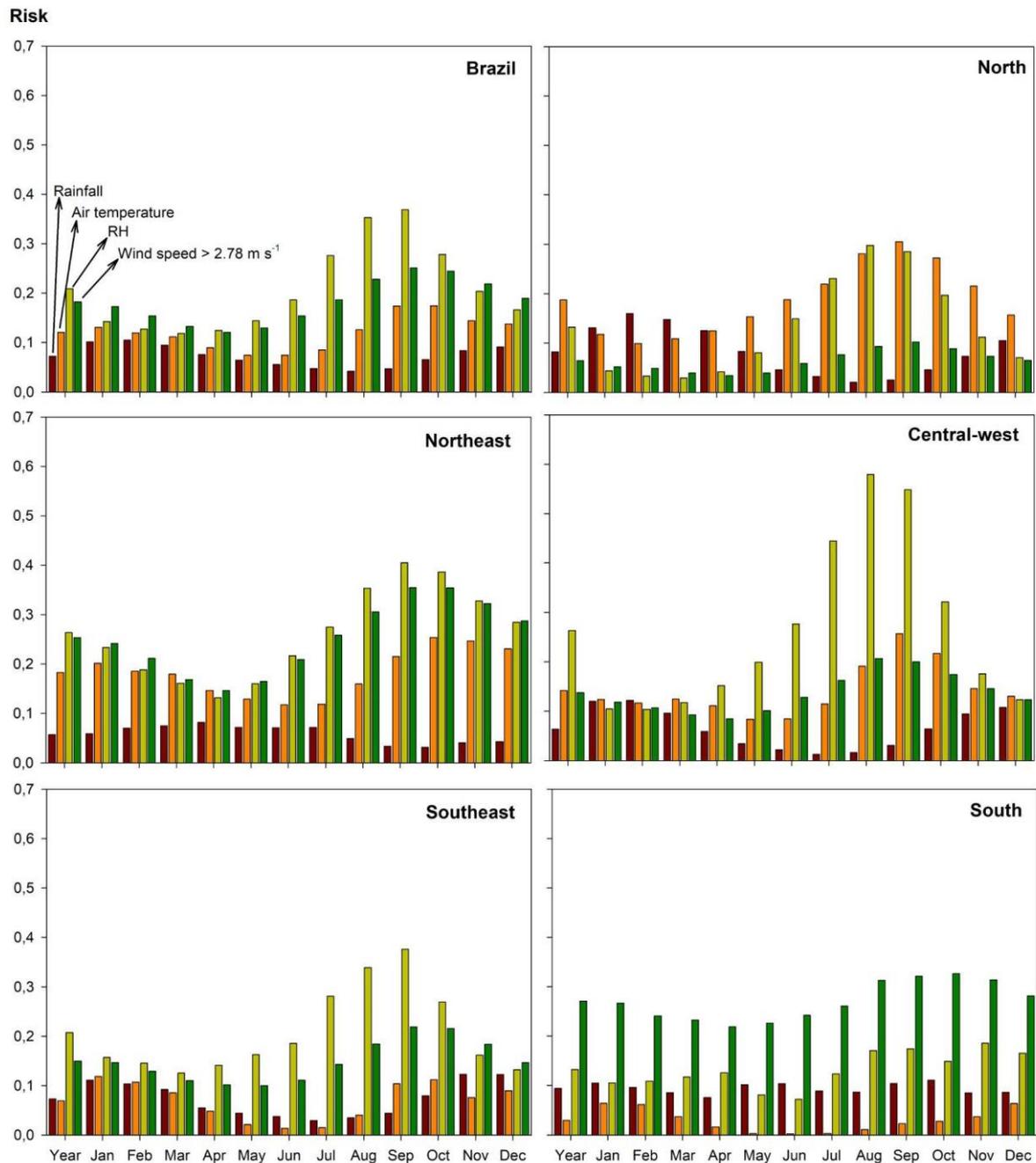
In the Southeast region, the annual average risk was 38%, with a variation throughout the year, with the highest value being in September (54%). The Southeast region consumed 20.95% of the pesticides sold in Brazil in 2020, being the third region with the highest consumption. Moreover, it is the region with the highest consumption per cultivated area, using an average of 9.7 kg of active ingredient per hectare in 2020 (IBAMA, 2020; IBGE, 2022).

In the North region, the factors with the greatest influence on the occurrence of risk were air temperature greater than 30°C and relative humidity below 55% (Figure 4). Low relative humidity, combined with high temperatures, favors the evaporation of spray droplets. As they lose part of their content through evaporation, the droplets become lighter, which reduces their sedimentation velocity. Once the sedimentation velocity of the droplets becomes lower than the wind speed, they are carried by the wind and do not reach the ground or the desired target (HOLTERMAN, 2003).

In the Central-West region, the factor with the greatest influence on the occurrence of risk was relative humidity below 55%. The risk due to low relative humidity is higher between July and September in this region. However, this period occurs within the dry season in the region, when the amount of pesticides applied is lower because only irrigated areas are under cultivation. These areas accounted for only 2.6% of the cultivated area in the Central-West region in 2017 (ANA, 2021; IBGE, 2022).

In the Northeast and Southeast regions, the predominant factors for the occurrence of risk were relative humidity below 55% and wind speed above 2.78 m s⁻¹. In the South region, the main factor was wind speed above 2.78 m s⁻¹. High wind speeds cause the displacement of a larger quantity of spray drops over longer distances, due to the greater drag caused by more intense air currents (KRUGER et al., 2019).

Figure 4 – Influence of meteorological elements on the spray drift risk composition in the Brazilian regions



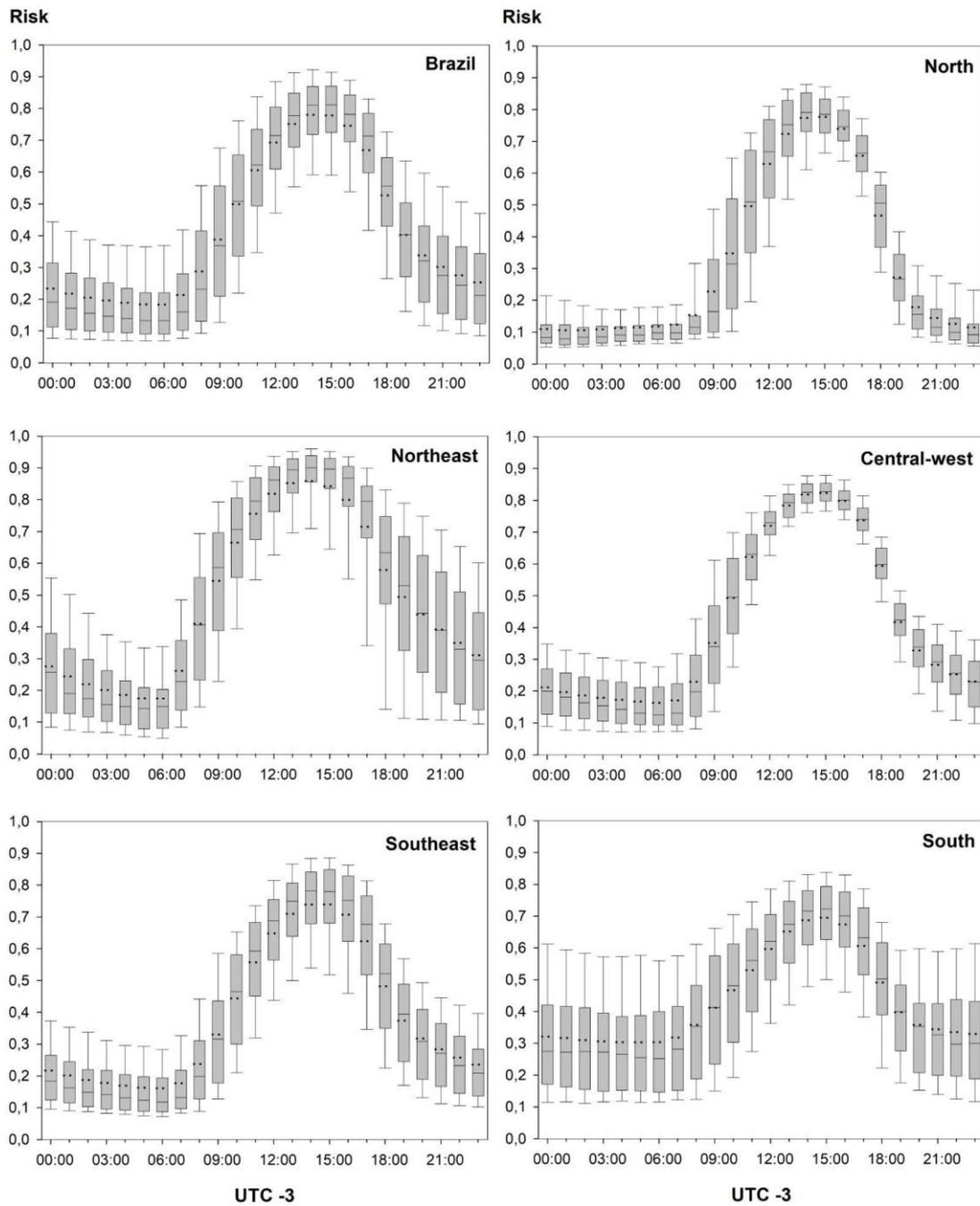
In the hourly analysis of spray drift risk occurrence, differences are also observed between hours, with the highest risk occurring at 14:00 and 15:00 hours Universal Time Coordinated -03:00 hours (UTC -3) in all regions (Table 3). According to Varejão-Silva (2006), the hottest hours of the day occur about two hours after the culmination of the Sun, which coincides with the hours with the highest risk of drift occurrence (Figure 5).

Table 3 – Mean hourly risk of pesticide drift occurrence in the five Brazilian regions.

Time (UTC -3)	North	Northeast	Central-west	Southeast	South
00:00	0.11 i*	0.28 k	0.21 k	0.22 j	0.32 f
01:00	0.11 i	0.24 k	0.20 l	0.20 j	0.32 f
02:00	0.11 i	0.22 l	0.19 l	0.19 k	0.31 f
03:00	0.11 i	0.20 l	0.18 l	0.18 k	0.31 f
04:00	0.11 i	0.19 l	0.17 l	0.17 k	0.30 f
05:00	0.12 i	0.18 l	0.17 l	0.16 k	0.30 f
06:00	0.12 i	0.18 l	0.16 l	0.16 k	0.30 f
07:00	0.12 i	0.26 k	0.17 l	0.18 k	0.32 f
08:00	0.15 h	0.41 h	0.23 k	0.24 j	0.36 f
09:00	0.23 g	0.54 e	0.35 h	0.33 h	0.41 e
10:00	0.35 e	0.66 d	0.49 f	0.44 f	0.47 d
11:00	0.50 d	0.76 c	0.62 d	0.56 d	0.53 c
12:00	0.63 c	0.82 b	0.72 c	0.65 c	0.60 b
13:00	0.72 b	0.85 a	0.78 b	0.71 b	0.65 a
14:00	0.77 a	0.86 a	0.82 a	0.74 a	0.69 a
15:00	0.78 a	0.84 a	0.82 a	0.74 a	0.70 a
16:00	0.74 b	0.80 b	0.80 b	0.71 b	0.67 a
17:00	0.65 c	0.71 c	0.74 c	0.62 c	0.61 b
18:00	0.47 d	0.58 e	0.59 e	0.48 e	0.49 c
19:00	0.27 f	0.49 f	0.42 g	0.37 g	0.40 e
20:00	0.18 h	0.44 g	0.33 h	0.32 h	0.36 f
21:00	0.14 h	0.39 h	0.28 i	0.28 i	0.34 f
22:00	0.13 i	0.35 i	0.25 j	0.26 i	0.34 f
23:00	0.12 i	0.31 j	0.23 k	0.24 j	0.33 f
CV (%)	34.98	36.76	23.28	38.46	39.62

* Means followed by the same letter in the column do not differ statistically by the Scott-Knott test at a 5% significance level. CV = Coefficient of variation.

Figure 5 - Hourly risk of spray drift occurrence in pesticide applications on the Brazilian regions



The lower and upper ends of each boxplot represent the 5th and 95th percentiles of the data, respectively. The bottom and top of the rectangles represent the 1st and 3rd quartiles, respectively. The line inside the rectangles represents the median, and the dotted line represents the mean of the data.

Figure 6 shows an increase in risk due to temperatures above 30°C during these hours, which is the factor with the greatest influence on drift risk occurrence in the North region.

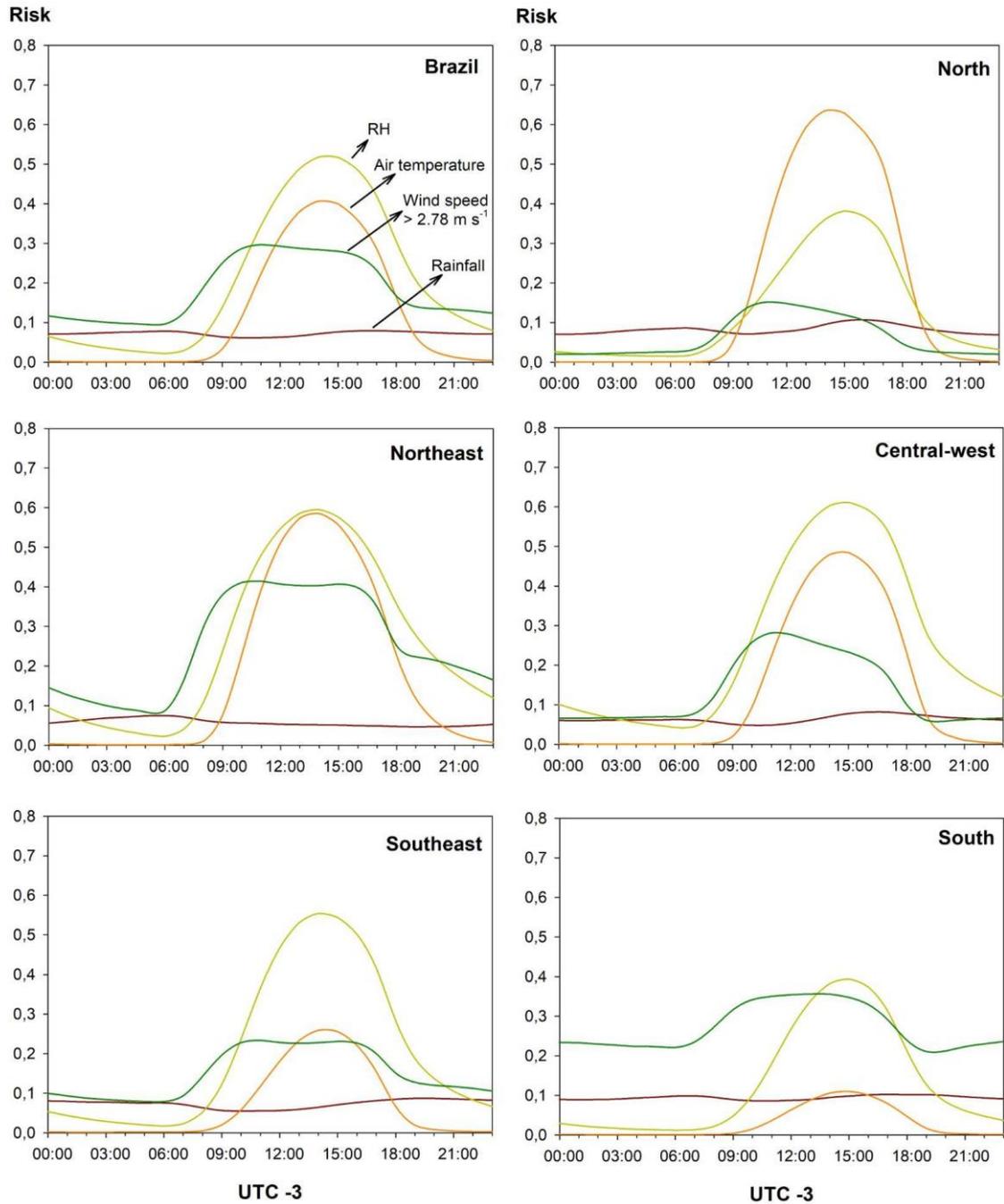
However, in the Northeast, Central-West, and Southeast regions, the factor with the greatest influence on spray drift risk occurrence is relative humidity below 55%. This occurs because relative humidity has an inverse relationship with air temperature, causing it to decrease as air temperature increases, both factors favoring the risk of spray drift occurrence (VAREJÃO-SILVA, 2006). In the South region, in addition to low relative humidity, wind speed above 2.78 m s⁻¹ is also relevant in the composition of spray drift risk occurrence.

In a study conducted in the state of Rio Grande do Sul, Radons et al. (2022) pointed out that wind speed, both below 0.83 m s⁻¹ and above 2.78 m s⁻¹, was the factor that most favored the occurrence of spray drift risk. Wind speed above 2.78 m s⁻¹ was also the factor with the greatest influence on the risk occurrence in this study on the South regions, where this state is located, while wind speed below 0.83 m s⁻¹ was not considered. Wind speed was also the factor pointed out by Silva, Oliveira, and Gandolfo (2018) as the most critical factor for pesticide spraying in a study conducted in the state of Paraná, also in the South region.

Oliveira, Ferreira and Sentelhas (2020) pointed out wind speed as the most limiting factor for pesticide application in the municipality of Coruripe, located in the Northeast region. However, we see that this municipality is not representative of the Northeast region, as only a part of the year presents wind speed as the most limiting factor for spray drift risk in this region. In the municipalities of Morro Agudo and Uberaba, both in the Southeast region, the most limiting factors were the occurrence of precipitation and relative humidity below 55%, while in this study, the most limiting factor for the Southeast region was relative humidity below 55%. For the municipality of Rio Brilhante, the authors identified temperature above 30°C and relative humidity below 55% as the most limiting factors, which was also identified in this study for the Central-West region, where the municipality is located.

However, these studies analyzed the favorable meteorological conditions for pesticide application, aiming to optimize equipment sizing and reduce agricultural activity costs. There are no studies in the literature on these conditions seeking to assess the risk of spray drift occurrence in pesticide applications, aiming to identify the moments and locations with the greatest potential for environmental contamination by drift. In addition, published studies are at the state or municipality level, with no studies at regional or country level. There are still no studies for the North region, where the most of the Brazilian Amazon biome is located, which have a great biodiversity and provide important ecosystem services (IBGE, 2023).

Figure 6 - Influence of meteorological elements on the hourly spray drift risk composition in the Brazilian regions



3.4 CONCLUSION

This study is the first in the literature to show the variation of the risk of pesticide spray drift occurrence due to meteorological variables.

The region with the highest average risk of drift occurrence was the Northeast region (48%), while the North region had the lowest index (33%).

The months with the highest occurrence of drift were August and September for the North and Central-West regions, September and October for the Northeast region, September for the Southeast region, and August to December in the South region.

In the monthly analysis, it was observed that the meteorological elements with the greatest influence on the risk were high air temperature for the North region, low relative humidity for the Northeast, Central-West and Southeast regions, and high wind speed in the South region.

The hours with the highest risk of drift occurrence were 14:00 and 15:00 hours (UTC - 3). The main factors influencing the risk of spray drift occurrence in the hourly analysis were high air temperature in the North region, low relative humidity in the Northeast, Central-West, and Southeast regions, and high wind speed in the South region.

Authors' contributions

Study conception and design were made by JRP and SZR. Data collection and analysis were performed by JRP, AUH, JNH and PP. The manuscript was written by JRP and revised by SZR. All authors read and approved the final manuscript.

Funding

No funding resources were used for this research.

Data availability

The datasets generated during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

DECLARATIONS

Ethics approval: Not applicable.

Consent to participate: Not applicable.

Consent for publication: Not applicable.

Competing interests: The authors declare no competing interests.

REFERENCES

ABI SAAB, O. J. G. Indicador de velocidade do vento. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 25, n. 1, p. 21-26, jan./mar. 2004.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. 2. ed. Brasília: ANA, 2021. 130 p.

ANDEF – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DEFESA VEGETAL. **Manual de Tecnologia de Aplicação de Produtos Fitossanitários**. Campinas: Linea Creativa, 2010. 52 p.

BELCHIOR, D. C. V.; SARAIVA, A. S.; LÓPEZ, A. M. C.; SCHEIDT, G. N. Impactos de Agrotóxicos Sobre o Meio Ambiente e a Saúde Humana. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 34, n. 1, p. 135-151, jan./apr. 2014.

CASSMAN, K. G. Ecological intensification of cereal production systems: Yield potential, soil quality, and precision agriculture. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA**, v. 96, n. 1, p. 5952-5959, may 1999. <https://doi.org/10.1073/pnas.96.11.5952>

CONTIERO, R.L.; BIFFE, D.F.; CATAPAN, V. Tecnologia de Aplicação. In: BRANDÃO FILHO, J.U.T.; FREITAS, P.S.L.; BERIAN, L.O.S.; GOTO, R. **Hortaliças-fruto**. Maringá: EDUEM, 2018, p. 401-449. ISBN: 978-65-86383-01-0.

ENZ, J. W.; HOFMAN, V.; THOSTENSON, A. **Air Temperature Inversions: causes, characteristics and potential effects on pesticide spray drift**. Fargo, United States: North Dakota State University, 2019. 20 p.

FAOSTAT – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS: STATISTICAL DIVISION. **Pesticides Use.**

<http://www.fao.org/faostat/en/#data/RP/visualize>. Accessed 22 sep. 2022.

GANDOLFO, M. A.; GANDOLFO, U. D. Como evitar a deriva na pulverização. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, v. 164, jun. 2020.

HOLTERMAN, H. J. **Kinetics and evaporation of water drops in air.** Wageningen: IMAG, 2003.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Biomás Brasileiros.** <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/territorio/18307-biomas-brasileiros.html#:~:text=O%20Bioma%20Amaz%20ocupa%20cerca,%20e%20grandes%20reservas%20minerais>. Accessed 07 feb. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola.** <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6588#notas-tabela> Accessed 14 oct. 2022.

IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Relatórios de comercialização de agrotóxicos.** <http://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-deagrotoxicos#boletinsanuais> . Accessed 31 may 2021.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Clima:** normais climatológicas do Brasil. https://clima.inmet.gov.br/NormaisClimatologicas/1961-1990/precipitacao_acumulada_mensal_anual . Accessed 26 oct. 2022.

KRUGER, G. R.; KLEIN, R. N.; OGG, C. L.; VIEIRA, B. C. Spray Drift of Pesticides. Nebraska Extension, 2019.

MORAES, R. F. **Agrotóxicos no Brasil:** Padrões de uso, política da regulação e prevenção da captura regulatória. Brasília: Ipea, 2019.

OERKE, E. C. Crop losses to pests. **The Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 144, p. 31-43, 9 dez. 2005. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1017/s0021859605005708> .

OLIVEIRA, F. S.; FERREIRA, M.; SENTELHAS, P. C. Favorabilidade para a aplicação de herbicidas na cultura da cana-de-açúcar com base em critérios agrometeorológicos.

Agrometeoros, v. 28, n. 1, p. 1-10, 1 dec. 2020. AGROMETEOROS.

<http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v28.e026749>.

RADONS, S.Z.; HELDWEIN, A.B.; SILVA, J.R.; SILVA, A.V.; SCHEPKE, E.; LUCAS, D.D.P. Weather conditions favorable for agricultural spraying in Rio Grande do Sul State.

Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 26, n. 1, p. 36-43, jan. 2022.

FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n1p36-43>.

SILVA, A. F.; OLIVEIRA, R. B.; GANDOLFO, M. A. Mapping of the time available for application of pesticides in the state of Paraná, Brazil. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 40, n. 1, p. 1-7, 1 aug. 2018. Universidade Estadual de Maringá.

<http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v40i1.39421> .

4 RISCO CLIMÁTICO ESPACIAL DE OCORRÊNCIA DE DERIVA EM APLICAÇÕES DE PESTICIDAS NO BRASIL

Resumo

Para atender à crescente demanda mundial por alimentos, é necessário um aumento da produção agrícola, o que em muitos casos só é possível com o uso de pesticidas. O Brasil está entre os países com maior uso de pesticidas, devido à grande produção agrícola e condições climáticas que permitem o cultivo de até 3 safras por ano. Apesar de serem importantes para manterem produções agrícolas satisfatórias, os pesticidas podem atingir organismos não-alvo quando usados incorretamente, gerando prejuízos econômicos e ambientais. Condições meteorológicas adversas podem favorecer a ocorrência de deriva durante as aplicações, o que tem sido uma das principais causas de contaminação ambiental por pesticidas. O objetivo deste trabalho foi compreender a distribuição espacial do risco de ocorrência de deriva em aplicações de pesticidas em diferentes horários do dia e meses do ano para no território brasileiro. Os dados meteorológicos foram coletados das estações automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Foi estimada a média mensal e horária do risco de ocorrência de deriva para cada localidade, a partir das quais foram gerados mapas no software QGIS, usando-se a ferramenta de interpolação IDW para estimar o risco nos pontos não-amostrados. O risco médio de ocorrência de deriva ficou entre 60 e 80% em 94% do território brasileiro. O mês de agosto foi o mês com maior risco de ocorrência de deriva no Brasil, com 57% do território com risco acima de 80%. Os horários com maior risco de ocorrência de deriva foram entre as 15:00 e 20:00 horas UTC, quando 90% do território brasileiro ficou com risco acima de 70%.

Palavras-chave: Condições meteorológicas. Contaminação ambiental. Interpolação IDW.

Abstract

To meet the growing global demand for food, an increase in agricultural production is necessary, which in many cases is only possible with the use of pesticides. Brazil is among the countries with the highest pesticide use, due to its large agricultural production and favorable climate conditions that allow up to three crop seasons per year. Despite being important to maintain satisfactory agricultural yields, pesticides can affect non-target organisms when used incorrectly, generating economic and environmental damage. Adverse weather conditions can favor spray drift occurrence during applications, which has been one of the main causes of environmental contamination by pesticides. The aim of this study was to understand the spatial distribution of the risk of spray drift occurrence in pesticide applications at different times of

the day and months of the year in the Brazilian territory. Meteorological data were collected from weather stations of the National Institute of Meteorology (INMET). The monthly and hourly average of the risk of spray drift occurrence was estimated for each location, from which maps were generated in the QGIS software, using the IDW interpolation tool to estimate the risk in non-sampled locations. The average risk of spray drift occurrence ranged from 60 to 80% in 94% of the Brazilian territory. August was the month with the highest risk of spray drift occurrence in Brazil, with 57% of the territory at risk above 80%. The hours with the highest risk of spray drift occurrence were between 15:00 and 20:00 UTC, when 90% of the Brazilian territory was at risk above 70%.

Key-words: Meteorological conditions. Environmental contamination. IDW interpolation.

4.2 INTRODUÇÃO

Desde o fim da segunda guerra mundial, a agricultura passou por uma intensificação significativa devido ao aumento na demanda por alimentos. Esse processo, conhecido como Revolução Verde, propôs um uso intenso de insumos externos, dentre eles, pesticidas (DEGUINE *et al.*, 2021).

O Brasil foi o 2º maior consumidor de pesticidas no mundo em 2020, ficando atrás apenas dos Estados Unidos (EUA) (FAOSTAT, 2022). Os fatores que justificam essa posição são a grande extensão de área destinada à produção agrícola, grande quantidade de produtos agrícolas produzidos e condições climáticas que permitem o cultivo de até três safras por ano (LANGENBACH; CALDAS, 2017).

As vendas de pesticidas no Brasil tiveram um aumento de 322% nos últimos 20 anos, aumentando de 162.462 toneladas de ingrediente ativo no ano de 2000 para 685.745 toneladas em 2020. Os estados com maior participação nesse total em 2020 foram Mato Grosso (19,44%), São Paulo (12,97%), Paraná (10,36%) e Rio Grande do Sul (10,17%) enquanto estados como Amazonas, Amapá, Roraima, Rio Grande do Norte e Rio de Janeiro contribuíram com menos de 0,1% do total (IBAMA, 2020).

Além de controlar as pragas, doenças e plantas daninhas, os pesticidas também podem atingir organismos não alvos, como inimigos naturais, organismos edáficos, polinizadores e

organismos presentes em ecossistemas aquáticos, causando um desequilíbrio ambiental e problemas à saúde humana (BELCHIOR *et al.*, 2014).

Uma das principais causas da contaminação ambiental por pesticidas é a ocorrência de deriva durante as pulverizações agrícolas, podendo gerar também a contaminação do aplicador e insucesso no controle. Este fenômeno pode ocorrer pela ação do vento, escoamento ou volatilização do produto (ANDEF, 2010).

Segundo Contiero, Biffe e Catapan (2018), a ocorrência de deriva pode resultar em subdosagem do produto, tornando o controle ineficaz, podendo ser necessária uma nova aplicação, assim como necessidade de aumento da dosagem para compensar as perdas. Nestes casos, a quantidade de pesticidas necessária é maior, agravando ainda mais os problemas ambientais gerados pela ocorrência de deriva.

Condições meteorológicas adversas, como alta temperatura do ar, baixa umidade relativa do ar, velocidade do vento alta e ocorrência de precipitação podem favorecer a ocorrência de deriva durante e após as aplicações de pesticidas (KRUGER; ANTUNIASSI, 2019). Com base em intervalos favoráveis dessas variáveis, é possível estimar o tempo disponível para aplicação de pesticidas, visando otimizar o uso de equipamentos e a eficiência da aplicação, assim como reduzir os danos ambientais ocasionados pela deriva (OLIVEIRA; FERREIRA; SENTELHAS, 2020; SILVA; OLIVEIRA; GANDOLFO, 2018).

A análise da distribuição espacial de uma variável permite um melhor diagnóstico das regiões que necessitam de uma maior atenção, podendo-se intensificar as ações de monitoramento ambiental e mitigação dos impactos nessas regiões (SILVA; OLIVEIRA; GANDOLFO, 2018). O uso de técnicas de interpolação permite estimar o valor de uma variável em locais não amostrados, possibilitando a análise em área total da variável estudada (ALVES, 2011). Segundo Silva, Caiado e Caiado (2013), o método de interpolação IDW (Inverse Distance Weight) realiza uma estimativa da variável ao longo do espaço, ponderando pesos para cada ponto estimado em função do inverso do quadrado da distância do ponto amostrado, e vem sendo amplamente utilizado para estimativa de variáveis meteorológicas, como a precipitação, apresentando coeficiente de eficiência apropriado na comparação entre dados interpolados e medidos.

Assim, se faz necessária a realização de estimativas do comportamento espacial do risco de ocorrência de deriva ao longo do dia e do ano, buscando identificar os locais e períodos mais

críticos, para assim intensificar o monitoramento ambiental nestes períodos. Também, otimizar o dimensionamento de equipamentos agrícolas para trabalhar com um número adequado, segundo o cultivo e época do ano.

O objetivo deste trabalho foi calcular a distribuição espacial do risco de ocorrência de deriva em aplicações de pesticidas durante os horários do dia e meses do ano para o território brasileiro.

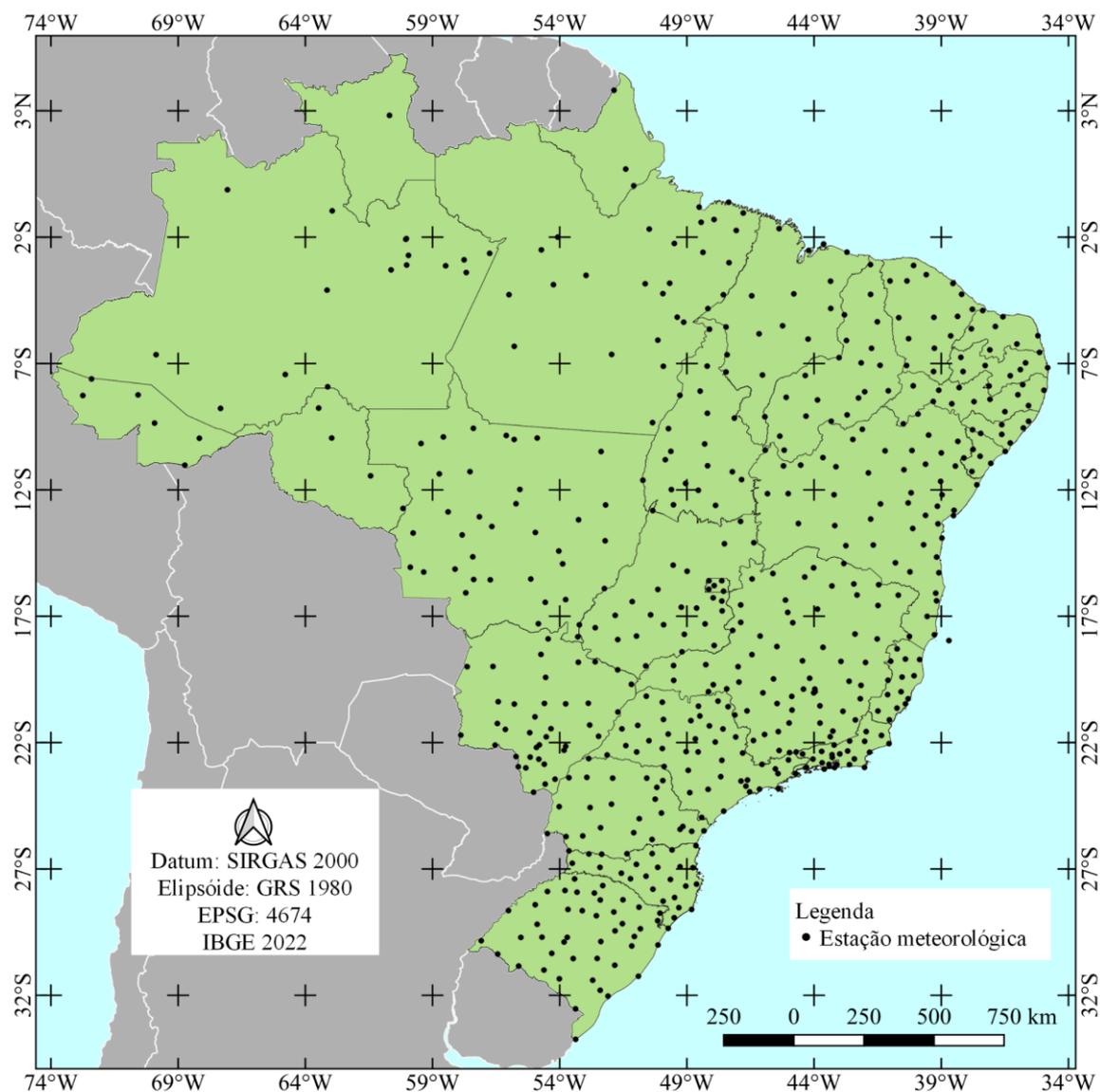
4.3 MATERIAL E MÉTODOS

Para realização do trabalho foram utilizados os dados meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), utilizando-se os dados das 589 estações meteorológicas automáticas do instituto, distribuídas em todo o território brasileiro (Figura 7), com 86 estações na região Norte, 146 na região Nordeste, 114 na região Centro-Oeste, 149 na região Sudeste e 94 na região Sul. O período coletado foi desde a data de fundação da estação até o dia 31/12/2021, com uma média de 4.198 dias por estação. Posteriormente, foi excluído o percentil de 5% das estações meteorológicas com menor quantidade de registros na série histórica. Assim, não foram analisados os dados das estações com alto índice de falhas ou com instalação recente.

O cálculo do risco de ocorrência de deriva foi realizado em planilhas eletrônicas, onde foram separados os dados com as seguintes condições: ocorrência de precipitação, temperatura do ar $> 30\text{ }^{\circ}\text{C}$, umidade relativa do ar (UR) $< 55\%$ e velocidade do vento $< 0,83\text{ m s}^{-1}$ e $> 2,78\text{ m s}^{-1}$, as quais são favoráveis para ocorrência de deriva segundo Andef (2010). Registros com uma ou mais destas condições foram considerados como risco para ocorrência de deriva, sendo contabilizado como 1, os quais foram somados e divididos pelo total de registros válidos no período e local, para obtenção do valor do risco em porcentagem.

Os dados mensais e horários para cada localidade foram compilados, a partir dos quais foram elaborados mapas no software QGIS com os valores obtidos para cada estação, para visualizar a variação espacial do risco nos períodos analisados. Para elaboração dos mapas foi usada a base cartográfica do IBGE (2022). Para interpolação dos dados foi utilizada a interpolação IDW, ferramenta disponível no software QGIS, usando-se um coeficiente P igual a 2, permitindo estimar valores para as coordenadas onde não existem estações meteorológicas para coleta dos dados.

Figura 7 - Localização das estações meteorológicas automáticas do INMET



Para o cálculo da área de abrangência de cada faixa de risco, foi emitido um relatório com os valores de risco de cada pixel do mapa. Foram contados os pixels dentro de cada faixa de risco, e esse valor foi dividido pelo total de pixels da imagem, dando um valor em porcentagem.

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

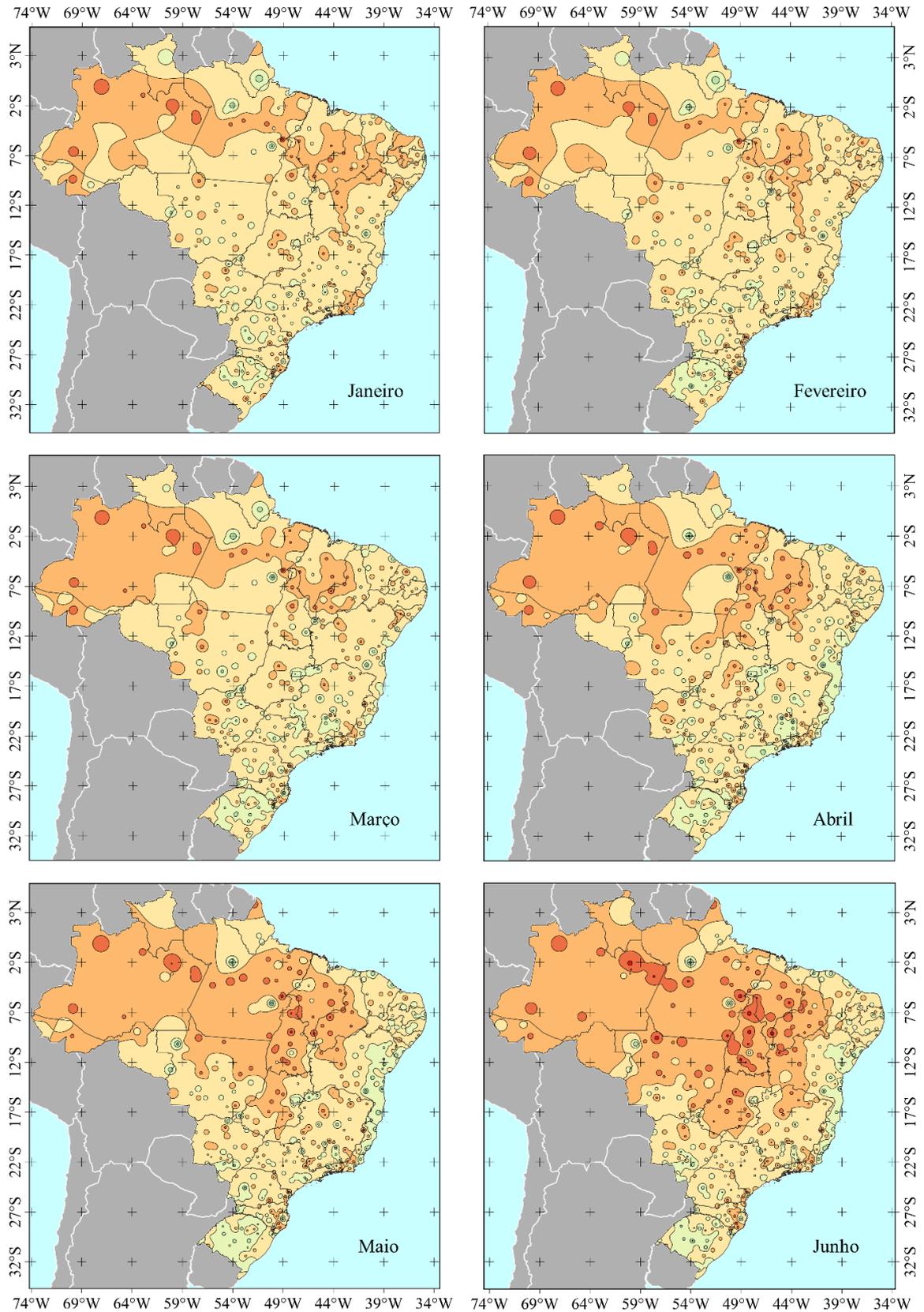
Mais de 90% do território brasileiro se encontra numa faixa de risco de ocorrência de deriva acima de 60% ao longo do ano (Tabela 4), o que gera uma grande preocupação do ponto

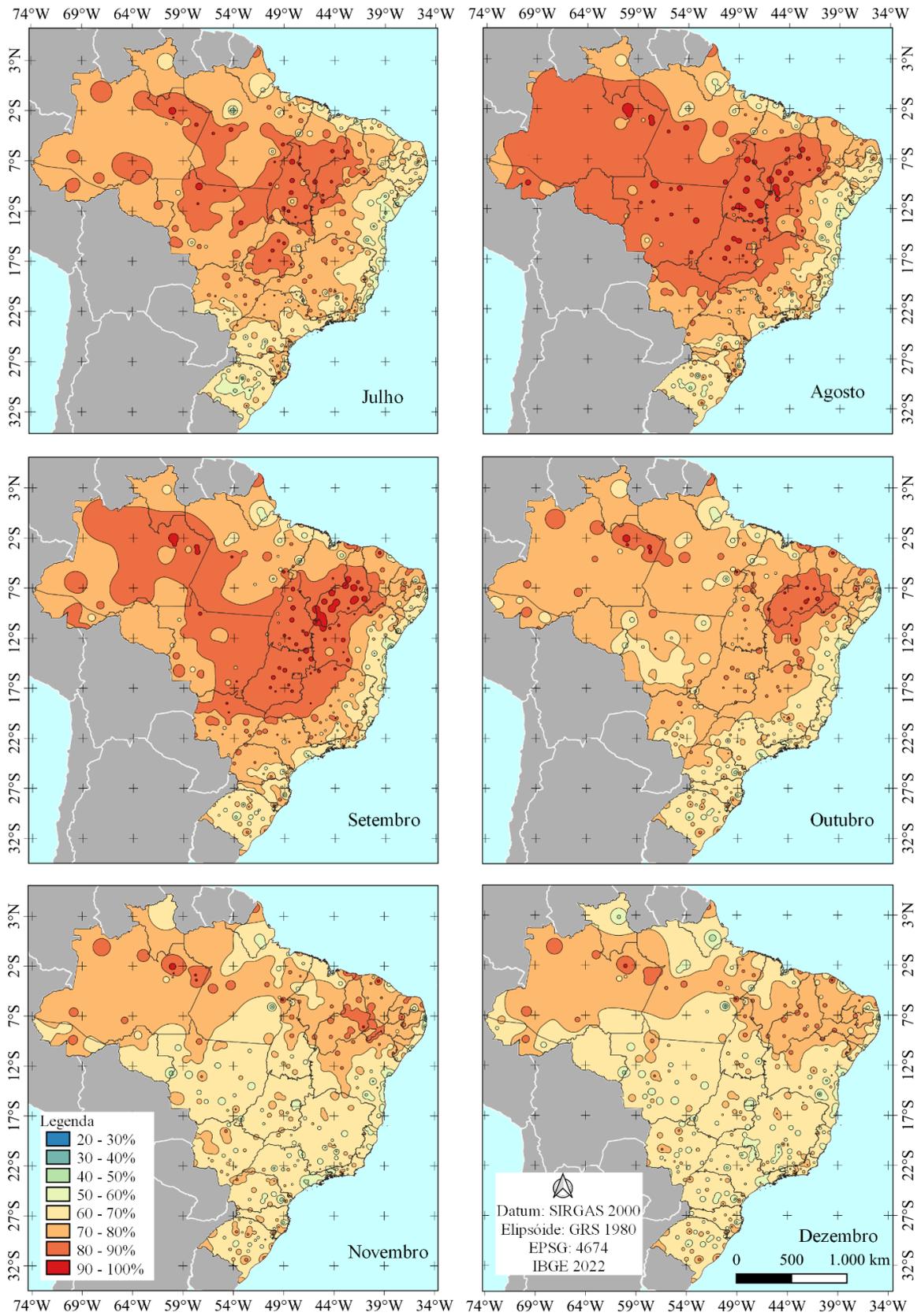
de vista ambiental, considerando o grande volume de pesticidas utilizado no país. Vemos ainda que esse risco é intensificado no mês de agosto, quando a maior parte do território dos estados Goiás, Mato Grosso, Rondônia, Amazonas, Tocantins e Piauí se encontram numa faixa de risco acima de 80%, o que representa 57% do território (Figura 8). O menor risco de ocorrência de deriva ocorre nos meses de janeiro e fevereiro, quando menos de 30% do território apresentou risco acima de 70%, porém nos estados do Rio Grande do Sul, Espírito Santo e leste da Bahia o menor risco ocorre no mês de maio. Nestes últimos, apesar de apresentarem um risco menor, o mesmo ainda se situa acima de 50% na maior parte do território.

Tabela 4 – Área (% em relação ao total do país) de abrangência de diferentes níveis de risco (%) de ocorrência de deriva em aplicações de pesticidas nos meses do ano no Brasil

Meses	30 - 40%	40 - 50%	50 - 60%	60 - 70%	70 - 80%	80 - 90%	90 - 100%
Janeiro	0,01%	0,26%	5,08%	65,45%	28,11%	1,08%	0,01%
Fevereiro	0,01%	0,31%	6,43%	67,36%	24,81%	1,06%	0,01%
Março	0,01%	0,41%	7,65%	61,35%	29,41%	1,16%	0,01%
Abril	0,04%	0,50%	8,98%	50,50%	38,29%	1,69%	0,01%
Maiο	0,04%	0,60%	8,54%	42,34%	45,96%	2,50%	0,03%
Junho	0,02%	0,47%	6,20%	31,29%	56,11%	5,77%	0,15%
Julho	0,00%	0,20%	2,85%	18,06%	55,43%	22,99%	0,47%
Agosto	0,00%	0,11%	1,70%	12,81%	28,12%	55,80%	1,46%
Setembro	0,01%	0,10%	1,22%	11,93%	43,16%	42,21%	1,37%
Outubro	0,02%	0,10%	1,63%	23,29%	66,25%	8,48%	0,24%
Novembro	0,01%	0,18%	2,88%	50,23%	42,84%	3,77%	0,09%
Dezembro	0,01%	0,22%	4,44%	58,85%	34,56%	1,89%	0,03%

Figura 8 - Risco médio mensal (%) de ocorrência de deriva em aplicações de pesticidas no Brasil





Segundo relatório do Ibama (2020), os estados com maior consumo de pesticidas no ano de 2020 foram Mato Grosso, São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul. Já em relação ao consumo de pesticidas por área, os estados com maior consumo em 2020 foram Acre, Rondônia e São Paulo (IBAMA, 2020; IBGE, 2022). Destes estados, Mato Grosso e Rondônia apresentam risco mais alto no período de julho a setembro, que corresponde ao período seco na região (MARCUIZZO; CARDOSO; FARIA, 2012), havendo poucas áreas com culturas implantadas nesse período e, conseqüentemente, uma menor frequência de aplicações de pesticidas. Além disso, o principal fator responsável pela ocorrência de deriva nestes estados é a velocidade do vento abaixo de $0,83 \text{ m s}^{-1}$, que somente causa deriva em momentos de inversão térmica, devendo ser avaliada a situação no momento da aplicação.

No Rio Grande do Sul, observa-se uma redução do risco entre os meses de março e maio. Esse período situa-se entre a colheita da safra de verão e plantio da safra de inverno (CONAB, 2019), momento em que muitas lavouras são mantidas em pousio, havendo uma menor frequência de aplicações de pesticidas nesse período, as quais ficam concentradas nos cultivos de inverno e verão, em momentos onde o risco de ocorrência de deriva é maior no estado. Uma alternativa para contornar essa situação seria o uso de um esquema de rotação de culturas que incluísse algum cultivo comercial durante esse período de pousio, o que permitiria que a aplicação de pesticidas fosse realizada num período do ano com menor risco de deriva, otimizando ainda o uso de mão de obra e de equipamentos (SOUZA *et al.*, 2012).

Radons *et al.* (2022), em estudo realizado no Rio Grande do Sul, encontraram menor risco de ocorrência de deriva nos meses de maio e junho, conforme observado também neste trabalho para este estado. Porém, os autores não observaram diferenças significativas para o risco entre os meses do ano. Segundo os autores, o fator com maior contribuição para ocorrência de deriva neste estado foi a velocidade do vento acima de $2,78 \text{ m s}^{-1}$.

Em estudo realizado no estado do Paraná, Silva, Oliveira e Gandolfo (2018) observaram um risco de ocorrência de deriva acima de 60% em todos os meses do ano. O estudo corrobora com o que foi observado neste trabalho, onde a maior parte do estado também se encontra nessa faixa de risco. Os autores identificaram que existe uma dependência espacial no tempo disponível para aplicação de pesticidas em função do mês do ano.

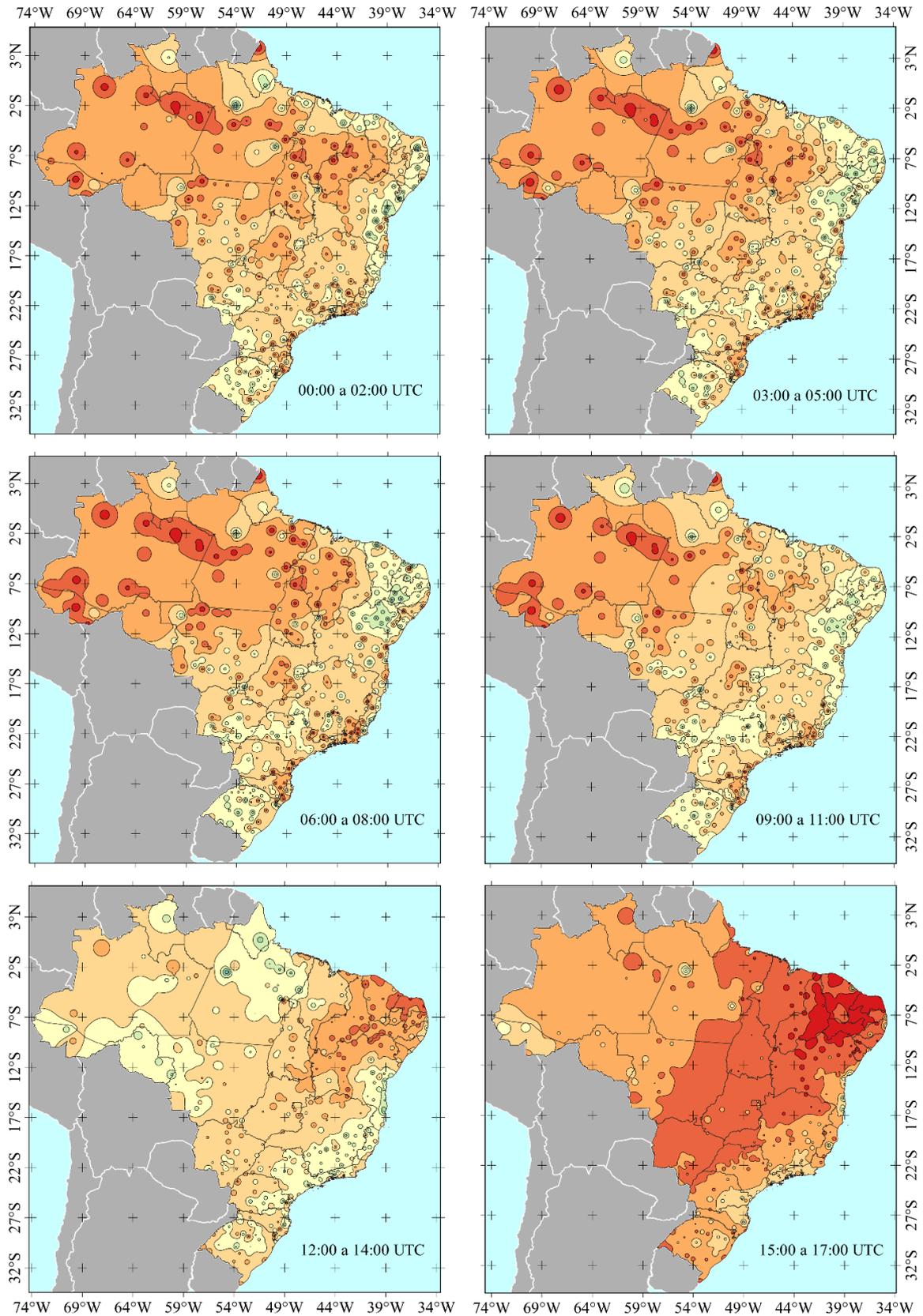
Na análise dos mapas horários, observa-se que os maiores valores de risco de ocorrência de deriva ocorrem no período de 15:00 a 20:00 horas UTC (Tabela 5), onde mais de 90% do território brasileiro apresentou risco acima de 70%. Já os menores valores de risco ocorrem

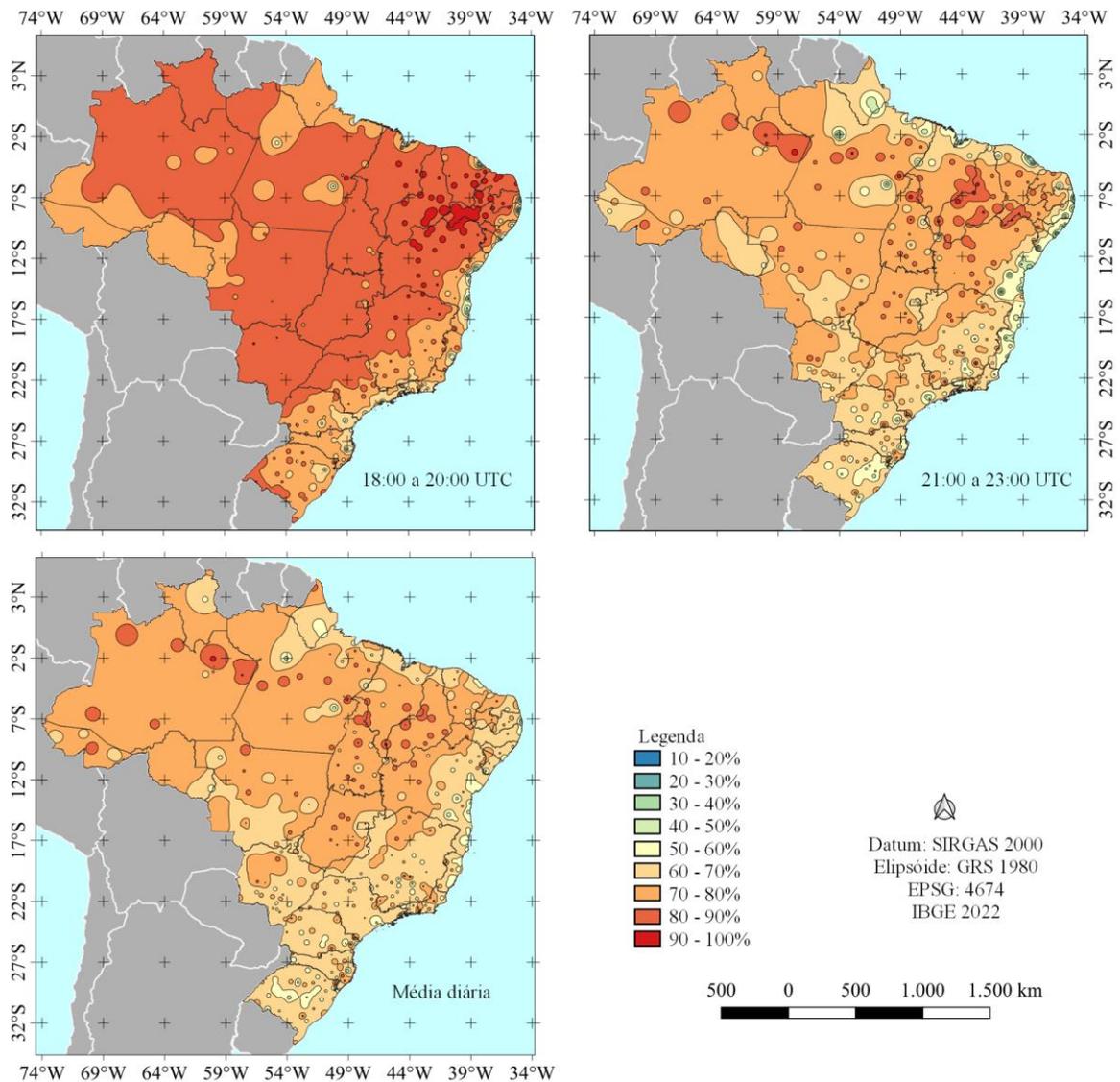
entre as 12:00 e 14:00 horas UTC nas regiões Norte e Centro-Oeste, entre as 09:00 e 14:00 na região Sudeste, 03:00 as 11:00 no leste da região Nordeste e das 00:00 às 11:00 no estado do Rio Grande do Sul (Figura 9).

Tabela 5 – Área (% em relação ao total do país) de abrangência de diferentes níveis de risco (%) de ocorrência de deriva em aplicações de pesticidas nos horários do dia no Brasil

Hora UTC	20 - 30%	30 - 40%	40 - 50%	50 - 60%	60 - 70%	70 - 80%	80 - 90%	90 - 100%
00 a 02	0,05%	0,20%	1,61%	12,09%	34,89%	44,42%	6,17%	0,56%
03 a 05	0,01%	0,23%	2,28%	14,47%	33,18%	41,25%	7,79%	0,79%
06 a 08	0,02%	0,28%	2,29%	13,42%	32,31%	41,38%	9,38%	0,92%
09 a 11	0,00%	0,14%	1,91%	17,62%	42,60%	31,18%	5,97%	0,56%
12 a 14	0,02%	0,17%	1,99%	29,08%	55,06%	11,90%	1,77%	0,02%
15 a 17	0,00%	0,01%	0,06%	0,60%	6,22%	50,40%	37,93%	4,79%
18 a 20	0,01%	0,05%	0,13%	0,43%	2,66%	26,26%	68,80%	1,67%
21 a 23	0,02%	0,14%	0,81%	4,95%	29,30%	59,58%	5,07%	0,12%
Média	0,00%	0,00%	0,10%	2,67%	33,79%	60,19%	3,20%	0,04%

Figura 9 - Risco médio horário (%) de ocorrência de deriva em aplicações de pesticidas no Brasil





Segundo Varejão-Silva (2005), a temperatura do ar apresenta uma oscilação diária, atingindo valores máximos em cerca de duas horas após a culminação do Sol. Além disso, existe uma dependência da umidade relativa do ar em relação à temperatura, diminuindo à medida que a temperatura aumenta. Assim, essas duas variáveis contribuem para o aumento do risco nos horários da tarde (15:00 a 20:00 horas UTC), corroborando com o comportamento do risco observado na Figura 9. Nos demais horários do dia, a principal variável que contribui para ocorrência de risco de ocorrência de deriva é a velocidade do vento abaixo de $0,83 \text{ m s}^{-1}$. Porém não é esta condição que favorece a ocorrência de deriva, mas sim o fenômeno de inversão térmica que pode ocorrer nessas condições, dificultando a descida das gotas de pulverização devido ao acúmulo de ar frio próximo à superfície. Mas esse fenômeno não acontece sempre que a velocidade do vento se encontra abaixo de $0,83 \text{ m s}^{-1}$, devendo ser avaliada a condição

atmosférica no momento da aplicação para verificar se existe inversão térmica ou não (ENZ; HOFMAN; THOSTENSON, 2019).

Radons *et al.* (2022) também observaram uma variação do risco de ocorrência de deriva ao longo do dia no estado do Rio Grande do Sul, sendo que os horários compreendidos entre as 12:00 e 17:00 horas no horário local (15:00 a 20:00 UTC) foram os que apresentaram maior risco, conforme também foi observado neste trabalho.

A região Norte é a região com maior avanço da fronteira agrícola no país, tendo um aumento de 66,41% da área plantada nos últimos 10 anos (IBGE, 2022). Nos mapas horários de risco de ocorrência de deriva (Figura 8), observa-se que essa região apresenta riscos elevados na maior parte do dia, havendo uma redução do risco numa faixa de tempo muito curta durante o dia, a qual seria a mais recomendada para aplicação de pesticidas. Assim, caso essas novas áreas forem cultivadas com culturas que demandam grande quantidade de pesticidas, existe uma grande probabilidade de os mesmos causarem uma contaminação ambiental por deriva, devido a inviabilidade de se fazer todas as aplicações dentro da faixa de horários com menor risco de ocorrência de deriva. Além disso, a maior parte da região norte é abrangida pelo bioma da Amazônia, que abriga uma grande quantidade de espécies de fauna e flora, e apresenta uma das maiores reservas mundiais de água e minerais, prestando importantes serviços ecossistêmicos (IBGE, 2023), que podem ser afetados pela contaminação por pesticidas em ambientes preservados.

A região Norte ainda é a região com menor densidade de estação meteorológicas do INMET, tendo uma estação meteorológica para cada 45 mil km². Na região sudeste, por exemplo, cada estação meteorológica é representativa de uma área média de 6 mil km² (IBGE, 2021; INMET, 2023). Assim, os valores de risco obtidos para essa região podem não ser representativos da mesma, uma vez que existem poucos pontos de coleta de dados para uma grande área.

4.5 CONCLUSÕES

O risco médio de ocorrência de deriva em aplicações de pesticidas no Brasil ficou entre 60 e 80% em 94% do território brasileiro, o que é um valor elevado e gera preocupação do ponto de vista ambiental.

O mês de agosto é o mês com maior risco de ocorrência de deriva no Brasil, com 57% do território com risco acima de 80%. O menor risco ocorre nos meses de janeiro e fevereiro em grande parte do país, porém nos estados do Rio Grande do Sul, Espírito Santo e leste da Bahia o menor risco ocorre no mês de maio.

Os horários com maior risco de ocorrência de deriva foram entre as 15:00 e 20:00 horas UTC, quando o risco ficou acima de 70% em mais de 90% do território. Os horários com menor risco variaram conforme a região do país, sendo das 12:00 às 14:00 horas UTC nas regiões norte e centro-oeste, entre as 09:00 e 14:00 na região sudeste, 03:00 as 11:00 no leste da região nordeste e das 00:00 às 11:00 no estado do Rio Grande do Sul.

REFERÊNCIAS

ALVES, Fabio Corrêa. Avaliação de interpoladores para a espacialização de variáveis de precipitação na bacia hidrográfica do rio Ivaí. **Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, p. 4070-4077, maio 2011.

ANDEF – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DEFESA VEGETAL. **Manual de Tecnologia de Aplicação de Produtos Fitossanitários**. Campinas: Linea Creativa, 2010. 52 p.

BELCHIOR, Diana Cléssia Vieira; SARAIVA, Althiéris de Souza; LÓPEZ, Ana Maria Córdova; SCHEIDT, Gessiel Newton. Impactos de Agrotóxicos Sobre o Meio Ambiente e a Saúde Humana. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 34, n. 1, p. 135-151, jan./abr. 2014.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Calendário de plantio e colheita de grãos no Brasil**. CONAB, 2019.

CONTIERO, R.L., BIFFE, D.F., CATAPAN, V. Tecnologia de Aplicação. In: BRANDÃO FILHO, J.U.T., FREITAS, P.S.L., BERIAN, L.O.S., and GOTO, R., comps. **Hortaliças-fruto**. Maringá: EDUEM, 2018, pp. 401-449. ISBN: 978-65-86383-01-0.

DEGUINE, Jean-Philippe; AUBERTOT, Jean-Noël; FLOR, Rica Joy; LESCOURRET, Françoise; WYCKHUYS, Kris A.G.; RATNADASS, Alain. Integrated pest management: good intentions, hard realities. a review. **Agronomy For Sustainable Development**, [s.l.], v. 41, n. 3, p. 1-35, 11 maio 2021. Springer Science and Business Media LLC.
<http://dx.doi.org/10.1007/s13593-021-00689-w>.

ENZ, John W.; HOFMAN, Vernon; THOSTENSON, Andrew. **Air Temperature Inversions: causes, characteristics and potential effects on pesticide spray drift**. Fargo, United States: North Dakota State University, 2019. 20 p.

FAOSTAT – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS: STATISTICAL DIVISION. **Pesticides Use**. 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RP/visualize>. Acesso em: 22 set. 2022.

IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Relatórios de comercialização de agrotóxicos**. 2020. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-deagrotoxicos#boletinsanuais>. Acesso em: 31 maio 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Biomás Brasileiros**. 2023. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/territorio/18307-biomas-brasileiros.html#:~:text=O%20Bioma%20Amazônia%20ocupa%20cerca,água%20e%20grandes%20reservas%20minerais>. Acesso em: 07 fev. 2023.

_____. **Cidades e Estados**. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp.html>. Acesso em: 07 fev. 2023.

_____. **Geociências**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em: 20 jul. 2022.

_____. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6588#notas-tabela>. Acesso em: 14 out. 2022.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Catálogo de estações automáticas**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/paginas/catalogoaut#>. Acesso em: 07 fev. 2023.

KRUGER, G. R.; ANTUNIASSI, U. R. Deriva na pulverização em culturas anuais. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. **Tecnologia de Aplicação para culturas anuais**. 2. edição revisada. Botucatu: FEPAF, 2019. Cap.19, p.319-327.

LANGENBACH, Tomaz; CALDAS, Luiz Querino. Strategies for reducing airborne pesticides under tropical conditions. **Ambio**, [s.l.], v. 47, n. 5, p. 574-584, 14 dez. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13280-017-0997-4>.

MARCUZZO, Francisco Fernando Noronha; CARDOSO, Murilo Raphael Dias; FARIA, Thiago Guimarães. Chuvas no Cerrado da região Centro-Oeste do Brasil: análise histórica e tendência futura. **Ateliê Geográfico**, Goiânia, v. 6, n. 2, p. 112-130, ago. 2012.

OLIVEIRA, Francielli Santos de; FERREIRA, Marcella; SENTELHAS, Paulo Cesar. Favorabilidade para a aplicação de herbicidas na cultura da cana-de-açúcar com base em critérios agrometeorológicos. **Agrometeoros**, [s.l.], v. 28, n. 1, p. 1-10, 1 dez. 2020. <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v28.e026749>.

RADONS, S.Z.; HELDWEIN, A.B.; SILVA, J.R.; SILVA, A.V.; SCHEPKE, E.; LUCAS, D.D.P. Weather conditions favorable for agricultural spraying in Rio Grande do Sul State. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 26, n. 1, p. 36-43, jan. 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n1p36-43>.

SILVA, Alessandra Fagioli da; OLIVEIRA, Rone Batista de; GANDOLFO, Marco Antonio. Mapping of the time available for application of pesticides in the state of Paraná, Brazil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, [s.l.], v. 40, n. 1, p. 1-7, 1 ago. 2018. Universidade Estadual de Maringá. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v40i1.39421>.

SILVA, Jackscilene Nascimento; CAIADO, Estela da Silva; CAIADO, Marco Aurélio Costa. Escolha de parâmetro para interpolação de precipitação diária utilizando o interpolador Inverse Distance Weight (IDW). **Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Bento Gonçalves, nov. 2013.

SOUZA, Caetano Marciano de *et al.* **Adubação verde e rotação de culturas**. Viçosa: UFV, 2012. 108 p.

VAREJÃO-SILVA, Mário Adelmo. **Meteorologia e Climatologia**. Recife: [s.ed.], 2005. 516 p.

5 CONCLUSÕES GERAIS

O risco médio de ocorrência de deriva no Brasil foi de 68%, variando entre 16 e 99%. Na análise territorial, observou-se que 94% do território brasileiro apresentou risco médio de ocorrência de deriva entre 60 e 80%, o que é um valor elevado, gerando preocupações do ponto de vista ambiental.

Desconsiderando-se o risco de ocorrência de deriva por velocidade do vento abaixo de $0,83 \text{ m s}^{-1}$, observou-se que o risco foi mais elevado na região Nordeste do Brasil (48%), e menor na região Norte (33%).

Os meses com maior risco de ocorrência de deriva foram agosto e setembro nas regiões Norte e Centro-Oeste, setembro e outubro na região Nordeste, setembro na região Sudeste e agosto a dezembro na região Sul. Os elementos com maior influência na ocorrência de risco mensal foram alta temperatura do ar na região Norte, baixa umidade relativa do ar nas regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste, e velocidade do vento maior que $2,78 \text{ m s}^{-1}$ na região Sul.

Os horários com maior risco de ocorrência de deriva ocorrem entre as 14:00 e 15:00 horas (UTC -3). Os principais fatores que influenciaram na ocorrência de risco na análise horária foram a temperatura do ar maior que $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ na região Norte, UR menor que 55% nas regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste, e velocidade do vento maior que $2,78 \text{ m s}^{-1}$ na região Sul.

Na análise territorial, considerando-se a velocidade do vento menor que $0,83 \text{ m s}^{-1}$ como geradora de risco, 90% do território apresentou risco acima de 70% entre as 15:00 e 20:00 horas UTC. Nesta análise, também observou-se que o mês de agosto apresentou 57% do território com risco acima de 80%.

REFERÊNCIAS

ALTIERI, Miguel. **Agroecologia**: bases científicas para uma agricultura sustentável. 3. ed. São Paulo: Expressão Popular, 2012. 400 p.

AKTAR, Wasim; SENGUPTA, Dwaipayan; CHOWDHURY, Ashim. Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. **Interdisciplinary Toxicology**, [s.l.], v. 2, n. 1, p. 1-12, 1 mar. 2009. Walter de Gruyter GmbH. <http://dx.doi.org/10.2478/v10102-009-0001-7>.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Portal da Qualidade das Águas**. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/pnqa.aspx>. Acesso em: 23 fev. 2023.

ANDEF – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DEFESA VEGETAL. **Manual de Tecnologia de Aplicação de Produtos Fitossanitários**. Campinas: Linea Creativa, 2010. 52 p.

ARVIDSSON, Tommy; BERGSTRÖM, Lars; KREUGER, Jenny. Spray drift as influenced by meteorological and technical factors. **Pest Management Science**, [s.l.], v. 67, n. 5, p. 586-598, 28 fev. 2011. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/ps.2114>.

AZEVEDO, Francisco Roberto de; FREIRE, Francisco das Chagas Oliveira. **Tecnologia de Aplicação de Defensivos Agrícolas**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2006. 47 p.

BANK, MICHAEL S. **Mercury in the Environment: Pattern and Process**. University of California Press, 2012. *JSTOR*, <http://www.jstor.org/stable/10.1525/j.ctt1pnzh>.

BARRIUSO, E.; CALVET, R.; SCHIAVON, M.; SOULAS, G. Les pesticides et les polluants organiques des sols: transformations et dissipation. **Étude et Gestion des Sols**. Ardon, v. 3, n. 4, p. 279-296, 1996.

BORSOI, Augustinho; SANTOS, Paulino Ricardo Ribeiro dos; TAFFAREL, Loreno Egidio; GONÇALVES JÚNIOR, Affonso Celso. Agrotóxicos: histórico, atualidades e meio ambiente. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 3, n. 1, p. 86-100, 2014.

BRASIL. Lei nº 6938, de 31 de agosto de 1981. **Política Nacional do Meio Ambiente**. Brasília, 1981.

CABRERA, Lizziara; COSTA, Fabiane Pinho; PRIMEL, Ednei Gilberto. Estimativa de risco de contaminação das águas por pesticidas na região sul do estado do Rio Grande do Sul. **Química Nova**, [s. l.], v. 31, n. 8, p. 1982-1986, 2008.

CASSMAN, Kenneth G. Ecological intensification of cereal production systems: Yield potential, soil quality, and precision agriculture. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA**, [s.l.], v. 96, n. 1, p. 5952-5959, maio 1999.

CEQUINEL, J. C.; RODRIGO, L. C. P. (Org.). **Intoxicações agudas por agrotóxicos: atendimento inicial do paciente intoxicado**. Paraná, 2018.

CONTIERO, R.L., BIFFE, D.F., CATAPAN, V. Tecnologia de Aplicação. In: BRANDÃO FILHO, J.U.T., FREITAS, P.S.L., BERIAN, L.O.S., and GOTO, R., comps. **Hortaliças-fruto**. Maringá: EDUEM, 2018, pp. 401-449. ISBN: 978-65-86383-01-0.

DEGUINE, Jean-Philippe; AUBERTOT, Jean-Noël; FLOR, Rica Joy; LESCOURRET, Françoise; WYCKHUYS, Kris A.G.; RATNADASS, Alain. Integrated pest management: good intentions, hard realities. a review. **Agronomy For Sustainable Development**, [s.l.], v. 41, n. 3, p. 1-35, 11 maio 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13593-021-00689-w>.

ENZ, John W.; HOFMAN, Vernon; THOSTENSON, Andrew. **Air Temperature Inversions: causes, characteristics and potential effects on pesticide spray drift**. Fargo, United States: North Dakota State University, 2019. 20 p.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Global agriculture towards 2050**. Roma: FAO, 2009.

FAOSTAT – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS: STATISTICAL DIVISION. **Pesticides Use**. 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RP/visualize>. Acesso em: 22 set. 2022.

GRAZIANO, Carlos Eduardo Pinto Lima. **Qualidade de aplicação de produtos fitossanitários com duas classes de gotas em três períodos do dia**. 2016. 43 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Agronomia, Universidade Estadual do Norte do Paraná, Bandeirantes, 2016.

HEADLEY, J. C.. Estimating the Productivity of Agricultural Pesticides. **American Journal Of Agricultural Economics**, [s.l.], v. 50, n. 1, p. 13-23, fev. 1968. Wiley. <http://dx.doi.org/10.2307/1237868>.

IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Avaliação do Potencial de Periculosidade Ambiental (PPA) de Agrotóxicos e Afins**. 2018. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/182-quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/1156-ppa>. Acesso em: 17 fev. 2023.

_____. **Relatórios de comercialização de agrotóxicos**. 2020. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-deagrotoxicos#boletinsanuais>. Acesso em: 31 maio 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6588#notas-tabela>. Acesso em: 14 out. 2022.

KRUGER, Greg R.; KLEIN, Robert N.; OGG, Clyde L.; VIEIRA, Bruno C. **Spray Drift of Pesticides**. Nebraska Extension, 2019.

LANGENBACH, Tomaz; CALDAS, Luiz Querino. Strategies for reducing airborne pesticides under tropical conditions. **Ambio**, [s.l.], v. 47, n. 5, p. 574-584, 14 dez. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13280-017-0997-4>.

LONDRES, Flavia. **Agrotóxicos no Brasil: um guia para ação em defesa da vida**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 2011. 190 p.

LUPI, Leonardo; BEDMAR, Francisco; PURICELLI, Marino; MARINO, Damián; APARICIO, Virginia C.; WUNDERLIN, Daniel; MIGLIORANZA, Karina S.B.. Glyphosate runoff and its occurrence in rainwater and subsurface soil in the nearby area of agricultural

fields in Argentina. **Chemosphere**, [s.l.], v. 225, p. 906-914, jun. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.03.090>.

MADDEN, Laurence V.; HUGHES, Gareth; BOSCH, Frank van Den. Temporal Analysis II: the components of disease. In: MADDEN, Laurence V.; HUGHES, Gareth; BOSCH, Frank van Den. **The Study of Plant Disease Epidemics**. Saint Paul: Aps Press, 2007. Cap. 5. p. 117-143.

MATTHEWS, Graham; BATEMAN, Roy; MILLER, Paul. **Pesticide Application Methods**. 4. ed. John Wiley & Sons, 2014. 536 p.

MILLER, Paul. Spray drift. In: MATTHEWS, Graham; BATEMAN, Roy; MILLER, Paul. **Pesticide Application Methods**. 4. ed. John Wiley & Sons, 2014. Cap. 12 p. 337-361

MORAES, Rodrigo Fracalossi de. **Agrotóxicos no Brasil: Padrões de uso, política da regulação e prevenção da captura regulatória**. Brasília: Ipea, 2019.

NUYTTENS, D. *et al.* Spray drift as affected by meteorological conditions. **Commun. Agric. Appl. Biol. Sci.** n. 4, v. 70, fev. 2005.

OERKE, E. C. Crop losses to pests. **The Journal Of Agricultural Science**, Cambridge, v. 144, p. 31-43, 9 dez. 2005. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1017/s0021859605005708>.

OLIVEIRA, Francieli Santos de; FERREIRA, Marcella; SENTELHAS, Paulo Cesar. Favorabilidade para a aplicação de herbicidas na cultura da cana-de-açúcar com base em critérios agrometeorológicos. **Agrometeoros**, [s.l.], v. 28, n. 1, p. 1-10, 1 dez. 2020. <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v28.e026749>.

PANDYA, Dr. Ishan Y. Pesticides and Their Applications in Agriculture. **Asian Journal Of Applied Science And Technology (Ajast)**, S.L., v. 2, n. 2, p. 894-900, abr. 2018.

PIGNATI, Wanderlei Antonio; LIMA, Franco Antonio Neri de Souza e; LARA, Stephanie Sommerfeld de; CORREA, Marcia Leopoldina Montanari; BARBOSA, Jackson Rogério; LEÃO, Luís Henrique da Costa; PIGNATTI, Marta Gislene. Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para a vigilância em saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, [s.l.], v. 22, n. 10, p. 3281-3293, out. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1413-812320172210.17742017>.

POPP, József; PETŐ, Károly; NAGY, János. Pesticide productivity and food security. A review. **Agronomy For Sustainable Development**, [s.l.], v. 33, n. 1, p. 243-255, 17 out. 2012. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13593-012-0105-x>.

SARAIVA, Althiéris de Sousa; SARMENTO, Renato A.; ERASMO, Eduardo A. L.; PEDRO-NETO, Marçal; SOUZA, Danival José de; TEODORO, Adenir V.; SILVA, Daniella G.. Weed management practices affect the diversity and relative abundance of physic nut mites. **Experimental And Applied Acarology**, [S.L.], v. 65, n. 3, p. 359-375, 21 dez. 2014. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10493-014-9875-y>.

SCHAMPHELEIRE, Mieke de; SPANOGHE, Pieter; BRUSSELMAN, Eva; SONCK, Sofie. Risk assessment of pesticide spray drift damage in Belgium. **Crop Protection**, [s.l.], v. 26, n. 4, p. 602-611, abr. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2006.05.013>.

SILVA, Alessandra Fagioli da; OLIVEIRA, Rone Batista de; GANDOLFO, Marco Antonio. Mapping of the time available for application of pesticides in the state of Paraná, Brazil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, [s.l.], v. 40, n. 1, p. 1-7, 1 ago. 2018. Universidade Estadual de Maringá. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v40i1.39421>.

SUJII, Edison Ryoiti; VENZON, Madelaine; MEDEIROS, Maria Alice; PIRES, Carmen Silvia Soares; TOGNI, Pedro Henrique Brum. Práticas culturais no manejo de pragas na agricultura orgânica. In: VENZON, Madelaine; PAULA JUNIOR, Trazilbo J. de; PALLINI, Ângelo. **Controle alternativo de pragas e doenças na agricultura orgânica**. EPAMIG URZM, 2010. Cap. 8. p. 143-168.

VAREJÃO-SILVA, Mário Adelmo. **Meteorologia e Climatologia**. Recife: [s.ed.], 2005. 516 p.

VEIGA, M. M. et al. Análise da contaminação dos sistemas hídricos por agrotóxicos numa pequena comunidade rural do Sudeste do Brasil. **Cad. Saúde Pública**. Rio de Janeiro, p. 2391 – 2399, nov. 2006.

WANG, Xuejiang; CHI, Yan; LI, Feng. Exploring China stepping into the dawn of chemical pesticide-free agriculture in 2050. **Frontiers In Plant Science**, [s.l.], v. 13, n. 1, p. 1-10, 9 set. 2022. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2022.942117>.

ZADOKS, J.C.. A. B. Filho and L. Amorim, Doenças de Plantas Tropicais: Epidemiologia e Controle Econômico. **European Journal Of Plant Pathology**, [s.l.], v. 104, n. 1, p. 109-109, 1998. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1023/a:1008630323003>.