

Análise de Riscos e Vulnerabilidades Climáticas

Guarulhos Sustentável

Julho/2024





REVISÕES

DATA	AUTOR	VERSÃO
09/07/2024	I Care	1.0
31/07/2024	I Care (após comentários da Prefeitura)	2.0



APRESENTAÇÃO

A Prefeitura Municipal de Guarulhos apresenta, por meio deste relatório, os resultados da sua Análise de Riscos Climáticos, referente às vulnerabilidades do município frente às mudanças no clima. A avaliação é composta pelos seguintes elementos-chave: os fatores de **sensibilidade** do território, as **tendências** climáticas e a capacidade de **adaptação**. Os ativos, populações e infraestruturas que estão ameaçados por eventos climáticos extremos configuram a **exposição** do município, porém, os territórios expostos a uma mesma ameaça climática podem sofrer níveis diferentes de **severidade** nos impactos, em decorrência de suas vulnerabilidades. O diagnóstico das vulnerabilidades traz a identificação de áreas mais sensíveis da cidade e que mais sofrem em caso de eventos climáticos extremos.

A análise das tendências climáticas tem como objeto de estudo, buscar determinada previsibilidade sobre quais ameaças climáticas tendem a ocorrer em maior **frequência** ou **intensidade**. Já a capacidade de adaptação dimensiona o grau de **resiliência** do território, como a prefeitura poderá mitigar ou anular os impactos aos quais está exposta.

Assim, a avaliação de risco representa uma análise espaço-temporal customizada voltada para as especificidades do município. Com o estudo, são identificados os impactos no presente e as tendências para os riscos no futuro. A identificação dos riscos e das vulnerabilidades climáticas sobre o território integra o desenvolvimento da primeira etapa para o **Plano de Mitigação e Adaptação às Mudanças do Clima** para o município de Guarulhos – SP, objetivando contribuir para o **Programa Guarulhos Sustentável**, financiado através do Banco de Desenvolvimento da América Latina e Caribe - CAF. O trabalho foi realizado conforme o Contrato de prestação de serviço de consultoria firmado entre a I Care e a Prefeitura de Guarulhos. Fazem parte deste produto os seguintes capítulos:

- A **Introdução**, que apresenta uma contextualização geral do projeto e seus principais objetivos;
- A **Metodologia**, que descreve as etapas a seguidas e os princípios que foram adotados;
- Os **Resultados**, que apresentam as tendências identificadas no clima histórico, clima futuro e as análises de vulnerabilidade, exposição, ameaça e risco;
- As **Conclusões**, que apresentam uma análise dos dados produzidos e uma série de informações relevantes para o município; e
- As **Referências Bibliográficas**, que documentam todas as fontes de informação que foram utilizadas durante o estudo, em complemento aos dados fornecidos pelo município.



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mudança global da temperatura da superfície com cenários projetados até 2100 (Fonte: Adaptado de IPCC, 2013)	10
Figura 2 - Ilustração do conceito de risco climático pela interação dos fatores de vulnerabilidade, exposição e ameaça (Fonte: Adaptado de IPCC, 2014).	11
Figura 3 - Localização do Município de Guarulhos (Fonte: I Care, 2023)	26
Figura 4 - Análise da tendência histórica para precipitação acumulada anual (Fonte: I Care, 2024)	29
Figura 5 - Tendência histórica para precipitação acumulada anual nos períodos sazonais (Fonte: I Care, 2024)	29
Figura 6 - Identificação da tendência histórica para máx. dias consecutivos sem chuva (Fonte: I Care, 2024)	30
Figura 7 - Tendência histórica para máx. dias consecutivos sem chuva nos períodos sazonais (Fonte: I Care, 2024)	31
Figura 8 - Análise da tendência histórica para máx. dias consecutivos com chuva (Fonte: I Care, 2024)	32
Figura 9 - Tendência histórica para máx. dias consecutivos com chuva nos períodos sazonais (Fonte: I Care, 2024)	32
Figura 10 - Análise da tendência histórica para máx. precipitação acumulada em 3 dias (Fonte: I Care, 2024)	33
Figura 11 - Tendência histórica para máx. precipitação acumulada em 3 dias nos períodos sazonais (Fonte: I Care, 2024)	34
Figura 12 - Análise da tendência histórica para temperatura máxima anual (Fonte: I Care, 2024)	35
Figura 13 - Tendência histórica para temperatura máxima anual em períodos sazonais (Fonte: I Care, 2024)	36
Figura 14 - Análise da tendência histórica para frequência de dias muito quentes (%) (Fonte: I Care, 2024)	37
Figura 15 - Tendência histórica para frequência de dias muito quentes (%) em períodos sazonais (Fonte: I Care, 2024)	37
Figura 16 - Identificação de tendências para precipitação acumulada anual no cenário RCP 4.5 (Fonte: I Care, 2024)	40
Figura 17 - Identificação de tendências para precipitação acumulada anual no cenário RCP 8.5 (Fonte: I Care, 2024)	40
Figura 18 - Análise das tendências projetadas para precipitação acumulada anual (Fonte: I Care, 2024)	41
Figura 19 - Identificação de tendências para máx. dias consecutivos sem chuva no cenário RCP 4.5 (Fonte: I Care, 2024)	42
Figura 20 - Identificação de tendências para máx. dias consecutivos sem chuva no cenário RCP 8.5 (Fonte: I Care, 2024)	42
Figura 21 - Análise das tendências projetadas para máx. dias consecutivos sem chuva (Fonte: I Care, 2024)	43
Figura 22 - Identificação de tendências para máx. dias consecutivos com chuva no cenário RCP 4.5 (Fonte: I Care, 2024)	44
Figura 23 - Identificação de tendências para máx. dias consecutivos com chuva no cenário RCP 8.5 (Fonte: I Care, 2024)	44
Figura 24 - Análise das tendências projetadas para máx. dias consecutivos com chuva (Fonte: I Care, 2024)	45
Figura 25 - Identificação de tendências para máx. precipitação acumulada em 3 dias no cenário RCP 4.5 (Fonte: I Care, 2024)	46
Figura 26 - Identificação de tendências para máx. precipitação acumulada em 3 dias no cenário RCP 8.5 (Fonte: I Care, 2024)	46
Figura 27 - Análise das tendências projetadas para máx precipitação acumulada em 3 dias (Fonte: I Care, 2024)	47
Figura 28 - Identificação de tendências para temperatura máxima anual (°C) no cenário RCP 4.5 (Fonte: I Care, 2024)	48



Figura 29 - Identificação de tendências para temperatura máxima anual (°C) no cenário RCP 8.5 (Fonte: I Care, 2024).....	48
Figura 30 - Análise das tendências projetadas para temperatura máxima anual (°C) (Fonte: I Care, 2024).....	49
Figura 31 - Identificação de tendências para frequência de dias muito quentes (%) no cenário RCP 4.5 (Fonte: I Care, 2024).....	50
Figura 32 - Identificação de tendências para frequência de dias muito quentes (%) no cenário RCP 8.5 (Fonte: I Care, 2024).....	50
Figura 33 - Análise das tendências projetadas para frequência de dias muito quentes (%) (Fonte: I Care, 2024).....	51
Figura 34 - Registro da oficina de coleta de informações (19/02/2024) (Fonte: I Care, 2024).....	54
Figura 35 - Registro da oficina de coleta de informações (19/02/2024) (Fonte: I Care, 2024).....	54
Figura 36 - Mapa construído por atores chave durante dinâmica da oficina (19/02/2024) (Fonte: I Care, 2024).....	55
Figura 37 - Registro da oficina de calibração dos resultados preliminares (29/05/2024) (Fonte: I Care, 2024).....	56
Figura 38 - Área onde se localizava ponte que foi arrastada pela enxurrada (29/05/2024) (Fonte: I Care, 2024).....	56
Figura 39 - Área onde houve deslizamento e destruição de moradias irregulares antes da construção do muro (29/05/2024) (Fonte: I Care, 2024).....	56
Figura 40 - Registro de escavações nos taludes para construção de moradias irregulares (29/05/2024) (Fonte: I Care, 2024).....	57
Figura 41 - Nível de exposição do território de Guarulhos frente a ameaças climáticas (Fonte: I Care, 2024).....	58
Figura 42 - Risco climático atrelado à ocorrência de alagamentos até 2040 (Fonte: I Care, 2024).....	60
Figura 43 - Risco climático atrelado à ocorrência de alagamentos até 2070 (Fonte: I Care, 2024).....	61
Figura 44 - Risco climático atrelado à ocorrência de alagamentos até 2100 (Fonte: I Care, 2024).....	62
Figura 45 - Risco climático atrelado à ocorrência de arboviroses até 2040 (Fonte: I Care, 2024).....	64
Figura 46 - Risco climático atrelado à ocorrência de arboviroses até 2070 (Fonte: I Care, 2024).....	65
Figura 47 - Risco climático atrelado à ocorrência de arboviroses até 2100 (Fonte: I Care, 2024).....	66
Figura 48 - Risco climático atrelado à ocorrência de deslizamentos de terra até 2040 (Fonte: I Care, 2024).....	68
Figura 49 - Risco climático atrelado à ocorrência de deslizamentos de terra até 2070 (Fonte: I Care, 2024).....	69
Figura 50 - Risco climático atrelado à ocorrência de deslizamentos de terra até 2100 (Fonte: I Care, 2024).....	70
Figura 51 - Risco climático atrelado à ocorrência de inundações fluviais até 2040 (Fonte: I Care, 2024).....	72
Figura 52 - Risco climático atrelado à ocorrência de inundações fluviais até 2070 (Fonte: I Care, 2024).....	73
Figura 53 - Risco climático atrelado à ocorrência de inundações fluviais até 2100 (Fonte: I Care, 2024).....	74
Figura 54 - Risco climático atrelado à ocorrência de ondas de calor até 2040 (Fonte: I Care, 2024).....	76
Figura 55 - Risco climático atrelado à ocorrência de ondas de calor até 2070 (Fonte: I Care, 2024).....	77
Figura 56 - Risco climático atrelado à ocorrência de ondas de calor até 2100 (Fonte: I Care, 2024).....	78
Figura 57 - Risco climático atrelado à ocorrência de secas até 2040 (Fonte: I Care, 2024).....	80
Figura 58 - Risco climático atrelado à ocorrência de secas até 2070 (Fonte: I Care, 2024).....	81
Figura 59 - Risco climático atrelado à ocorrência de secas até 2100 (Fonte: I Care, 2024).....	82
Figura 60 - Visão geral das tendências de ameaças climáticas no município de Guarulhos (Fonte: I Care, 2024).....	83
Figura 61 - Vulnerabilidade atrelada à ocorrência de alagamentos em Guarulhos (Fonte: I Care, 2024).....	91
Figura 62 - Vulnerabilidade atrelada a arboviroses em Guarulhos (Fonte: I Care, 2024).....	92



Figura 63 - Vulnerabilidade atrelada à ocorrência de deslizamentos em Guarulhos (Fonte: I Care, 2024).....	93
Figura 64 - Vulnerabilidade atrelada à ocorrência de inundações em Guarulhos (Fonte: I Care, 2024).....	94
Figura 65 - Vulnerabilidade atrelada à ocorrência de ondas de calor em Guarulhos (Fonte: I Care, 2024).....	95
Figura 66 - Vulnerabilidade atrelada à ocorrência de secas em Guarulhos (Fonte: I Care, 2024) ...	96
Figura 67 – Ameaça atrelada à ocorrência de alagamentos até 2040 (Fonte: I Care, 2024)	98
Figura 68 – Ameaça atrelada à ocorrência de alagamentos até 2070 (Fonte: I Care, 2024)	99
Figura 69 – Ameaça atrelada à ocorrência de alagamentos até 2100 (Fonte: I Care, 2024).....	100
Figura 70 – Ameaça atrelada a arboviroses até 2040 (Fonte: I Care, 2024)	101
Figura 71 – Ameaça atrelada a arboviroses até 2070 (Fonte: I Care, 2024)	102
Figura 72 – Ameaça atrelada a arboviroses até 2100 (Fonte: I Care, 2024)	103
Figura 73 – Ameaça atrelada à ocorrência de deslizamentos até 2040 (Fonte: I Care, 2024)	104
Figura 74 – Ameaça atrelada à ocorrência de deslizamentos até 2070 (Fonte: I Care, 2024)	105
Figura 75 – Ameaça atrelada à ocorrência de deslizamentos até 2100 (Fonte: I Care, 2024).....	106
Figura 76 – Ameaça atrelada à ocorrência de inundações fluviais até 2040 (Fonte: I Care, 2024).....	107
Figura 77 – Ameaça atrelada à ocorrência de inundações fluviais até 2070 (Fonte: I Care, 2024)	108
Figura 78 – Ameaça atrelada à ocorrência de inundações fluviais até 2100 (Fonte: I Care, 2024)	109
Figura 79 – Ameaça atrelada à ocorrência de ondas de calor até 2040 (Fonte: I Care, 2024)	110
Figura 80 – Ameaça atrelada à ocorrência de ondas de calor até 2070 (Fonte: I Care, 2024).....	111
Figura 81 – Ameaça atrelada à ocorrência de ondas de calor até 2100 (Fonte: I Care, 2024)	112
Figura 82 – Ameaça atrelada à ocorrência de secas até 2040 (Fonte: I Care, 2024)	113
Figura 83 – Ameaça atrelada à ocorrência de secas até 2070 (Fonte: I Care, 2024)	114
Figura 84 – Ameaça atrelada à ocorrência de secas até 2100 (Fonte: I Care, 2024)	115



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índices climáticos utilizados no estudo (Fonte: I Care, 2024)	13
Tabela 2 - Determinantes espaciais associados ao risco de alagamentos (Fonte: I Care, 2024)	17
Tabela 3 - Determinantes espaciais associados ao risco de arboviroses (Fonte: I Care, 2024)	18
Tabela 4 - Determinantes espaciais associados ao risco de deslizamentos (Fonte: I Care, 2024)	19
Tabela 5 - Determinantes espaciais associados ao risco de inundações (Fonte: I Care, 2024)	20
Tabela 6 - Determinantes espaciais associados ao risco de ondas de calor (Fonte: I Care, 2024)	21
Tabela 7 - Determinantes espaciais associados ao risco de secas (Fonte: I Care, 2024)	22
Tabela 8 - Determinantes espaciais que demarcaram a vulnerabilidade (Fonte: I Care, 2024)	23
Tabela 9 - Determinantes espaciais que demarcaram a exposição (I Care, 2024)	23
Tabela 10 - Índices climáticos associados à precipitação utilizados no estudo (Fonte: I Care, 2024)	28
Tabela 11 - Índices climáticos associados à temperatura utilizados no estudo (Fonte: I Care, 2024)	35



SUMÁRIO

REVISÕES.....	3
APRESENTAÇÃO	4
LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE TABELAS.....	8
1. Introdução.....	10
1.1. Mudanças climáticas e os centros urbanos	10
1.2. Análise de Riscos Climáticos	11
2. Metodologia	12
1.1. Interlocução com atores chaves para validação e calibração do produto	12
1.2. Análise do perfil do município	12
1.3. Levantamento e avaliação do clima histórico	13
1.4. Levantamento e avaliação do clima futuro.....	14
1.5. Oficinas e visita técnica	15
1.6. Risco climático	16
1.6.1. Ameaças climáticas	16
1.6.2. Vulnerabilidade	22
1.6.3. Exposição.....	23
3. Resultados.....	24
3.1. Caracterização da Cidade	24
3.2. Levantamento e avaliação do clima histórico	28
3.2.1. Precipitação	28
3.2.2. Temperatura.....	34
3.3. Levantamento e avaliação do clima futuro.....	39
3.3.1. Precipitação	40
3.3.2. Temperatura.....	47
3.4. Oficinas e visita técnica	54
3.5. Risco climático	57
4. Considerações	83
5. Referências Bibliográficas	86
ANEXO I	90
Vulnerabilidade.....	90
Ameaça	97



1. Introdução

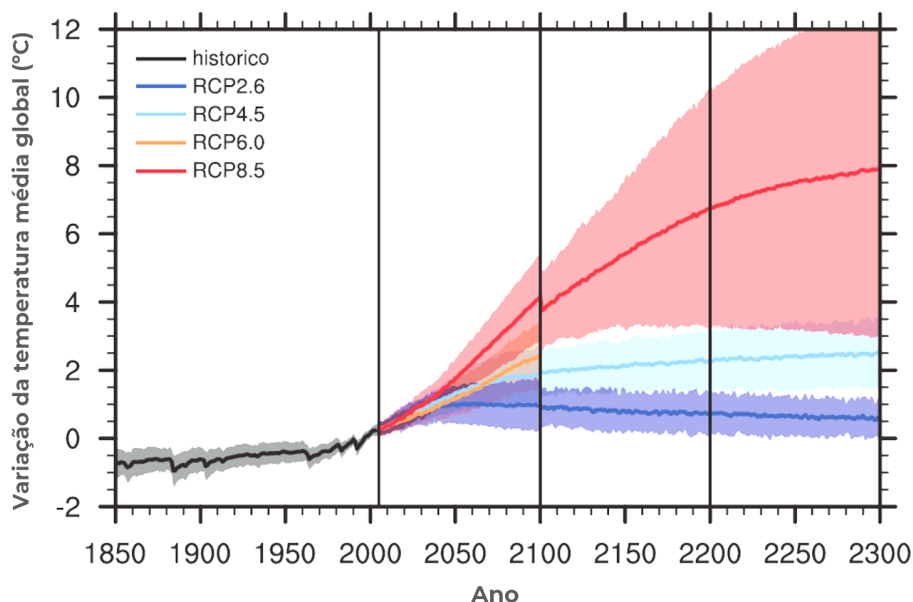
1.1. Mudanças climáticas e os centros urbanos

São denominadas mudanças climáticas as alterações significativas em dimensão e em escala temporal no clima de determinado território. As transformações na ocorrência de fenômenos climáticos são parte intrínseca dos ciclos geológicos da Terra, porém, hoje, encontram-se em grande aceleração devido à ação antrópica, com a intensa emissão de gases de efeito estufa e o desmatamento desenfreado (IPCC, 2023).

Em março de 2023 foi lançada a versão mais recente do Relatório Síntese do Sexto Ciclo de Avaliação (AR6) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), da ONU. O documento destaca o marcante aquecimento do planeta nas últimas décadas, o que tem levado à intensificação de ameaças climáticas, como alagamentos, secas, ondas de calor, desmoronamento e o aumento do nível do mar.

Ao contrário da meteorologia utilizada cotidianamente, para previsão diária do tempo, a projeção das mudanças climáticas depende de suposições frente ao crescimento demográfico, o desenvolvimento de tecnologias, o uso da terra e os níveis de concentração de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera. Devido à imprevisibilidade destes fatores, foram definidas as Trajetórias Representativas de Concentração (RCP). As RCPs são cenários que incluem séries temporais para as emissões globais de gases de efeito estufa (GEE), aerossóis e gases quimicamente ativos, bem como suposições sobre o uso e ocupação da terra a nível global. A RCP4.5, por exemplo, representa um futuro redução das emissões de gases de efeito estufa e considerável mitigação. Nas simulações do CMIP5, em média, este cenário resulta no aquecimento de 2,5°C da temperatura global até 2100, tendo o período pré-industrial como referência. Em contraste, a RCP8.5 é um cenário de continuidade no crescimento das emissões de gases de efeito estufa, gerando um aumento médio de 4,3°C até 2100 (IPCC, 2019), conforme representado na Figura 1.

Figura 1 - Mudança global da temperatura da superfície com cenários projetados até 2100 (Fonte: Adaptado de IPCC, 2013)



A ONU projeta um aumento de 70% no número de pessoas que vivem nas cidades até 2050, ao mesmo tempo em que se destaca o aumento do risco climático nos centros urbanos (ONU, 2022). Nas cidades, a vulnerabilidade mais alta é percebida, principalmente, em territórios de maior vulnerabilidade social, onde a população tem menor acesso a renda e serviços básicos, como



saneamento básico, saúde e energia elétrica. Além disso, as dificuldades no acesso à moradia digna levam comunidades a ocuparem áreas de elevado risco geológico e hidrológico (IPCC, 2023)

Nas cidades brasileiras, o aquecimento do ar, o aumento do nível do mar, a intensificação de ondas de calor, as inundações e os alagamentos são as principais ameaças climáticas que colocam em risco a segurança dos habitantes (PBMCM, 2014). A ocorrência destes eventos gera perdas em vidas, danos à saúde pública, a infraestruturas e meios de subsistências, gerando prejuízos para a população, para as empresas e para o poder público (INPE & UNICAMP, 2011). Com a aceleração das mudanças climáticas, as ameaças citadas tendem a ocorrer em maior frequência e/ou intensidade.

1.2. Análise de Riscos Climáticos

A gestão de riscos climáticos é um processo estratégico permanente pelo qual as organizações enfrentam os desafios atrelados às alterações no clima. Quando aplicada pelo poder público para a adaptação de um território, a gestão dos riscos climáticos busca proteger a população, os ecossistemas e as estruturas público e privadas locais.

De acordo com o IPCC, para a existência do risco é necessária a interação entre os seguintes elementos: vulnerabilidade (do sistema afetado), ameaça (aspecto climático) e exposição (à ameaça), como representado na Figura 2 e descrito abaixo. A vulnerabilidade é composta pela sensibilidade do local, população ou infraestrutura e sua capacidade de adaptação a determinado impacto.

Figura 2 - Ilustração do conceito de risco climático pela interação dos fatores de vulnerabilidade, exposição e ameaça (Fonte: Adaptado de IPCC, 2013).



Ameaça climática

Ocorrência potencial de um evento climático que pode causar perdas em vidas, impactos na saúde pública, danos em propriedades, infraestruturas, meios de subsistência, prestação de serviços e ecossistemas (IPCC, 2023). Exemplo: tempestades, secas e ondas de calor.

Exposição

Presença de pessoas, meios de subsistência, ecossistemas, funções, serviços e ativos ambientais, infraestruturas, ativos econômicos, sociais ou culturais que podem ser afetados (IPCC, 2023). A análise da exposição é fundamental para direcionar esforços nas medidas de adaptação.



Vulnerabilidade

Propensão ou predisposição para ser afetado negativamente. Abrange uma variedade de conceitos e elementos, incluindo sensibilidade ou suscetibilidade a danos e falta de capacidade de enfrentamento e adaptação (IPCC, 2023). Orienta a severidade em que o impacto tende a se concretizar no município de Guarulhos. Exemplo: inexistência de coleta de esgoto, inexistência de rede de drenagem pluvial.

A análise das ameaças climáticas mais relevantes para o território e a identificação das vulnerabilidades e exposições locais, assim como a interação entre todos os aspectos citados, é o ponto de partida para a gestão dos riscos climáticos.

2. Metodologia

A análise dos riscos climáticos prescinde de informações do **clima histórico**, e das **projeções do clima futuro** da região de estudo, para que, em conjunto com os dados de exposição e vulnerabilidade de cada ameaça climática, seja possível avaliar as tendências para cada risco.

A seguir, são apresentadas as metodologias para a caracterização do território. O estudo do clima histórico, envolve a coleta e identificação de tendências nos registros do clima na região até o momento, as projeções do clima futuro, realizadas a partir de modelagens climáticas e, por fim, o esclarecimento sobre a estruturação das componentes para a obtenção do resultado sobre o risco climático.

1.1. Interlocução com atores chaves para validação e calibração do produto

O mapeamento dos atores chave teve como objetivo definir setores do município e representantes da prefeitura de Guarulhos responsáveis por fornecer os dados necessários para a Análise de Riscos Climáticos. Até o momento foram incluídos principalmente atores do setor público, e ainda podem ser incluídos representante do setor privado, sociedade civil, universidades, organizações não governamentais, dentre outros atores que sejam partes importantes para se compreender o clima local e os impactos de eventos climáticos extremos no município de Guarulhos.

Os atores relevantes a esse produto foram consultados e articulados, principalmente, com participação no webinar de sensibilização sobre o projeto e por meio de oficinas, e demais contatos por e-mail ou telefonema para a solicitação de informações, dados e documentos necessários para o estudo. Periodicamente, foram realizadas reuniões de gestão para o acompanhamento do trabalho e espaços de debate para a análise e a consolidação dos resultados, visando a melhor representação das particularidades da realidade local.

1.2. Análise do perfil do município

A análise do perfil do município de Guarulhos teve como objetivo compreender o seu contexto demográfico, socioeconômico, ambiental e climático, que servirá de base inicial para identificar suas vulnerabilidades.

A análise buscou identificar e mapear os principais planos, ferramentas e instrumentos existentes na prefeitura de Guarulhos relativos à adaptação e promoção da resiliência, a partir de um levantamento das configurações do contexto local, com avaliação sobre o planejamento, instrumentos, planos e projetos existentes. De maneira inicial, foi feita uma pesquisa bibliográfica de documentos sobre a interação de ameaças climáticas com o município. Foi considerado o estudo e relatório recente do Plano de Adaptação e resiliência à mudança do clima de Guarulhos.



Para a análise dos riscos climáticos, foi estudado o perfil de urbanização e uso e ocupação do solo de Guarulhos, suas principais atividades econômicas, o perfil socioeconômico dos seus residentes, particularidades dos ecossistemas e do relevo regional e as regiões com maior grau de vulnerabilidade.

A partir da caracterização do município e de discussões com agentes da Prefeitura de Guarulhos e demais atores chave, foram selecionadas as 6 ameaças climáticas consideradas mais relevantes para o território: alagamentos, arboviroses, deslizamentos de terra, inundações fluviais, ondas de calor e secas. Essas ameaças foram validadas pelos responsáveis pelo projeto, por parte da Prefeitura de Guarulhos.

1.3. Levantamento e avaliação do clima histórico

O contexto climático do município de Guarulhos foi investigado a partir da análise da evolução das principais variáveis hidrometeorológicas desde 1980 até 2022. Para isso, foram analisados dados diários e mensais de estações meteorológicas e dados horários de revisão climática. O método aplicado em cada variável climática foi selecionado a partir da disponibilidade de dados e da confiabilidade da base de dados disponível.

Para a análise das tendências históricas de precipitação foram utilizados dados de precipitação diária em milímetros de estações da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), disponibilizados no Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). A estação meteorológica selecionada foi a de Bonsucesso, devido à maior disponibilidade de dados no período de interesse e por sua localização dentro do limite municipal. Depois de coletados, tratados e avaliados, os dados foram divididos através da análise de sazonalidade, que tem por intuito mostrar de acordo com a média de chuvas mensais, quais meses fazem parte do período seco e chuvoso e analisar o comportamento do clima em cada um desses períodos.

Para o estudo do comportamento da temperatura no município de Guarulhos, foram utilizados dados de reanálise climática. A reanálise climática combina modelos climáticos com registros de observações reais do passado, construindo uma compreensão mais consistente do clima passado, especialmente no que diz respeito à representatividade espacial. O produto de reanálise utilizado foi o ERA5, a quinta geração de reanálise atmosférica do clima global desenvolvida pelo Serviço de Mudança Climática Copernicus (C3S) do ECMWF, o Centro Europeu de Previsões do Tempo de Médio Prazo (2021). O ERA5 fornece estimativas horárias para variáveis climáticas atmosféricas, terrestres e oceânicas desde 1940. Os dados cobrem a Terra em uma grade de 30 km e utilizam 137 níveis da superfície até uma altura de 80 km. Ele inclui, também, informações sobre incertezas para todas as variáveis em resoluções espaciais e temporais reduzidas.

Os registros das variáveis climáticas foram utilizados para o cálculo dos dados anuais dos índices climáticos. Os índices climáticos visam identificar a frequência e a intensidade na ocorrência histórica de eventos climáticos extremos considerados ameaças para o território. Eles foram selecionados visando contemplar com maior assertividade a ocorrência das ameaças climáticas mais relevantes definidas em conjunto com a Prefeitura de Guarulhos e os atores chave. Os índices selecionados para as análises do clima histórico e futuro estão listados na Tabela 1.

Tabela 1 - Índices climáticos utilizados no estudo (Fonte: I Care, 2024)

Índices	Descrição
PRCPTOT	Precipitação total no ano
CDD	Máximo de dias consecutivos sem chuva no ano
CWD	Máximo de dias consecutivos com chuva no ano
Rx3day	Máximo de chuva registrado em um período de 3 dias no ano
MXTP	Maior temperatura anual (°C)



Índices	Descrição
TX90p	Percentual anual de dias em que Temperatura Máxima (TX) está acima do percentil 90 (%) da série de dados analisado
MNTP	Menor temperatura mínima (°C)

Os dados históricos obtidos para os índices climáticos foram trabalhados para a verificação estatística de tendências a partir do teste não paramétrico de Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975), utilizado para a verificação de tendências monotônicas das séries temporais. A partir do teste, é calculado o valor de “p”. Com ele, verifica-se se os dados apresentam tendência temporal de alteração estatisticamente significativa. Quanto menor o “p”, maior a confiabilidade de que os dados estão apresentando tendência. Para o estudo, buscou-se o grau mínimo de 95% de confiança. Assim, foi possível verificar se a trajetória histórica do clima local aponta para uma tendência de aumento, redução ou manutenção na ocorrência e intensidade de eventos climáticos extremos.

Foi realizado ainda um levantamento de informações obtidas a partir de estudos, reportagens, relatos dos atores chaves e publicações da Prefeitura de Guarulhos acerca dos principais desafios atrelados ao clima observados pelo município ao longo das últimas décadas. Essas informações serviram de subsídio para a análise técnica e validação dos resultados das modelagens climáticas para projeções futuras, assim como a validação dos atores chaves que possuem conhecimento da realidade local.

Para melhor compreensão da ocorrência e intensidade de ameaça climática avaliada, também foram analisados dados topográficos do território, dados de vegetação e evolução histórica do uso do solo, dados rasterizados de drenagem de águas pluviais, histórico de uso/consumo de água, dados de carregamento viário, geomorfologia, arborização urbana, dentre outros.

1.4. Levantamento e avaliação do clima futuro

Além das tendências apresentadas nos registros históricos do município, também foram identificadas e avaliadas as tendências para as projeções das variáveis climáticas para as próximas décadas.

Para isso, foram utilizadas as informações advindas de Modelos Climáticos Globais acoplados ao Modelo Climático Regional (MCR) ETA, um modelo em ponto de grade de alta resolução sobre a América do Sul, disponibilizado pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE). Três modelos climáticos globais foram utilizados: Model for Interdisciplinary Research on Climate versão 5 (MIROC5, com aproximadamente 20 km de resolução espacial), Hadley Centre Global Environment Model versão 2 (HadGEM2-ES, resolução espacial de 5 km) e a segunda geração do Canadian Earth System Model (CanESM2, 20 km de resolução espacial), todos considerados satisfatórios para a representação do clima no município.

Para a utilização dos Modelos Climáticos Globais devem ser definidos os cenários climáticos de interesse para o estudo. A seleção dos cenários implica em adotar suposições acerca do desenvolvimento tecnológico, socioeconômico e das disputas políticas entre países para as próximas décadas (IPCC, 2023). A versão adotada pelo estudo é a das Trajetórias Representativas de Concentração (RCP), na qual cada uma representa um nível de forçante radiativa adicional, ou seja, diferentes graus de retenções de radiação solar em decorrência dos gases de efeito estufa na atmosfera. Os cenários adotados foram o RCP 8.5, que considera a continuidade do aumento das emissões globais de GEEs, e o RCP 4.5, que considera a adoção global de medidas de redução das emissões e mitigação dos efeitos das mudanças climáticas. Para a análise das tendências, foram adotados três horizontes temporais: até 2040 (período curto), até 2070 (período médio) e até 2100 (período distante).



- **RCP4.5:** caminho de estabilização intermediário, no qual a forçante radiativa adicional estabiliza em aproximadamente $4,5\text{W/m}^2$ após 2100. Representa a redução das emissões de gases de efeito estufa. Nas simulações do CMIP5, em média, este cenário resulta no aquecimento de $2,5^\circ\text{C}$ da temperatura global até 2100, tendo o período pré-industrial como referência (IPCC, 2019).
- **RCP8.5:** cenário de continuidade no crescimento das emissões de gases de efeito estufa, chegando a uma forçante radiativa adicional superior a $8,5\text{ W/m}^2$ em 2100. As projeções apontam para um aumento na temperatura global de $4,3^\circ\text{C}$ até 2100 (IPCC, 2019)

Para a obtenção de maior detalhamento nos resultados, permitindo avaliar a disposição territorial das projeções dentro do município, foi realizado o processo de *downscaling*. Nele, são aplicadas abordagens estatísticas para aumentar a resolução dos dados dos modelos climáticos. A partir desse processo, foi possível simular o comportamento das principais variáveis hidrometeorológicas (temperatura e precipitação) em uma resolução de 10m para as próximas décadas no território de Guarulhos.

Com os resultados obtidos, foram calculados os mesmos índices climáticos utilizados na análise do clima histórico, permitindo a identificação de tendências para a ocorrência e intensidade de ameaças climáticas no município. Novamente, todos os resultados foram testados utilizando o teste não paramétrico de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975).

Foram desenvolvidos gráficos e mapas geoespacializados (georreferenciados) para identificar as tendências e demonstrar a disposição espacialmente explícita dos resultados. De tal forma, foi possível identificar as regiões de Guarulhos em que os eventos climáticos extremos tendem a ocorrer de forma mais intensa ou frequente. Foram avaliados, ainda, as leis, planos e normativos que possam criar algum impacto sobre a modelagem das ameaças.

1.5. Oficinas e visita técnica

Foi realizada uma oficina no dia 19 de fevereiro de 2024 para coleta de informações com a Prefeitura. Para melhor acurácia das informações coletadas sobre o município foi realizada uma oficina de calibração dos resultados preliminares e uma visita técnica no dia 29 de maio de 2024. Durante a visita foram analisadas áreas que congregam diversas ameaças climáticas analisadas no relatório, em especial, deslizamentos, inundações e alagamentos. As informações coletadas na visita, assim como o registro fotográfico.

Durante a visita foram observados aspectos relacionados às vulnerabilidades do município, como infraestruturas existente, condição de resposta às ameaças climáticas, população exposta a impactos, quais são os impactos potenciais e demais aspectos relativos às ameaças climáticas e suas interações com o território.

A consolidação de uma visão ampla sobre os riscos potenciais associados ao clima auxilia na avaliação e na priorização deles. Além disso, é imprescindível que todo o processo esteja alinhado às estratégias e aos valores pautados pela atuação da Prefeitura de Guarulhos.

Oficinas foram realizadas para apresentar à equipe do projeto da Prefeitura de Guarulhos e a atores-chave os resultados das análises e para abrir o espaço de debate, impulsionando questionamentos sobre a realidade do município. Assim, os relatos que surgiram foram incorporados no estudo, construindo um processo coletivo de entendimento do território. As informações compiladas garantiram o alinhamento sobre quais os principais desafios observados no município e quais os fatores sociais, econômicos e ambientais mais significativos para a formação do risco climático local, dados extremamente relevantes para o aperfeiçoamento posterior de um plano robusto de adaptação à mudança do clima.



1.6. Risco climático

O risco climático foi analisado com o cruzamento de fatores de vulnerabilidade, exposição e da ocorrência e intensidade de ameaças climáticas. Os fatores foram selecionados a partir das particularidades territoriais do município e dos dados disponíveis para o estudo. O processo foi realizado para as ameaças climáticas consideradas mais relevantes para o município de Guarulhos: alagamentos, arboviroses, deslizamentos de terra, inundações fluviais, ondas de calor e secas. Dentre as informações inseridas, foram adicionados os dados obtidos por modelagem climática para caracterizar o clima futuro no território. Assim, uma ameaça que apresentou tendência de aumento na intensidade ou na ocorrência, apresenta, também, aumento do risco climático.

Todas as variáveis explicativas selecionadas para construção dos modelos de exposição, vulnerabilidade e ameaças foram georreferenciadas e, quando necessário, convertidas para o formato raster para que fosse possível realizar a álgebra de mapas. As variáveis contínuas foram normalizadas (escaladas de 0 a 1) para torná-las espacialmente comparáveis e agregáveis em um único índice diferenciado por tipo de ameaça climática. Já as variáveis discretas (não contínuas) foram transformadas em distâncias euclidianas, de forma que o modelo se tornasse o mais automático possível. Logo, no caso dos modelos que possuem como *input* alguma variável relacionada à distância (por exemplo, distância aos cursos d'água), a distância euclidiana calculada a partir da rede hidrográfica foi normalizada (escaladas de 0 a 1), para que também se tornasse espacialmente comparável e agregável. Como resultado foram obtidos arquivos matriciais, um para cada ameaça em toda a extensão do território

A partir da primeira versão das ameaças climáticas geoespacializadas, resultante da álgebra dos mapas, foi realizado o processo de calibração para cada ameaça, onde foram testadas diferentes formas de categorização para as variáveis envolvidas, de maneira a conferir maior assertividade ao modelo, considerando informações não espacializadas, como registro de eventos climáticos extremos relatados pelos atores-chave e em notícias locais. É importante ressaltar que a equipe consultora também realizou testes de sensibilidade com a inclusão ou retirada de variáveis, ou ajuste do peso das variáveis, de forma a avaliar a importância relativa de cada uma delas. Todo o processo foi realizado em contato com agentes locais, tendo em vista os aprendizados construídos nas oficinas e coleta de informações na visita técnica e em reunião com a Defesa Civil. Foram obtidos arquivos matriciais como resultado da álgebra de mapas ajustados para cada ameaça climática e para cada período de interesse. Os resultados foram normalizados de modo a atribuir classes aos graus de ameaças. Por convenção, as classes de grau de vulnerabilidade definidas foram “Muito Baixo”, “Baixo”, “Médio”, “Alto” e “Muito Alto”. Os valores para cada categoria são adimensionais e foram categorizados de forma linear. Os mapas gerados foram debatidos e validados com o Grupo de Trabalho em conjunto com a prefeitura e atores-chave na oficina do dia 29 de maio de 2024 e em reunião online específica com a equipe da Defesa Civil no dia 06 de junho de 2024.

Processo similar foi realizado para se obter os mapas de vulnerabilidade e exposição do município de Guarulhos. Os mapas de risco climático foram elaborados a partir das informações em formato raster, e a álgebra de mapas. Assim, foi possível encontrar um modelo mais parcimonioso e que refletisse a realidade local.

A seguir é apresentado o detalhamento das camadas utilizadas para a confecção dos mapas.

1.6.1. Ameaças climáticas

A ameaça climática é a ocorrência potencial de um evento climático que pode causar perdas em vidas, impactos na saúde pública, danos em propriedades, infraestruturas, meios de subsistência, prestação de serviços e ecossistemas (IPCC, 2023). Os tópicos a seguir descrevem os dados utilizados para a análise da incidência de cada ameaça climática no território de Guarulhos.

Alagamentos: Extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana e consequente acúmulo de água em ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, em decorrência de precipitações intensas (BRASIL, 2016).



Arboviroses: Doenças causadas por arbovírus, que são vírus transmitidos por artrópodes hematófagos, como mosquitos e carrapatos. Algumas das arboviroses mais presentes em ambientes urbanos são a dengue, zika, chikungunya e febre amarela (BRASIL, 2023).

Deslizamentos de terra: Movimentos rápidos de solo ou rocha, apresentando superfície de ruptura e massas de terreno bem definidos. A duração é relativamente curta e centro de gravidade se desloca para baixo e para fora do talude. Frequentemente, os primeiros sinais desses movimentos são a presença de fissuras (BRASIL, 2016).

Inundações: Submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas. O transbordamento ocorre de modo gradual, geralmente ocasionado por chuvas prolongadas em áreas de planície (BRASIL, 2016).

Ondas de calor: É um período prolongado excessivamente quente e desconfortável, onde as temperaturas ficam acima de um valor normal esperado para aquela região em determinado período do ano. Geralmente é adotado um período mínimo de três dias com temperaturas 5°C acima dos valores máximos médios (BRASIL, 2016).

Secas: Período prolongado de baixa ou nenhuma pluviosidade, em que a perda de umidade do solo é superior à sua reposição durante período suficiente para gerar grave desequilíbrio hidrológico (BRASIL, 2016).

Alagamentos

Os fatores analisados para o mapeamento da suscetibilidade a alagamentos foram selecionados com base na literatura específica da área, especialmente estudos de Tucci (2007) e Fernández e Lutz (2010). Tucci (2007) ressalta que a frequência e a magnitude de alagamentos ocorrem em função da intensidade e distribuição da precipitação, da taxa de infiltração de água no solo, do grau de saturação do solo e das características morfológicas da área de estudo. Fernández e Lutz (2010), ponderam que as seguintes variáveis devem ser levadas em consideração: altitude, declividade, distância do curso d'água e grau de urbanização. Diante dessas informações e considerando a disponibilidade dos dados, selecionou-se as variáveis mais adequadas para esta modelagem, descritas na Tabela 2.

Tabela 2 - Determinantes espaciais associados ao risco de alagamentos (Fonte: I Care, 2024)

Determinante Espacial	Relação com a ameaça	Fonte de Dados
Declividade	Áreas com relevo de elevada declividade e impermeabilizados aumentam a taxa de escoamento superficial das águas, contribuindo para a desagregação e transporte de sedimentos, assim como de resíduos na área urbana, com a tendência de acúmulo em pontos de menor altitude nas cidades. Fonte: Nguyen et al, 2020.	Prefeitura de Guarulhos
Uso e cobertura do solo (proxy ocupação e impermeabilidade)	A ocupação irregular em áreas com inexistência ou ineficiência de sistemas de drenagem, contribuem para a ocorrência de inundações Fonte: Dalu et al., 2018.	MapBiomas Coleção 7
Distância às áreas vegetadas	As áreas com baixa cobertura vegetal ou impermeabilizadas dificultam a retenção de água no solo, favorecem o aumento da velocidade do escoamento superficial da água, e assim contribuem para a ocorrência de alagamentos. Fonte: Instituto Geológico, 2015.	Dados do MapBiomas Coleção 7
Distâncias áreas de drenagem	Áreas com concentração de água. Quanto mais próximo maior o valor da ameaça	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA)
Máximo de chuvas em 3 dias consecutivos (Rx3day)	O acúmulo de chuvas associado a problemas de natureza fluvial, depósito de lixo na superfície ou problemas em sistema de drenagem urbana tendem a ocasionar alagamentos. Fonte: MCTI, 2021.	Modelo Regional ETA/INPE



Determinante Espacial	Relação com a ameaça	Fonte de Dados
Número máximo de dias consecutivos chuvosos (CWD)	A intensidade e distribuição da precipitação estão entre os aspectos que definem a frequência e a magnitude dos alagamentos. Fonte: Instituto Geológico, 2015.	Modelo Regional ETA/INPE

Arboviroses

Arboviroses são doenças causadas por vírus transmitidos por artrópodes, dentre eles os insetos, como mosquitos, e os aracnídeos, como aranhas e carrapatos. As arboviroses mais prevalentes em Guarulhos são a dengue, zika e chikungunya, todas transmitidas pelo mosquito *Aedes Aegypti*.

O *Aedes Aegypti* costuma ter sua circulação intensificada em virtude da combinação da temperatura mais quente e chuvas conforme a literatura (Gould & Higgs, 2008; Esser et al., 2019; Ciota & Keyel, 2019; Robert et al., 2020). Isso ocorre, pois para se reproduzir os mosquitos necessitam de locais com água parada e temperaturas mais elevadas. Assim, o aumento do acúmulo de água no município em especial, na época do verão, tende a gerar o aumento da proliferação do mosquito.

Nessa perspectiva, foram selecionadas as variáveis mais adequadas para esta modelagem frente aos dados disponíveis, descritas na Tabela 3.

Tabela 3 - Determinantes espaciais associados ao risco de arboviroses (Fonte: I Care, 2024)

Determinante Espacial	Relação com a ameaça	Fonte de Dados
Distância aos corpos hídricos	Áreas próximas aos corpos hídricos, como planícies de inundação, apresentam pontos com acúmulo de água parada que são altamente suscetíveis à proliferação de arbovírus. Fonte: Gould and Higgs, 2008.	Dados do MapBiomas Coleção 7, modelados pela I Care
Pontos históricos de ocorrência	Áreas com histórico de arboviroses estão mais propensas a recorrência, devido a possível repetição das condições para ocorrência do arboviroses.	Prefeitura de Guarulhos
Número máximo de dias consecutivos no ano com T _{máx} > percentil 90 (dias) (Tx90p)	A ocorrência de chuvas prolongadas aumenta a probabilidade de haver locais e objetos com retenção de água parada que favorecem a proliferação de arbovírus. Frequentemente, ocorrem aumento dos casos de arboviroses após períodos de chuvas intensas. Fonte: Gould and Higgs, 2008.	Modelo Regional ETA/INPE
Temperatura máxima (MXTP)	Áreas com elevadas temperaturas tendem a apresentar maior dispersão de insetos atrelados aos elevados índices pluviométricos, e assim eleva a probabilidade de ocorrência de arboviroses. Fonte: Ciota & Keyel, 2019.	Modelo Regional ETA/INPE
Número máximo de dias consecutivos chuvosos (CWD)	A intensidade e distribuição da precipitação estão entre os aspectos que contribuem para a elevação dos casos de arboviroses. Fonte: Robert et al, 2020.	Modelo Regional ETA/INPE

Deslizamentos de terra

Na realização da modelagem do risco de deslizamentos, congregou-se diversas abordagens presentes na literatura científica, dentre elas, as abordagens utilizadas por Hungr et al. (2005), Moreira (2008), Ercanoglu & Gokceoglu (2004), Ermini et al. (2005) e Pradhan et al. (2006). Hungr et al. (2005) definem que a probabilidade de que uma determinada área sofra um deslizamento de terra é calculada a partir de combinação de variáveis atreladas à geologia, declividade, elevação, propriedades geotécnicas, cobertura vegetal, padrão de drenagem dentre outras. Moreira (2008)



desenvolveu um procedimento para a investigação dos eventos de deslizamento realizando a concatenação de fatores condicionantes relativos aos eventos de deslizamento, como dados de atividade antrópica, dados geológicos e geomorfológicos.

Em âmbito internacional, Ercanoglu & Gokceoglu (2004) avaliaram a interação entre parâmetros fisiográficos, como cobertura vegetal, distância de dobramentos e falhas geológicas, dados de curvatura e orientação de vertentes, distâncias a redes de drenagem, e fatores relativos à atividade antrópica, como proximidade de estradas e áreas agricultáveis.

Nos estudos de Ermini et al. (2005) foram consideradas variáveis de litologia, declividade, curvatura vertical de terreno, cobertura da terra e área de contribuição a montante. Pradhan et al. (2006) consideraram variáveis de cobertura da terra, geologia, geomorfologia, dados de drenagem. Sua análise expôs que, para a região e o método utilizados, áreas com alta declividade, grande densidade de lineamentos, e moderada a baixa densidade de drenagem são as mais vulneráveis a deslizamentos de terra.

A partir das informações obtidas na literatura e considerando a disponibilidade dos dados da região de estudo, selecionou-se as variáveis mais adequadas para esta modelagem, descritas na Tabela 4.

Tabela 4 - Determinantes espaciais associados ao risco de deslizamentos (Fonte: I Care, 2024)

Determinante Espacial	Relação com a ameaça	Fonte de Dados
Declividade	Áreas com elevada declividade (entre 20° a 40° de inclinação), como áreas montanhosas tendem a apresentar deslizamentos com maior frequência, principalmente, devido a cortes para a construção de moradias precárias em encostas íngremes situadas na base de afloramentos rochosos. Fonte: MCTI, 2021; Instituto Geológico, 2015; USGS, 2008	Prefeitura de Guarulhos
LUCC (proxy ocupação e impermeabilidade)	Áreas com elevada taxa de ocupação estão mais suscetíveis a intervenções antrópicas que, em geral, tendem a desestabilizar o solo, devido à retirada de cobertura vegetal, saturação do solo com água e efluentes, entre outros. Esse processo é identificado em áreas de ocupação desordenada das vertentes. Fonte: MCTI, 2021; Instituto Geológico, 2015.	MapBiomias Coleção 7 (10m)
Tipo de Solo	Solos pouco espessos e jovens, geralmente encontrados em regiões de relevo escarpados, bastante acidentados, são mais suscetíveis a deslizamentos. Fonte: USGS, 2008.	Prefeitura de Guarulhos
Pontos de ocorrência históricos	Áreas com histórico de deslizamento estão mais propensas a recorrência, devido à sua instabilidade prévia.	Prefeitura de Guarulhos
Distância às áreas vegetadas	Áreas com cobertura vegetal preservada ou recuperada apresentam maior estabilidade e menor probabilidade de cisalhamento/ deslizamento. A perda na cobertura vegetal, assim a erosão do solo poderá ser agravada levando a uma maior incidência global de deslizamentos de terra Fonte: MCTI, 2021.	MapBiomias Coleção 7 (10m)
Máximo de chuvas em 5 dias consecutivos (Rx5day)	As chuvas acumuladas durante três ou quatro dias (em geral com 120 mm ou superior em 72 horas) são as mais efetivas na preparação do terreno ao processo de escorregamento devido à redução da resistência e o cisalhamento. Fonte: Instituto Geológico, 2015.	Modelo Regional ETA/INPE
Número máximo de dias consecutivos chuvosos (CWD)	Os períodos mais chuvosos do ano, ocasionam o acúmulo de chuvas e consequentemente a saturação do solo, assim tendem a apresentar mais incidências de deslizamentos. Fonte: Instituto Geológico, 2015.	Modelo Regional ETA/INPE



Determinante Espacial	Relação com a ameaça	Fonte de Dados
Máximo de chuvas em 3 dias consecutivos (Rx3day)	Máxima precipitação anual em 3 dias consecutivos (mm). Precipitação acumulada em 3 dias, máxima ocorrida em um ano. É um indicador para possibilidade de deslizamento. Fonte: MCTI, 2021.	Modelo Regional ETA/INPE

Inundações fluviais

As inundações estão atreladas a fatores biofísicos do local de análise, como o relevo, o uso e cobertura do solo, tipo de solo, entre outros. Estes, influenciam na tendência de ocorrência e na magnitude do evento (INSTITUTO GEOLÓGICO, 2015; NGUYEN et al., 2020; ACREMAN & HOLDEN, 2013; MCTI, 2021). Por exemplo, áreas com baixa declividade e áreas caracterizadas como planícies de inundação, próximas aos rios, estão mais susceptíveis ao acúmulo de água.

O uso e cobertura da terra (floresta, área urbana) e o tipo de solo (pedologia) também foram considerados, visto que as áreas urbanas sofrem com a retirada de vegetação nativa e larga aplicação de asfalto e concreto, reduzindo a permeabilidade. Da mesma forma, determinados solos possuem menor permeabilidade naturalmente, portanto, estes são pontos que tendem ao maior acúmulo de água (DALU et al., 2018; CPRM, 2021). Todas as camadas incluídas na avaliação de inundações na cidade de Guarulhos e suas respectivas relações com a ameaça, bem como a fonte de dados utilizada estão descritas na Tabela 5.

Tabela 5 - Determinantes espaciais associados ao risco de inundações (Fonte: I Care, 2024)

Determinante Espacial	Relação com a ameaça	Fonte de Dados
Declividade	Áreas caracterizadas como planícies de inundação, ou várzea, são periodicamente atingidas pelo transbordamento dos cursos d'água, com a ocorrência de inundações. Em regiões que o vale do rio possui vertentes com altas declividades as águas atingem elevadas velocidade que pode ocasionar inundações bruscas e mais destrutivas, enquanto planícies e áreas com baixa declividade, tendem a ocasionar inundações mais lentas. Fonte: Instituto Geológico, 2015; Nguyen et al., 2020.	Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM)
Uso e cobertura do solo (proxy ocupação e impermeabilidade)	As ocupações irregulares nas planícies e nas margens de cursos d'água; a disposição irregular de lixo nas proximidades de corpos hídricos; as alterações na bacia hidrográfica; e os processos de erosão do solo e assoreamento contribuem para a ocorrência de inundações Fonte: MCTI, 2021; Dalu et al., 2018.	MapBiomas Coleção 7
Pontos de ocorrência históricos	Áreas com histórico de inundações estão mais propensas a recorrência, devido a possível repetição das condições para ocorrência do inundações.	Prefeitura de Guarulhos
Distâncias áreas de drenagem	Quanto mais próximo do curso d'água maior o risco associado a inundações	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA)
Distância às áreas vegetadas	As áreas com baixa cobertura vegetal ou impermeabilizadas dificultam a retenção de água no solo, favorecem o aumento da velocidade do escoamento superficial da água, e assim contribuem para a ocorrência de inundações. Fonte: Instituto Geológico, 2015.	Dados do MapBiomas Coleção 7, modelados pelo consórcio I Care
Máximo de chuvas em 5 dias consecutivos (Rx5day)	Chuvas intensas e/ou de longa duração favorecem a saturação dos solos, e contribuem para a ocorrência de concentração de água em determinadas regiões, ocasionando inundações. Fonte: Instituto Geológico, 2015; MCTI, 2021.	Modelo Regional ETA/INPE



Determinante Espacial	Relação com a ameaça	Fonte de Dados
Número máximo de dias consecutivos chuvosos (CWD)	A intensidade e distribuição da precipitação estão entre os aspectos que definem a frequência e a magnitude das inundações. Fonte: Instituto Geológico, 2015; MCTI, 2021.	Modelo Regional ETA/INPE

Ondas de calor

As altas temperaturas se expressam em magnitudes diferentes a depender de particularidades locais. Regiões mais urbanizadas, com largas áreas desmatadas e ocupadas por uma grande concentração de casas, prédios, ruas asfaltadas e demais estruturas, sofrem com o maior aquecimento local, muito atrelado à formação de ilhas de calor. Portanto, centros urbanos tendem a ser mais suscetíveis às ameaças de ondas de calor (Gartland, 2010; Nichol, 2009).

Diante disso, utilizou-se como base a pesquisa feita por Gartland e colaboradores (2010), além dos exemplos produzidos por Nobrega e Viltal (2010) para subsidiar a escolha das variáveis para a construção dos mapas de ameaças às ondas de calor.

A Tabela 6 apresenta os determinantes espaciais considerados para o estudo da suscetibilidade do município ao risco de ondas de calor.

Tabela 6 - Determinantes espaciais associados ao risco de ondas de calor (Fonte: I Care, 2024)

Determinante Espacial	Relação com a ameaça	Fonte de Dados
Distância às áreas vegetadas	Áreas vegetadas contribuem para a redução de ondas de calor. A tendência é de haver mais focos de ondas de calor quanto mais distante se estiver de áreas vegetadas. Fonte: Kalkstein et al., 2022	Dados do MapBiomas Coleção 7 (10m)
Distância às áreas antropizadas e pavimentadas	Áreas urbanas são mais sensíveis e vulneráveis às ondas de calor devido à elevada taxa de retenção de radiação solar de pavimentos e revestimentos, da maioria das construções urbanas. Logo, a tendência é de haver mais focos de ondas de calor quanto mais próximo estiver de áreas antropizadas e pavimentadas. Fonte: Falasca et al., 2019.	Dados do MapBiomas Coleção 7 (10m)
Uso e cobertura da Terra (proxy do albedo da superfície)	Áreas que possuem cobertura do solo com elevada capacidade de refletir a radiação solar (elevado albedo), evitam o aumento significativo da temperatura ambiente, e consequentemente reduzem a probabilidade de ocorrência de ondas de calor. Fonte: Falasca et al., 2019.	Dados do MapBiomas Coleção 7 (10m)
Proximidade área de drenagem	Área próximas a corpos hídricos tendem a ser menos suscetíveis a efeitos das altas temperaturas	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA)
Número máximo de dias consecutivos no ano com T _{máx} > percentil 90 (dias) (Tx90p)	Áreas que apresentam elevada temperatura por longos períodos, reduzem a umidade do ar e aumentam a probabilidade da existência de focos de calor. Fonte: Lhotka et al., 2018.	Modelo Regional ETA/INPE
Temperatura máxima (MXTP)	Áreas com elevadas temperaturas tendem a apresentar maior probabilidade de ocorrência de ondas de calor. Fonte: Lhotka et al., 2018.	Modelo Regional ETA/INPE
Número máximo de dias consecutivos sem chuva no ano (dias). CDD	Áreas com períodos de longa duração de estiagem reduzem a umidade do ar e indicam maior probabilidade da ocorrência de ondas de calor. Os estudos apontam com frequência a associação das elevadas temperaturas e longos períodos de estiagem com as ocorrências de ondas de calor.	Modelo Regional ETA/INPE



Determinante Espacial	Relação com a ameaça	Fonte de Dados
	Fonte: Nairn et al., 2015 Li et al., 2015	

Secas

Foi realizada, também, a modelagem para o risco atrelado a secas no município de Guarulhos. Segundo Kalkstein et al. (2022), as áreas vegetadas contribuem para a redução da temperatura e retenção e preservação da umidade, portanto, a tendência é de haver mais focos de secas quanto mais distante se estiver de áreas vegetadas. Áreas urbanas, marcadas pela retirada de vegetação nativa e impermeabilização do solo, com a pavimentação, estão mais vulneráveis à formação de focos de secas (Falasca et al., 2019) e a depender do local, pode desencadear incêndios florestais.

A partir das informações obtidas na literatura e considerando a disponibilidade dos dados, selecionou-se as variáveis mais adequadas para esta modelagem, descritas na Tabela 7.

Tabela 7 - Determinantes espaciais associados ao risco de secas (Fonte: I Care, 2024)

Determinante Espacial	Relação com a ameaça	Fonte de Dados
Distância às áreas vegetadas	Áreas vegetadas contribuem para a redução de ondas de calor. A tendência é de haver mais focos de ondas de calor quanto mais distante se estiver de áreas vegetadas. Fonte: Kalkstein et al., 2022	Dados do MapBiomas Coleção 7 (10m)
Distância às áreas antropizadas e pavimentadas	Áreas urbanas são mais sensíveis e vulneráveis às ondas de calor devido à elevada taxa de retenção de radiação solar de pavimentos e revestimentos, da maioria das construções urbanas. Logo, a tendência é de haver mais focos de ondas de calor quanto mais próximo estiver de áreas antropizadas e pavimentadas. Fonte: Falasca et al., 2019.	Dados do MapBiomas Coleção 7 (10m)
Uso e cobertura da Terra (proxy do albedo da superfície)	Áreas que possuem cobertura do solo com elevada capacidade de refletir a radiação solar (elevado albedo), evitam o aumento significativo da temperatura ambiente, e consequentemente reduzem a probabilidade de ocorrência de ondas de calor. Fonte: Falasca et al., 2019.	Dados do MapBiomas Coleção 7 (10m)
Distâncias áreas de drenagem	Quanto mais próximo do curso d'água maior o risco associado a inundações	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA)
Número máximo de dias consecutivos sem chuva no ano (dias). CDD	Chuvas intensas e/ou de longa duração favorecem a saturação dos solos, e contribuem para a ocorrência de concentração de água em determinadas regiões, ocasionando inundações. Fonte: Instituto Geológico, 2015; MCTI, 2021.	Modelo Regional ETA/INPE
Precipitação total no ano (PRCPTOT)	Precipitação acumulada anual	Modelo Regional ETA/INPE

1.6.2. Vulnerabilidade

A vulnerabilidade é a propensão ou predisposição para ser afetado negativamente. Abrange uma variedade de conceitos e elementos, incluindo sensibilidade ou suscetibilidade a danos e falta de capacidade de enfrentamento e adaptação (IPCC, 2023). Ela orienta a severidade em que o impacto tende a se concretizar no município de Guarulhos. Por exemplo, a inexistência de coleta de esgoto em determinada região torna a população local mais vulnerável aos impactos atrelados à ameaça de inundações fluviais. A Tabela 8 elenca os determinantes espaciais considerados para o dimensionamento da vulnerabilidade no território de Guarulhos.



Tabela 8 - Determinantes espaciais que demarcaram a vulnerabilidade (Fonte: I Care, 2024)

Determinante Espacial	Grupo	Ameaças aplicadas	Fonte de Dados
Taxa de população dependente (%)	Suscetibilidade	Alagamentos; Arboviroses; Deslizamentos de terra; Inundações fluviais; Ondas de calor; Secas	IBGE, 2010
Densidade populacional (hab/ha)	Suscetibilidade	Alagamentos; Deslizamentos de terra; Inundações fluviais; Ondas de calor; Secas	IBGE, 2022
Rendimento Nominal Mensal Per Capita (R\$/hab/mês)	Capacidade de Adaptação	Alagamentos; Arboviroses; Deslizamentos de terra; Inundações fluviais; Ondas de calor; Secas	IBGE, 2010
Taxa de esgotamento Sanitário	Capacidade de Adaptação	Arboviroses; Inundações fluviais; Secas	IBGE, 2010
Taxa de abastecimento de água	Capacidade de Adaptação	Inundações	IBGE, 2010

1.6.3. Exposição

A exposição é a presença de pessoas, meios de subsistência, ecossistemas, funções, serviços e ativos ambientais, infraestruturas, ativos econômicos, sociais ou culturais que podem ser afetados (IPCC, 2023). A análise da exposição é fundamental para direcionar esforços nas medidas de adaptação, priorizando locais onde as perdas associadas às ameaças tendem a ser maiores. A Tabela 9 sistematiza os determinantes espaciais que dimensionaram a exposição de cada região do município. A mesma exposição foi aplicada para todas as ameaças climáticas do estudo.

Tabela 9 - Determinantes espaciais que demarcaram a exposição (I Care, 2024)

Determinante Espacial	Relação com a exposição	Fonte de Dados
Densidade populacional	Maior densidade populacional implica em mais pessoas expostas, número de impactados tende a ser maior. Fonte: MCTI, 2021.	IBGE, 2022
Densidade de ativos comerciais	Maior densidade de ativos comerciais significa mais ativos expostos aos impactos, valor patrimonial atingido será maior.	Prefeitura de Guarulhos
Infraestrutura de Mobilidade (sistema viário)	Presença de infraestrutura de mobilidade urbana que poderá ter seus equipamentos ou usuários impactados.	Prefeitura de Guarulhos
Infraestrutura de serviços público (escola, hospitais, posto de saúde, estações de tratamento de água...)	Infraestruturas fundamentais para a qualidade de vida da população local. Caso sejam impactadas, danos são reverberados na prestação dos serviços públicos, usuários das unidades e em perdas de equipamentos.	SEADE/Prefeitura de Guarulhos



Determinante Espacial	Relação com a exposição	Fonte de Dados
Infraestrutura cultural (museus, teatros...)	Infraestruturas fundamentais para a qualidade de vida da população local. Caso sejam impactadas, danos são reverberados na prestação dos serviços públicos, usuários das unidades e em perdas de equipamentos.	SEADE
Infraestrutura ambiental (áreas protegidas, parques, verdes...)	Infraestruturas fundamentais para a população e os ecossistemas locais. Caso sejam impactadas, danos são reverberados na qualidade de vida, na proteção dos ecossistemas e em perdas de equipamentos.	Prefeitura de Guarulhos

3. Resultados

3.1. Caracterização da Cidade

Para a construção de uma caracterização geral sobre as particularidades do território, foram levantados os principais estudos dedicados aos riscos climáticos, planos estratégicos e políticas públicas, além de outros dados disponíveis. Entre eles:

- Plano de Adaptação e Resiliência à Mudança do Clima de Guarulhos (2022)
- Plano Diretor de Guarulhos, Lei nº 7.730/2019;
- Plano Municipal de Saneamento Básico de Guarulhos (2018);
- Plano Municipal de Contingência de Proteção e Defesa Civil de Guarulhos (2018);
- Plano Preventivo de Defesa Civil de Guarulhos para 2023/2024 (2024);
- Caderno Econômico de Guarulhos (2018);
- Plano Diretor de Drenagem (2004);
- Plano Local de Habitação e Interesse Social de Guarulhos (2011);
- Plano Diretor de Resíduos Sólidos (2011);
- Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Guarulhos (2013);
- Plano Diretor de Turismo de Guarulhos (2018);
- Plano Municipal de Gestão de Energia Elétrica de Guarulhos para 2019/2022 (2019).

O município de Guarulhos está localizado no estado de São Paulo e faz parte da região metropolitana da cidade de São Paulo. Ele possui a extensão de 318,675 km² e uma população de 1.291.771 habitantes (revisão outubro de 2022), sendo a segunda cidade mais populosa do estado de São Paulo e a 13^a do país. Sua economia é diversificada, com destaque para os setores industrial, comercial e de serviços (IBGE, 2022).

A Figura 3 apresenta a localização e delimitação geográfica do município de Guarulhos, assim como uma visão geral de sua ocupação territorial. Na Figura 3, pode-se perceber que uma parcela significativa da região norte da cidade, aproximadamente 30%, é ocupada por áreas verdes. De acordo com o Macrozoneamento (Plano Diretor), nela está localizada a Macrozona de Áreas Ambientalmente Protegidas, que abrigam as Unidades de Conservação. Dentre as áreas protegidas estão: a Área de Proteção Ambiental (APA) Paraíba do Sul, onde está grande parte da extensão do Parque Estadual de Itaberaba, APA Cabuçu-Tanque Grande, o Parque Estadual da Cantareira e a região onde busca-se implementar APA Capelinha-Água Azul. As principais UCs da região são o Parque Estadual da Cantareira, o Parque Estadual de Itaberaba e APA Cabuçu-Tanque Grande. Ao todo, hoje, são 10 unidades de conservação, regiões fundamentais para a proteção da fauna, da flora, dos solos, do conforto climático, do patrimônio histórico, cultural e dos corpos d'água da região, essenciais para a segurança hídrica da Região Metropolitana de São Paulo.

O relevo de Guarulhos encontra-se sob o domínio do Planalto Atlântico, onde estão presentes relevos de várzea, planícies aluviais, colinas, morros e serras. Sua área está inserida na Serra da Mantiqueira. Rossi et al. (2008) definem que os solos de Guarulhos são, de modo geral, "argilosos,

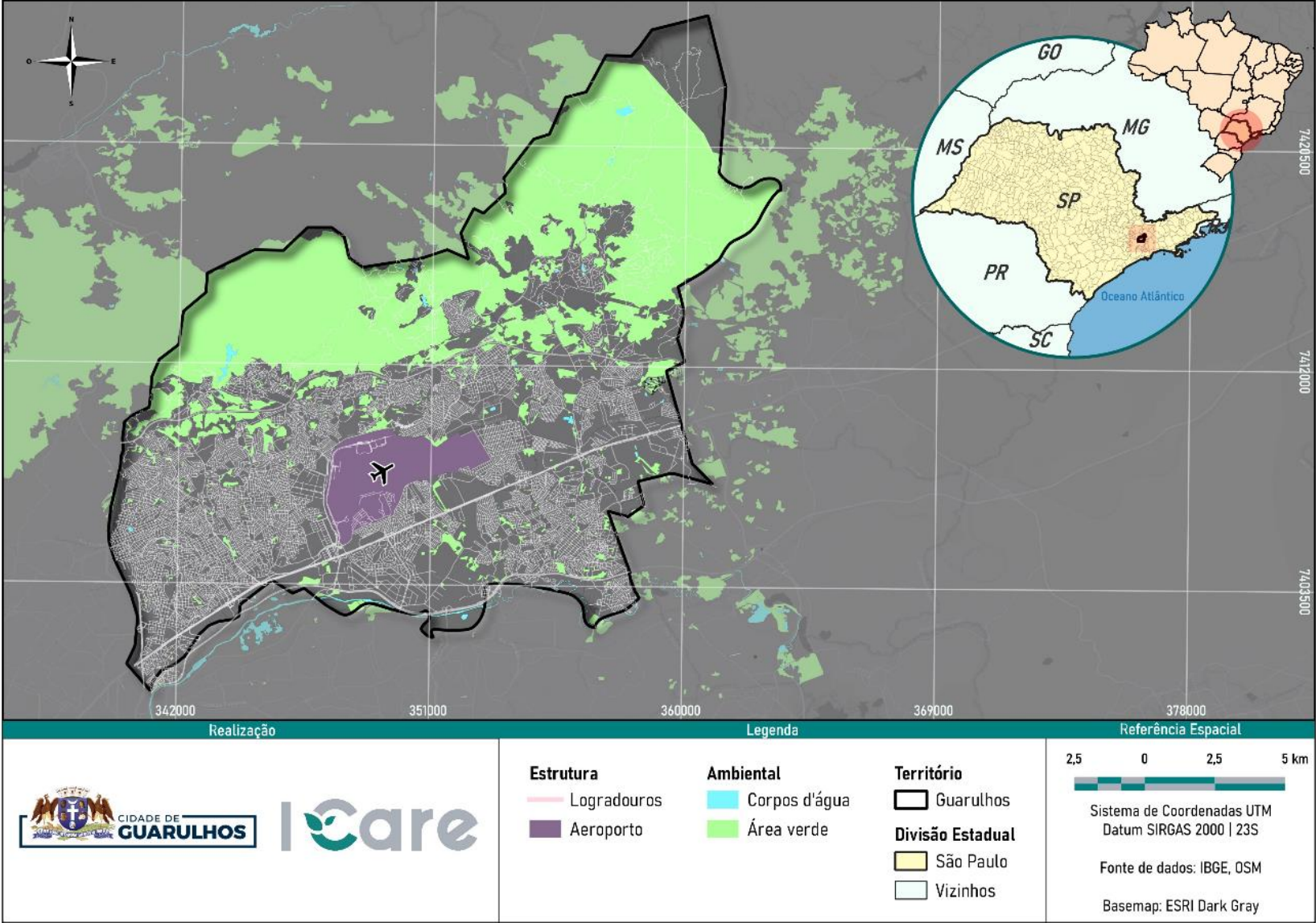


com fertilidade baixa, ácidos e excessivamente ácidos, com profundidade variada, dominando os solos pouco profundos nas vertentes mais declivosas”.

Segundo Oliveira et al., (2008), o clima do município é caracterizado como subtropical úmido, os ventos dominantes são de sudeste – noroeste e, como característica básica, o clima apresenta um inverno seco e um verão chuvoso, com influência da umidade oceânica e frentes frias antárticas. Guarulhos, entretanto, recebe chuvas substanciais durante todo o ano, sendo considerada uma cidade com precipitação anual razoavelmente alta. Assim como o Sudeste, de forma geral, Guarulhos está condicionado às características regionais da zona de transição entre a Frente Polar Atlântica e a Zona de Convergência do Atlântico Sul. A condição geográfica e climática da região favorece a larga cobertura vegetal nativa de Mata Atlântica.



Figura 3 - Localização do Município de Guarulhos (Fonte: I Care, 2023)





O município de Guarulhos abriga, também, o maior aeroporto da América do Sul e um dos maiores do mundo, o Aeroporto Internacional de São Paulo-Guarulhos. Sua localização também está destacada na Figura 3. Em 2023, o aeroporto recebeu cerca de 41,3 milhões de passageiros. Em dezembro do mesmo ano, a média de passageiros por dia foi de 78,5 mil. O aeroporto desempenha um papel crucial no transporte de passageiros e carga para o país e contribui significativamente para a economia local (GRU Airport, 2024).

O PIB de Guarulhos é de R\$ 77.376 milhões, o 10º maior do país, e o salário médio mensal dos trabalhadores formais é de 3 salários-mínimos, o 152º maior do país (IBGE, 2021). As Rodovias Presidente Dutra e Fernão Dias conectam Guarulhos a São Paulo e Rio de Janeiro, formando um importante fluxo logístico entre as cidades. No setor industrial, Guarulhos possui a presença de indústrias dos setores elétricos, metalúrgicos, alimentícios, automobilísticos, entre outros. Segundo a 8ª Edição do Caderno Econômico de Guarulhos, em 2020, destacaram-se as exportações do município de produtos minerais, produtos das indústrias químicas e conexas, produtos atrelados a pérolas, pedras e metais preciosos e a exportação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos. O comércio também é uma parte importante da economia de Guarulhos, que atende tanto à população local quanto ao grande volume de pessoas que transitam pela cidade.

Durante o processo de urbanização e industrialização, o município desenvolveu diversos problemas sociais e ambientais típicos da realidade das metrópoles do país. As elevadas demandas por emprego, habitação, educação, saúde e lazer, estabelece uma ocupação concentrada nas áreas centrais e promove a exclusão social nas periferias. Como resultado, iniciou-se o processo de ocupação em direção ao norte de Guarulhos, onde o número de loteamentos aprovados e irregulares acelera-se, avançando sobre as áreas protegidas e sobre áreas de proteção de mananciais, além da região dos Pimentas e arredores onde ocorreu um amplo adensamento (GUARULHOS, 2022).

Segundo os dados do Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS), Guarulhos possui coleta de esgoto em mais de 70% dos seus domicílios, entretanto, apenas 19% com tratamento de esgoto (2023). Segundo dados do IBGE, 71% dos domicílios urbanos em vias públicas são arborizados e 35% dos domicílios urbanos possuem urbanização adequada, com a presença de bueiro, calçada, pavimentação e meio-fio (IBGE, 2010).

Segundo o Plano Local de Habitação de Interesse Social da Prefeitura de Guarulhos (2011), o município é economicamente dinâmico e de baixo desenvolvimento social, embora sua produção industrial seja economicamente expressiva. Segundo o mesmo estudo, o déficit habitacional na região durante o período era de aproximadamente 52.647 residências, correspondendo a assentamentos precários (favelas e loteamentos clandestinos). Desse total, cerca de 40,22% são de residências em áreas de risco de inundações e escorregamentos.

A rede hidrográfica de Guarulhos é composta por diversos rios e córregos, com destaque para o Rio Tietê, que demarca o limite ao sul do município, o Rio Cabuçu de Cima e o Rio Baquirivu-Guaçu. O município ocupa duas bacias hidrográficas: a do Alto Tietê e do Rio Paraíba do Sul, porém a maior parte do território e, praticamente, todas as suas atividades econômicas se desenvolvem na Bacia do Alto Tietê (Guarulhos, 2008). A Bacia do Rio Baquirivu Guaçu, que compõe a do Alto Tietê, com 165,5 km², ocupa mais de metade da extensão do município. Ela constitui a segunda maior bacia na área urbana do Alto Tietê, com significativos remanescentes de várzeas e maciços florestais ao norte, onde estão localizadas as nascentes de seus principais afluentes (CAMPOS, 2011).

A Planície Aluvionar do Rio Baquirivu-Guaçu, nas suas condições naturais, apresentava feições típicas de um rio com canais meandrados. Isso significa que, em ocorrências de chuvas intensas, as áreas úmidas das várzeas eram inundadas, com o excesso de água se acumulando nos terrenos planos e baixos. Com a expansão da cidade e aterramento da área de várzea para a construção do



aeroporto, o extravasamento de água foi limitado à margem direita. Além disso, historicamente, as margens do Rio Baquirivu-Guaçu são ocupadas por diversas residências, tanto de nível médio a baixo, moradias precárias, diversos tipos de indústrias e pequenas propriedades rurais. A região de Cumbica é ocupada pelo Parque Industrial e por grandes empresas transportadoras de carga. Já Bonsucesso, possui uma pequena concentração industrial e urbana e reduzidas áreas de atividade agrícola e vegetação remanescente (DINIZ e DUARTE, 1996; MANZANO et al, 2019).

O Município de Guarulhos ocupa, ainda, parte da Várzea do Tietê, integrando sua Área de Proteção Ambiental. A Bacia do Rio Tietê é a maior do estado, seu curso total se estende por 1136 km e atravessa 282 municípios. A bacia é caracterizada por receber um grande volume de água, que escoar de variadas regiões e em diferentes velocidades de escoamento, a depender da morfologia local. Originalmente, a margem do rio era ocupada por pântanos, áreas brejosas e lagos, entretanto, o território foi intensamente ocupado por área urbanizada. Nesse processo, várzeas foram aterradas e diversos trechos do rio e afluentes foram retificados, intensificando a ocorrência de inundações (CAMPOS, 2011).

A partir da caracterização do município e do debate com a Prefeitura de Guarulhos e demais atores chave, foram selecionadas as 6 ameaças climáticas consideradas mais relevantes para o território:

- alagamentos;
- arboviroses;
- deslizamentos de terra;
- inundações fluviais;
- ondas de calor; e
- secas.

Estas, foram analisadas segundo o diagnóstico da ocorrência histórica, o prognóstico das projeções para as próximas décadas e as interações frente às vulnerabilidades do município.

3.2. Levantamento e avaliação do clima histórico

3.2.1. Precipitação

Foi realizada a análise dos dados históricos de precipitação do município de Guarulhos utilizando dados diários da estação meteorológica de Bonsucesso, administrada pela Agência Nacional de Águas (ANA), e dados de revisão climática para todo o município. Os critérios de escolha dessa estação se deram pela maior disponibilidade de registros no período de interesse e confiabilidade dos dados. Depois de coletados, tratados e avaliados, os dados foram divididos através da análise de sazonalidade, que tem por intuito identificar, de acordo com a média de chuvas mensais, quais meses fazem parte do período seco e chuvoso.

A partir disso, realizou-se o cálculo dos índices climáticos para avaliar o comportamento da precipitação ao longo dos anos. Por meio do método de Mann-Kendall, foi possível identificar se os dados apresentam ou não tendência, e, com a tendência identificada, pode-se analisar padrões nos dados históricos. Os índices climáticos utilizados para a precipitação estão descritos na Tabela 10.

Tabela 10 - Índices climáticos associados à precipitação utilizados no estudo (Fonte: I Care, 2024)

Índices - Precipitação	Descrição
PRCPTOT	Precipitação total no ano
CDD	Máximo de dias consecutivos sem chuva no ano
CWD	Máximo de dias consecutivos com chuva no ano



Índices - Precipitação	Descrição
Rx3day	Máximo de chuva registrado em um período de 3 dias no ano

PRCPTOT - Precipitação total no ano

O índice de precipitação total representa o volume total acumulado (mm) durante um período específico. A Figura 4 representa a série histórica da precipitação total anual no município de Guarulhos, enquanto a Figura 5 traz os dados separados em precipitação total durante os períodos chuvoso e seco.

Figura 4 - Análise da tendência histórica para precipitação acumulada anual (Fonte: I Care, 2024)

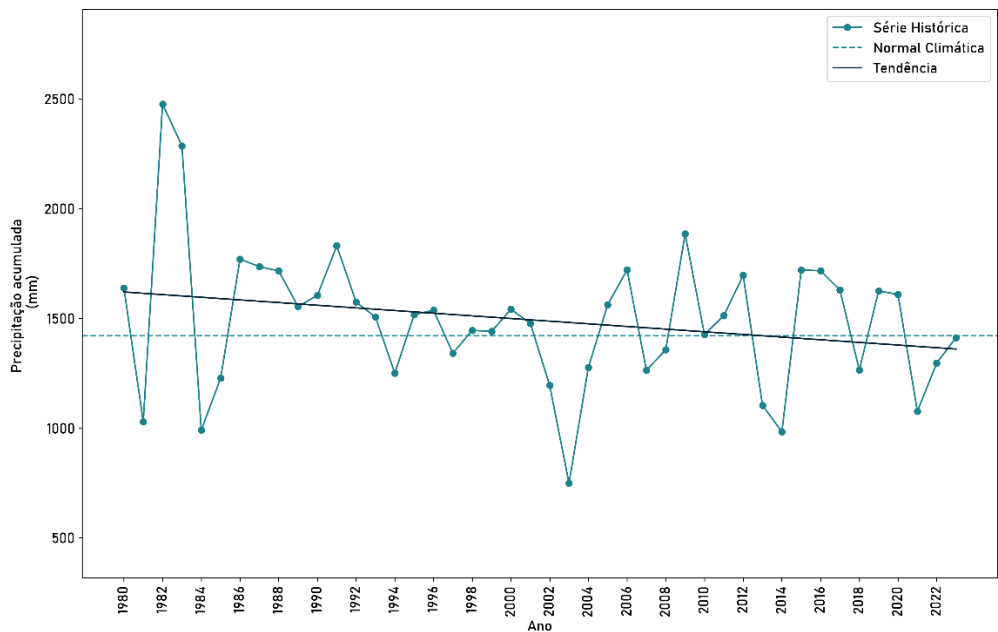
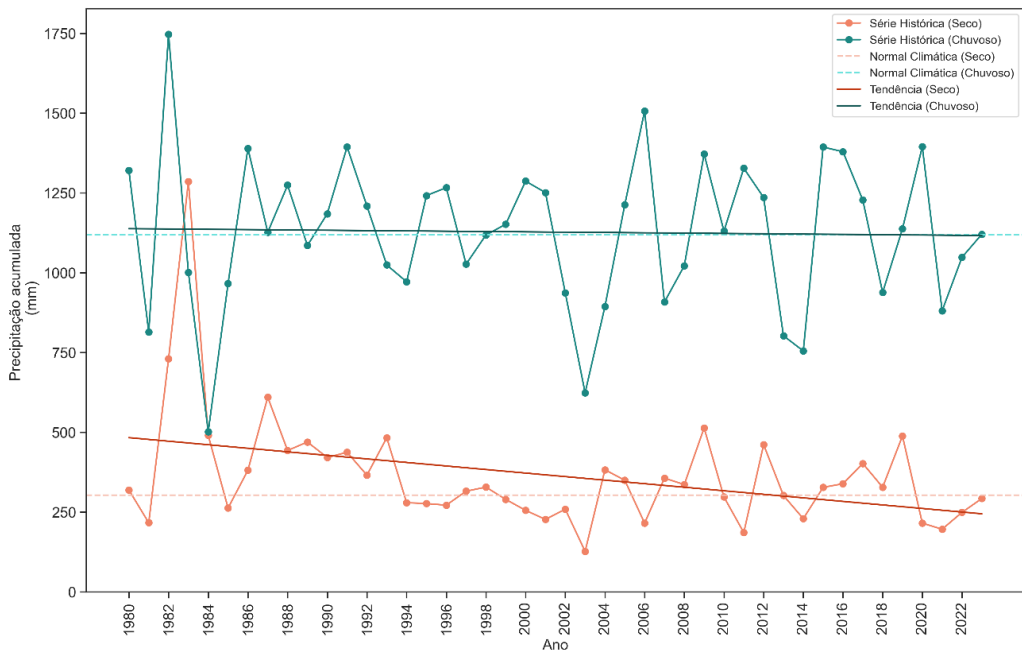


Figura 5 - Tendência histórica para precipitação acumulada anual nos períodos sazonais (Fonte: I Care, 2024)





- No geral, ao comparar os dois períodos, observa-se que os períodos chuvosos registram uma precipitação total significativamente maior do que os secos, expondo uma distinção clara entre os dois períodos.
- **Oscilação Anual significativa:** É notável a variação entre os totais precipitados de um ano para o outro. Em 1982 e 1983 por exemplo, foram registrados os maiores volumes de chuva, 2477 e 2286mm, já em 1981 e 1984, ocorreram alguns dos menores valores, 800 e 501mm no total. Essa variabilidade pode ter a influência de fatores climáticos e meteorológicos sazonais, que impactam ecossistemas, agricultura, entre outras áreas.
- **Chuvas Durante o Período Seco:** Importante ressaltar o registro de maior volume de chuvas durante o período seco em 1983, onde a precipitação foi maior durante o período seco (1282 mm) do que no período chuvoso (1001 mm). Demonstrando comportamentos que variam em determinados anos.
- **Anos Extremos:** Alguns anos se destacam por apresentarem valores extremos de precipitação total muito altos, como é o caso de 1982, 1983, 1986, 2009, 2015 e muito baixos, como 1984, 2003 e 2014 onde o período chuvoso registrou acumulados anuais de 501, 623 e 754 mm, respectivamente, bem abaixo do valor da Normal Climática que é 1115mm.

Tendências: Identificou-se um padrão de redução na precipitação anual. Este padrão também está presente tanto para o período seco, quanto para o chuvoso. Entretanto, a alteração no período úmido é amena, próxima de uma continuidade, enquanto no período seco existe uma tendência de drástica redução do volume total precipitado. Essa tendência se confirma ao analisar na Figura 4 que no século passado houve 15 anos com volumes anuais maiores que a normal climática 1446 mm, enquanto no atual, 11.

CDD - Máximo de dias consecutivos sem chuva no ano

O índice CDD é o maior período de dias consecutivos de dias secos (precipitação ≤ 1 mm) em um determinado período, ele reflete a duração dos períodos de estiagem. Na Figura 6, é possível visualizar a série histórica e a tendência do índice anual no município de Guarulhos. A Figura 7 traz o índice segregado para os períodos seco e chuvoso de cada ano.

Figura 6 - Identificação da tendência histórica para máx. dias consecutivos sem chuva (Fonte: I Care, 2024)

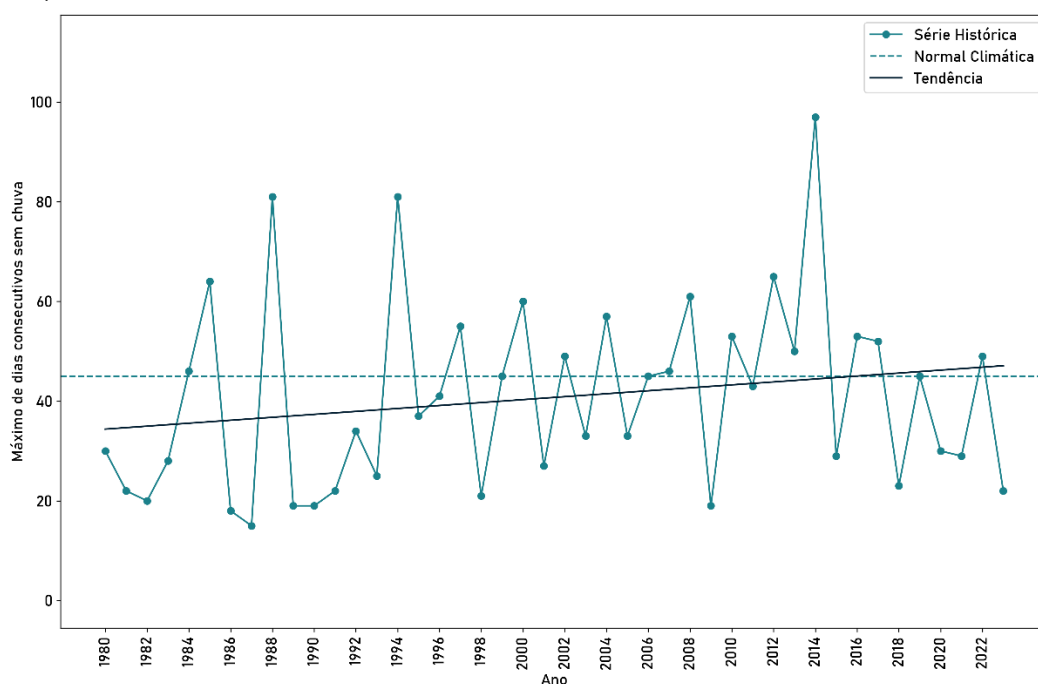
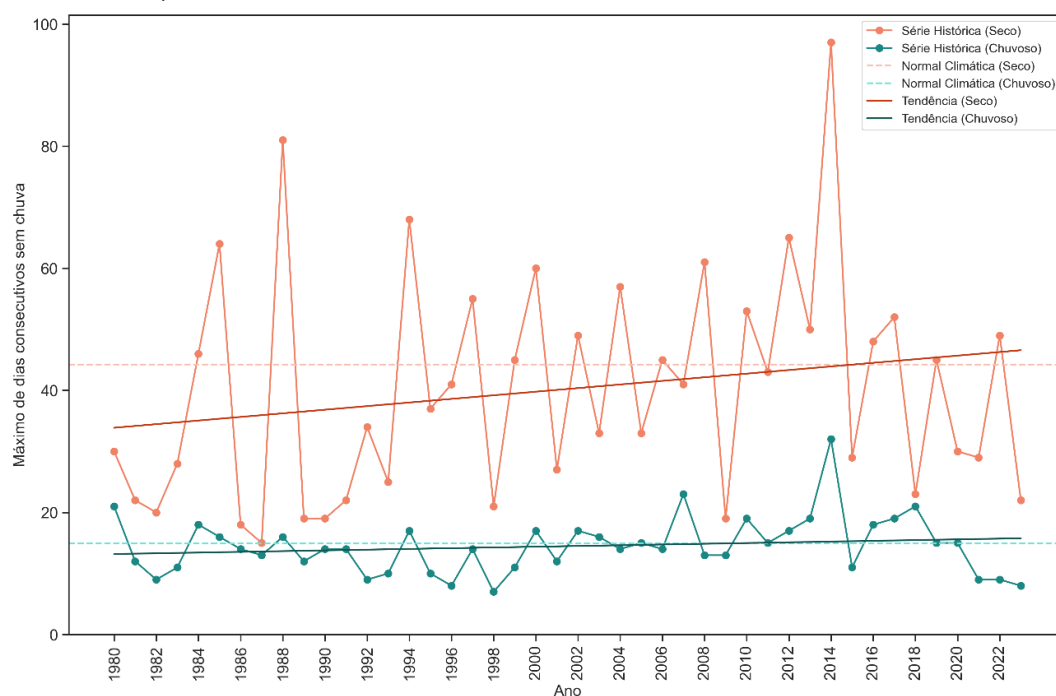




Figura 7 - Tendência histórica para máx. dias consecutivos sem chuva nos períodos sazonais (Fonte: I Care, 2024)



- **Anos Extremos:** Os anos de 2014, 1994 e 1988 se destacam com os maiores períodos de dias consecutivos sem chuva na série histórica do município de Guarulhos, totalizando 97, 81 e 81 dias respectivamente. Em 2014, o período chuvoso registrou 32 dias consecutivos sem chuva, tempo mais duradouro do que diversos anos apresentaram durante o período seco.
- **Oscilação Anual:** Houve uma oscilação considerável do CDD ao longo dos anos para o período seco, enquanto observa-se uma maior constância da distribuição no período chuvoso, exceto no ano de 2014 que a maior seca durou 32 dias.

Tendência: As linhas de tendência apontaram para um aumento no número de dias consecutivos sem chuva, tanto para o período seco, quanto chuvoso, o que implica num possível aumento da duração de secas/estiagens na região. A tendência de aumento se apresenta de forma amena para os períodos chuvosos, apontando para uma continuidade em relação à série histórica, e de forma acentuada no período seco. Este panorama traz riscos para a disponibilidade hídrica da região, podendo prejudicar a produtividade de safras e a geração de energia.

CWD - Máximo de dias consecutivos com chuva no ano

O índice CWD é o maior período de dias consecutivos de dias com chuva (precipitação > 1mm) em um ano, ele reflete a duração máxima de dias consecutivos chuvosos. Na Figura 8 é possível visualizar a série histórica anual e a tendência do índice para o município de Guarulhos. A

Figura 9 traz o índice segregado para os períodos seco e chuvoso de cada ano.



Figura 8 - Análise da tendência histórica para máx. dias consecutivos com chuva (Fonte: I Care, 2024)

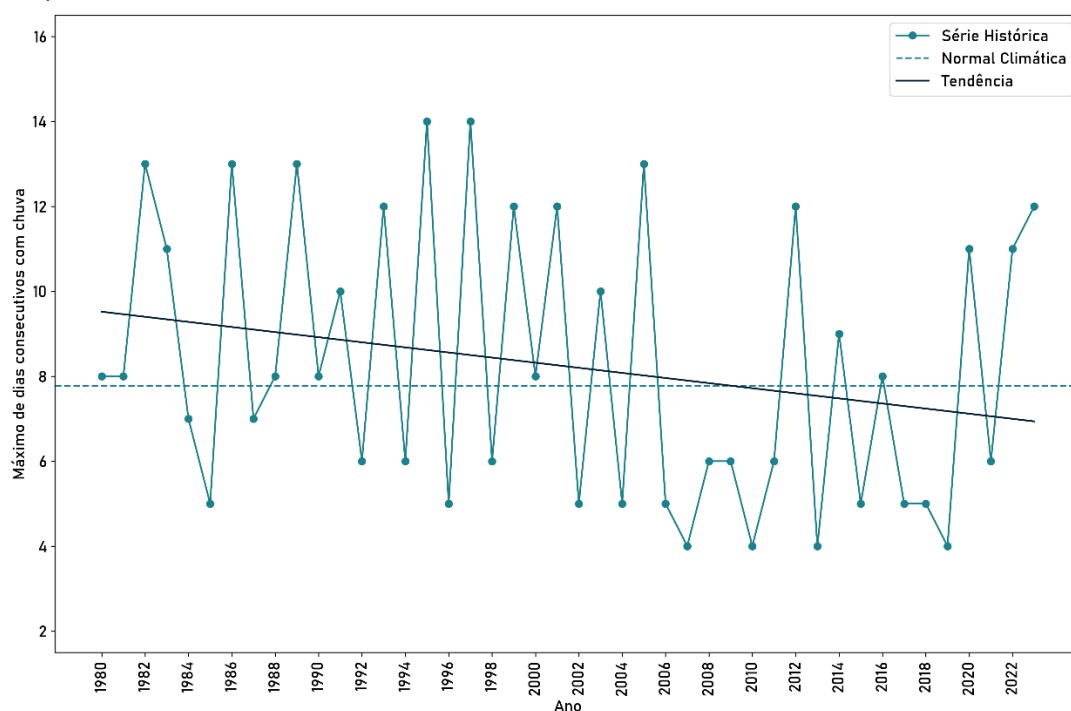
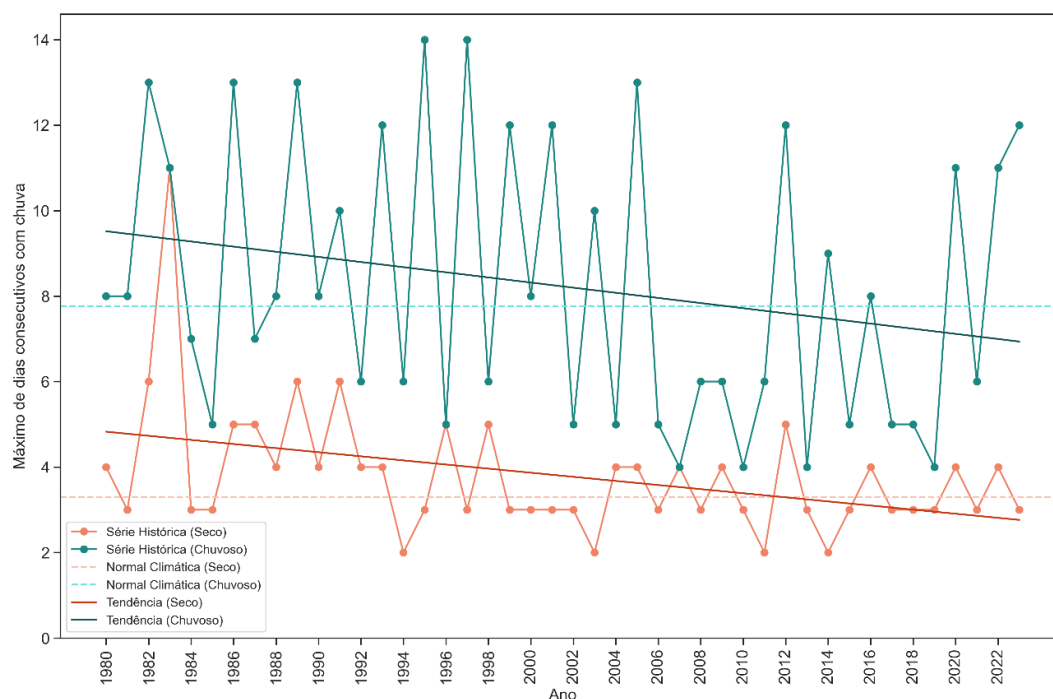


Figura 9 - Tendência histórica para máx. dias consecutivos com chuva nos períodos sazonais (Fonte: I Care, 2024)



- **Anos Extremos:** Os anos de 1982 e 1983 apresentaram uma sequência de dois anos seguidos como elevados períodos de dias chuvosos, 19 e 22 dias, respectivamente. Destaque para 1983, onde a maior sequência foi de 11 dias tanto para período seco, quanto para chuvoso.
- **Oscilação Anual:** Observa-se uma elevada oscilação do número máximo de dias consecutivos com chuva durante o período chuvoso, a diferença de ano para o outro mostrou-se bem expressiva. Durante o período seco, essa variância foi mais amena, mais próxima do valor da normal climática, salvo os anos de 1982 e 83 onde choveu durante períodos significativamente mais duradouros do que a média.



Tendência: As tendências apontam que Guarulhos está passando pela redução da duração dos dias consecutivos com chuva, em especial nos períodos chuvosos. Nesse sentido, pode ocorrer uma concentração dos volumes de chuvas em menos dias, aumentando o volume de chuva durante períodos mais curtos, podem impactar significativamente o meio ambiente e a sociedade, aumentando a frequência e a intensidade de desastres naturais (inundações, alagamentos, movimentos de massa, erosão).

Entretanto, o índice não analisa o volume de precipitação, portanto, deve ser analisado de forma associada a outros índices. A tendência de aumento no CDD, ou seja, mais dias consecutivos sem chuva, associada a uma tendência de redução no CWD, pode significar que um mesmo volume de chuva está acontecendo em menos tempo, portanto, as chuvas estão mais intensas. Esta tendência está alinhada às projeções associadas à intensificação das mudanças climáticas, que prevê períodos de seca mais longos e precipitações mais intensas, aumento os riscos atrelados à agricultura, infraestrutura e a segurança das comunidades.

Rx3day - Máxima precipitação acumulada em um período de 3 dias no ano

O índice Rx3day diz respeito à precipitação máxima acumulada durante 3 dias em um ano. Ele reflete no risco de ameaças climáticas atreladas a grandes volumes precipitados em poucos dias, como a ocorrência de deslizamentos, inundações e alagamentos. Na Figura 10 é possível visualizar a série histórica anual e a tendência do índice para o município de Guarulhos. A Figura 11 traz o índice segregado para os períodos seco e chuvoso de cada ano.

Figura 10 - Análise da tendência histórica para máx. precipitação acumulada em 3 dias (Fonte: I Care, 2024)

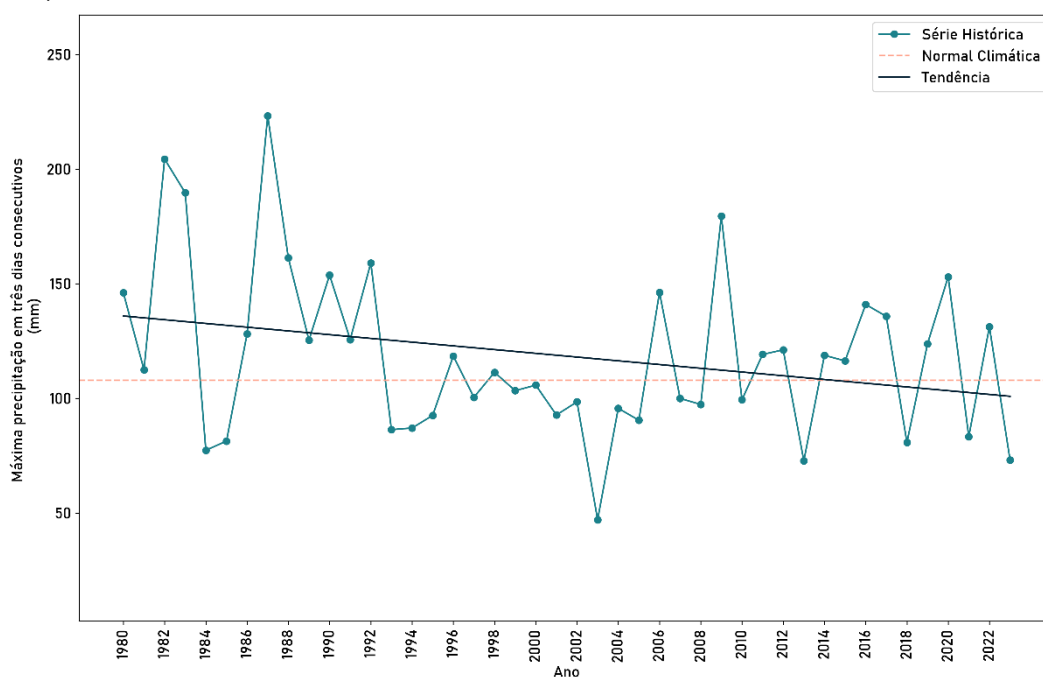
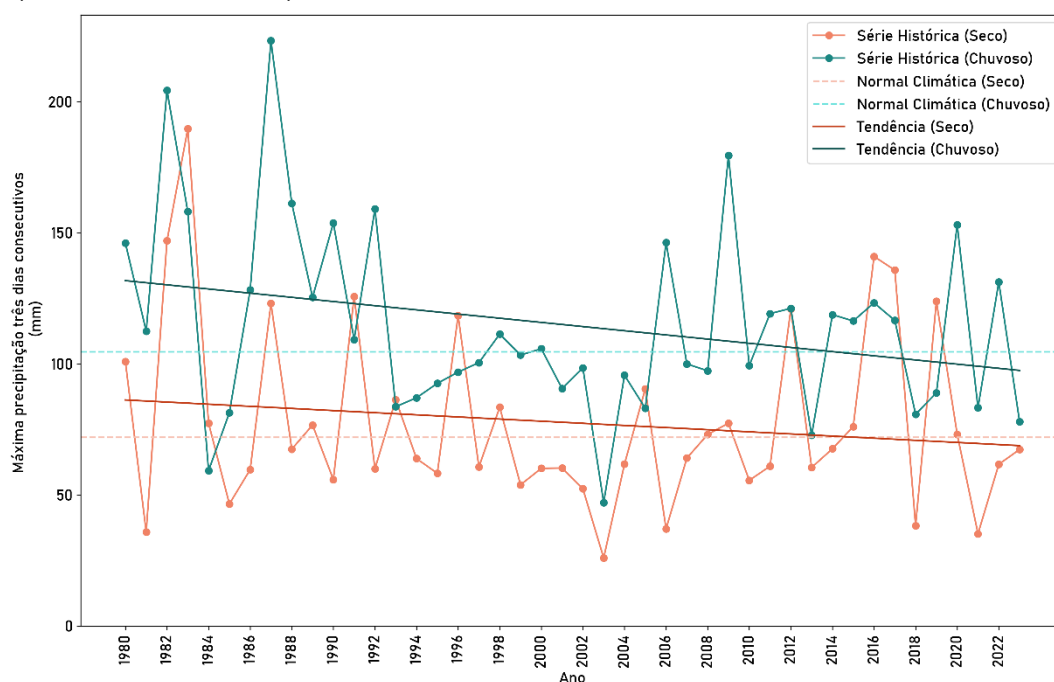




Figura 11 - Tendência histórica para máx. precipitação acumulada em 3 dias nos períodos sazonais (Fonte: I Care, 2024)



- **Oscilação Anual Significativa:** Ao longo dos anos, percebe-se uma oscilação considerável no volume máximo precipitado em 3 dias no município de Guarulhos. Os anos de 1982 e 1983 se destacaram pelo elevado volume durante os períodos secos, com máximas precipitações em 3 dias de 147 mm e 190 mm, respectivamente, assim como nos anos de 2016 e 2017.
- **Anos Extremos:** O ano de 1987 se destaca pela maior precipitação acumulada máxima em três dias, atingindo 223 mm. Elevados volumes precipitados indicam maior suscetibilidade à ocorrência e maiores intensidades em deslizamentos, inundações e alagamentos no período.

Tendência: Os dados históricos de Guarulhos apresentaram uma tendência média de redução no volume máximo precipitado em três dias. Este diagnóstico corrobora com a tendências de redução encontrada no índice de precipitação total por ano (PRCPTOT), indicando que o território está recebendo, em média, menores volumes de chuva. Contudo, importante estar atento, pois apesar da tendência de redução ainda há picos de precipitação em alguns anos.

De acordo com o Decreto N° 42.565/1997 que redefine o Plano Preventivo de Defesa Civil - PPDC específico para Escorregamentos nas Encostas da Serra do Mar, no Artigo 3º, indica que foram definidos valores acumulados de chuvas de 3 (três) dias como indicadores de maior ou menor suscetibilidade a escorregamentos e menciona também o Coeficiente de Ciclo Móvel – CCM, um indicador da anormalidade do período chuvoso. Esses parâmetros são importantes para direcionar os esforços do município e da Defesa Civil, para colocar em prática diferentes ações do Plano Preventivo.

No caso de Guarulhos, volumes acumulados de chuvas de 3 (três) dias acima de 80mm configuram estado de alerta. Além disso, representantes da Defesa Civil afirmaram que a partir de 60mm é possível observar ocorrências de enchentes e acima de 90mm, a ocorrência de inundações.

3.2.2. Temperatura

Foi realizada a análise dos registros históricos de temperatura do município de Guarulhos utilizando dados horários de revisão climática. Depois de coletados, tratados e avaliados, os dados foram divididos através da análise de sazonalidade, que tem por intuito identificar, de acordo com a média de chuvas mensais, quais meses fazem parte do período seco e chuvoso.



A partir disso, realizou-se o cálculo dos índices climáticos para avaliar o comportamento da temperatura ao longo dos anos. Por meio do método de Mann-Kendall, foi possível identificar se os dados apresentam ou não tendência, e, com a tendência identificada, pode-se analisar padrões de crescimento ou decrescimento nos dados históricos. Os índices climáticos utilizados para a temperatura estão descritos na Tabela 11.

Tabela 11 - Índices climáticos associados à temperatura utilizados no estudo (Fonte: I Care, 2024)

Índices - Precipitação	Descrição
MXTP	Maior temperatura anual (°C)
TX90p	Percentual anual de dias em que TX > percentil 90 (%)
MNTP	Menor temperatura mínima (°C)

MXTP - Maior temperatura anual (°C)

O índice MXTP representa o dia com temperaturas mais elevadas em um ano, calculado a partir do valor máximo da temperatura diária máxima. Na Figura 12 é possível visualizar a série histórica anual e a tendência do índice para o município de Guarulhos. A Figura 13 traz o índice segregado para os períodos seco e chuvoso de cada ano.

Figura 12 - Análise da tendência histórica para temperatura máxima anual (Fonte: I Care, 2024)

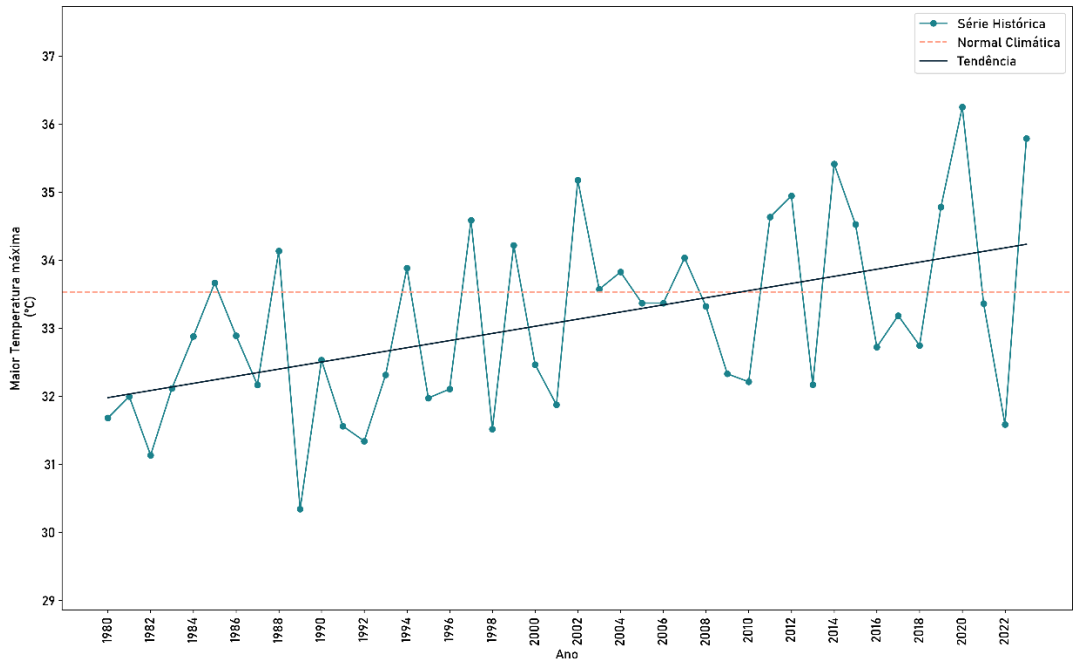
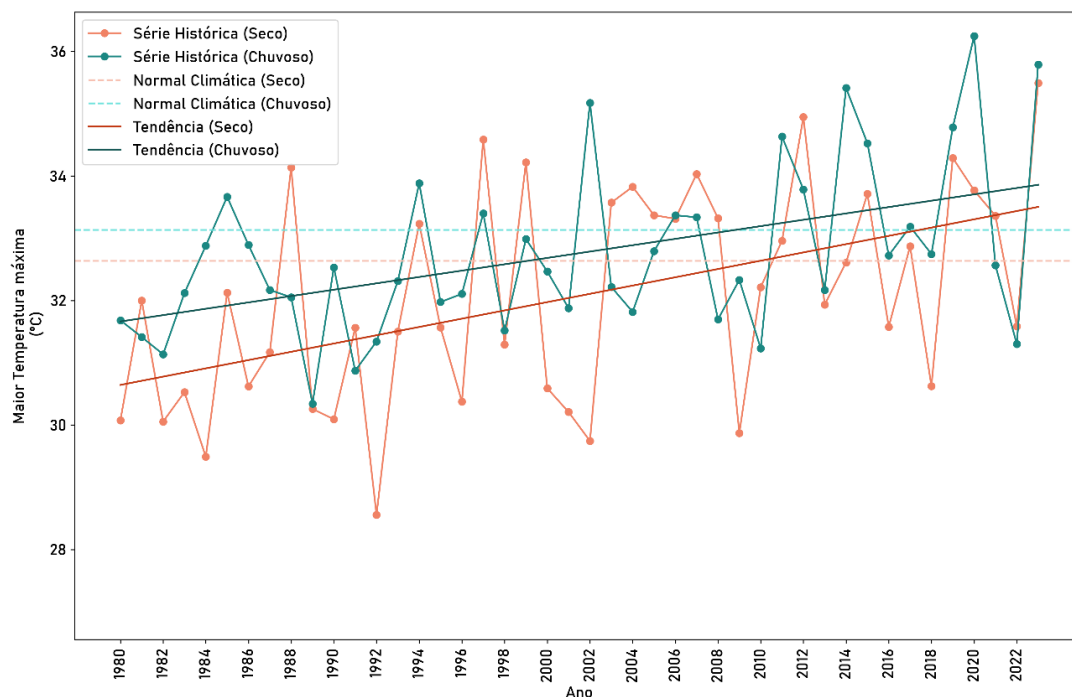




Figura 13 - Tendência histórica para temperatura máxima anual em períodos sazonais (Fonte: I Care, 2024)



- **Oscilação Anual:** É possível identificar que os registros apresentam considerável oscilação durante o período, se mostrando mais pronunciada no período seco.
- **Diferença entre período seco e chuvoso:** Observa-se que, de forma geral, a temperatura é mais elevada durante o período chuvoso. Entretanto, em 14 anos dentro da série histórica, o período seco registrou a maior temperatura, com destaque para 1988, 1977, 1999, e 2005, em comparação ao período chuvoso.
- **Anos mais quentes:** O ano de 2020 registrou a temperatura máxima mais alta do período, com **36,3°C**. O ano de 2023 apresentou a temperatura máxima mais alta durante o período seco, atingindo **35,5°C**.

Tendência: As tendências apontam para o aumento da temperatura máxima na região de Guarulhos nos últimos anos. O período chuvoso apresentou registros mais altos de temperatura máxima, entretanto, o crescimento é mais acelerado no período seco, especialmente nos anos mais recentes. Este resultado aponta para o aumento na intensidade de ondas de calor em Guarulhos, além de trazer implicações na severidade dos impactos de secas e incêndios na região.

TX90p - Percentual anual de dias em que TX > percentil 90 (%)

O índice TX90p representa o dia mais quente em um ano, a partir do valor máximo da temperatura diária máxima. Na Figura 14 é possível visualizar a série histórica anual e a tendência do índice para



o município de Guarulhos. A Figura 15 traz o índice segregado para os períodos seco e chuvoso de cada ano.

Figura 14 - Análise da tendência histórica para frequência de dias muito quentes (%) (Fonte: I Care, 2024)

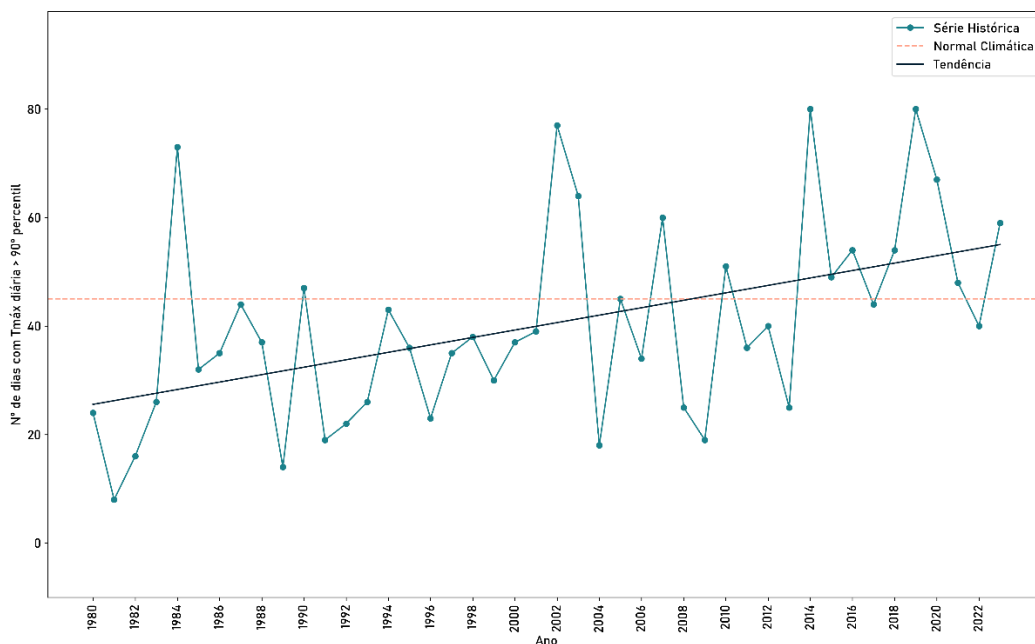
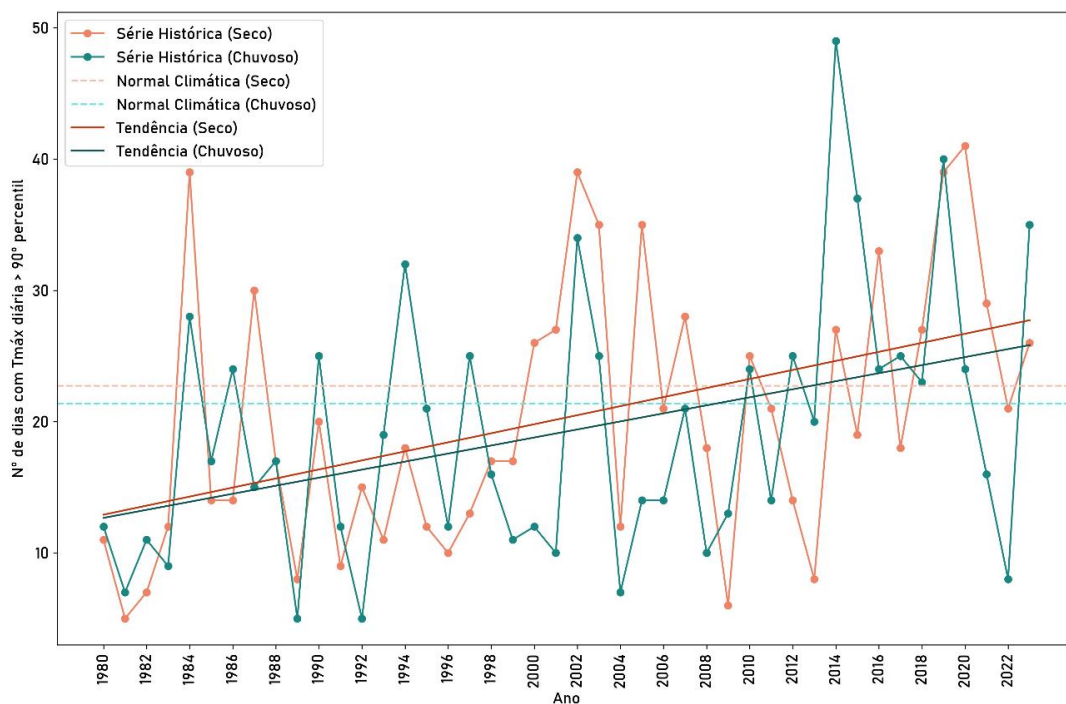


Figura 15 - Tendência histórica para frequência de dias muito quentes (%) em períodos sazonais (Fonte: I Care, 2024)



- **Oscilação Anual:** Os registros históricos apontam oscilações significativas para o índice Tx90p, tanto no período seco quanto no chuvoso, que apresentam comportamentos similares. O ano de 1994, 2002 e 2014 apresentaram as maiores quantidade de dias com as temperaturas elevadas em cada ano, dentro da série histórica, sendo cerca de 40 dias nos anos de 1994 e 2002, e cerca de 50 dias no ano de 2014.
- **Diferença entre período seco e chuvoso:** No geral, o período chuvoso concentra mais dias quentes. Contudo, em alguns anos predominaram a maior quantidade de dias quentes no



período seco. Em 1984, os dias mais quentes ocorreram 39% na estação seca e 28% na chuvosa; em 2014, foram 27% de dias mais quentes no período seco e 49% no chuvoso. Essa diferença pode estar atrelada à intensificação de eventos climáticos extremos, consequente das mudanças climáticas e seus impactos locais e regionais.

- **Anos mais quentes:** Os anos com maior frequência de dias quentes, com base no índice Tx90p, foram 1984, 2002, e 2014 e 2019. A ocorrência contínua de muitos dias com temperaturas elevadas está diretamente associada à formação de ondas de calor, portanto, os registros elevados podem estar associados à maior intensidade ou frequência do evento.

Tendência: As tendências apontam para o aquecimento na região de Guarulhos. O período seco apresentou maior frequência de dias muito quentes e um crescimento mais acelerado ao longo do período histórico. Este resultado aponta para o aumento na intensidade de ondas de calor em Guarulhos, além de poder trazer implicações na severidade dos impactos de secas e incêndios na região.

MNTP – Menor temperatura mínima anual

O índice MNTP representa o menor valor do ano entre as temperaturas mínimas diárias de determinado período. Na Figura 16 é possível visualizar a série histórica anual e a tendência do índice para o município de Guarulhos. A Figura 17 traz o índice separado para os períodos seco e chuvoso de cada ano.

Figura 16 - Análise da tendência histórica para menor temperatura mínima anual (Fonte: I Care, 2024)

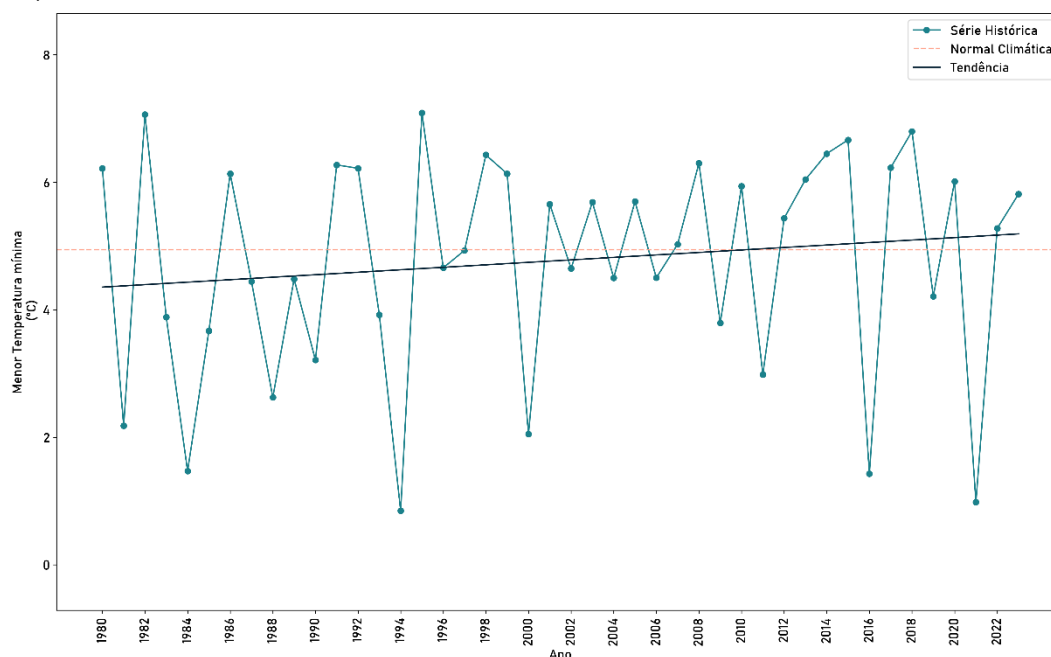
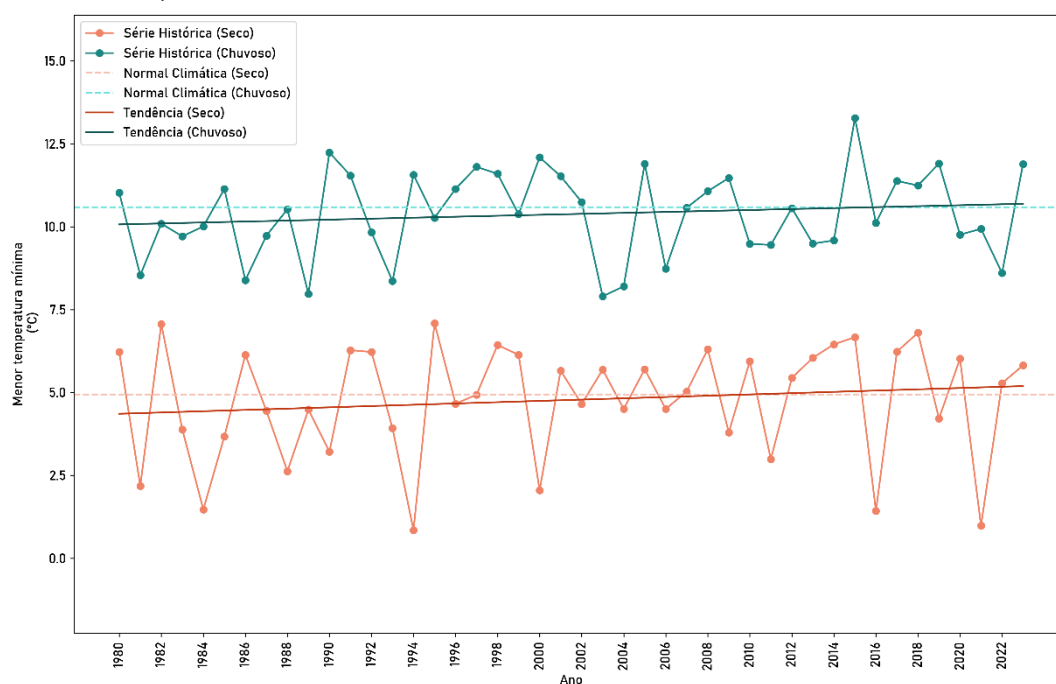




Figura 17 - Tendência histórica para mínima temperatura máxima em períodos sazonais (Fonte: I Care, 2024)



- **Oscilação Anual:** É possível identificar que os registros apresentam considerável oscilação durante o período, se mostrando mais pronunciada no período seco.
- **Diferença entre período seco e chuvoso:** Observa-se que a temperatura mínima é mais baixa durante os períodos secos.
- **Anos mais frios:** Os anos de 1994 e 2021 obtiveram os registros mais baixos de temperatura do intervalo de estudo, com 0,8 e 1,0 °C, ambos no período seco. Para o período chuvoso, os anos com dias mais frios foram 2003 e 1989, que registraram 7,9 e 8,0 °C, respectivamente.

Tendência: As tendências apontam para o aumento da temperatura mínima anual na região de Guarulhos nos últimos anos. O período chuvoso apresentou registros mais altos de menor temperatura mínima, entretanto, ambos os períodos sazonais manifestam tendência de crescimento. Este resultado pode indicar uma tendência de redução na ocorrência ou na intensidade de ondas de frio no município.

3.3. Levantamento e avaliação do clima futuro

Por meio da modelagem climática foi realizada a análise das projeções para precipitação e temperatura no clima futuro do município de Guarulhos. Foram utilizados 3 (três) Modelos Climáticos Globais acoplados ao Modelo Climático Regional (MCR) ETA, 2 (dois) cenários, sendo eles RCP 4.5 e RCP 8.5, e 3 (três) horizontes temporais: 2025 até 2040 (período curto), até 2070 (período médio) e até 2100 (período distante).

Com os dados obtidos, foram calculados os mesmos índices climáticos globais utilizados no clima histórico, descritos na Tabela 10, para precipitação, e na Tabela 10, para temperatura. Os resultados foram submetidos ao teste de Mann-Kendall para verificar a existência de tendências. O comportamento de cada índice foi analisado visando verificar se apontam tendência de intensificação ou não de eventos climáticos extremos e qual cenário traz tendências mais críticas.



3.3.1. Precipitação

PRCPTOT - Precipitação total no ano

O índice de precipitação total representa o volume acumulado (mm) de chuvas durante um período específico. A Figura 18 apresenta as tendências das projeções no cenário RCP 4.5 para cada modelo climático analisado, nos horizontes temporais definidos. Na Figura 19, são apresentados os resultados para o cenário RCP 8.5 no município de Guarulhos. A Figura 20 apresenta a média dos modelos, tanto para o cenário de redução das emissões globais (RCP 4.5), quanto para o de continuidade no aumento das emissões (RCP 8.5).

Figura 18 - Identificação de tendências para precipitação acumulada anual no cenário RCP 4.5 (Fonte: I Care, 2024)

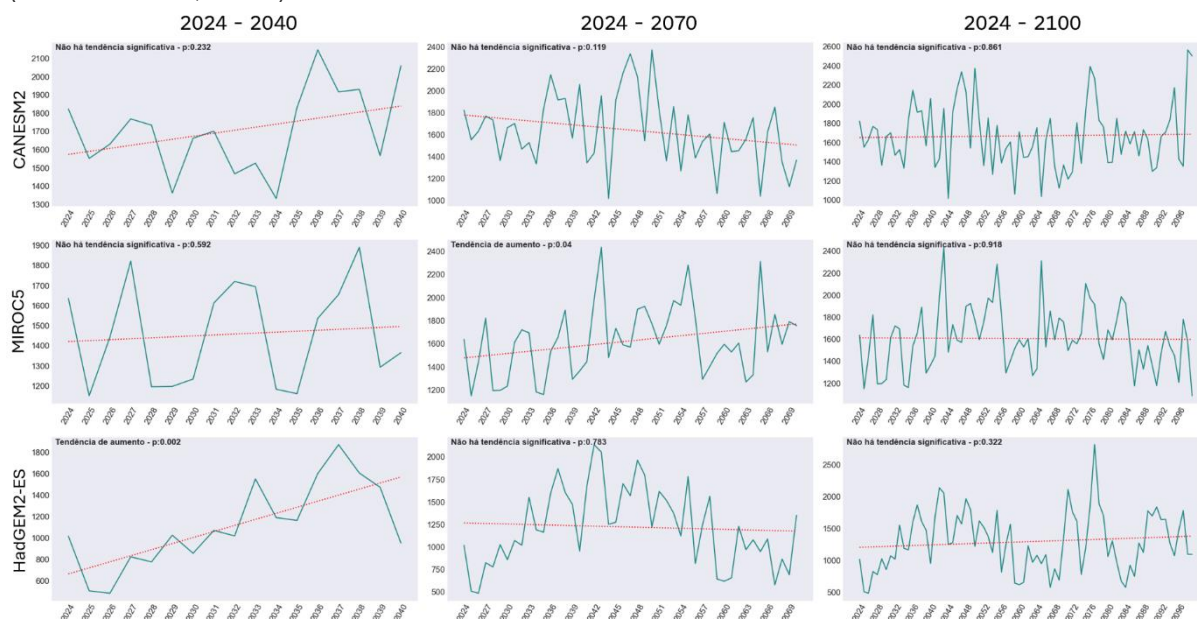


Figura 19 - Identificação de tendências para precipitação acumulada anual no cenário RCP 8.5 (Fonte: I Care, 2024)

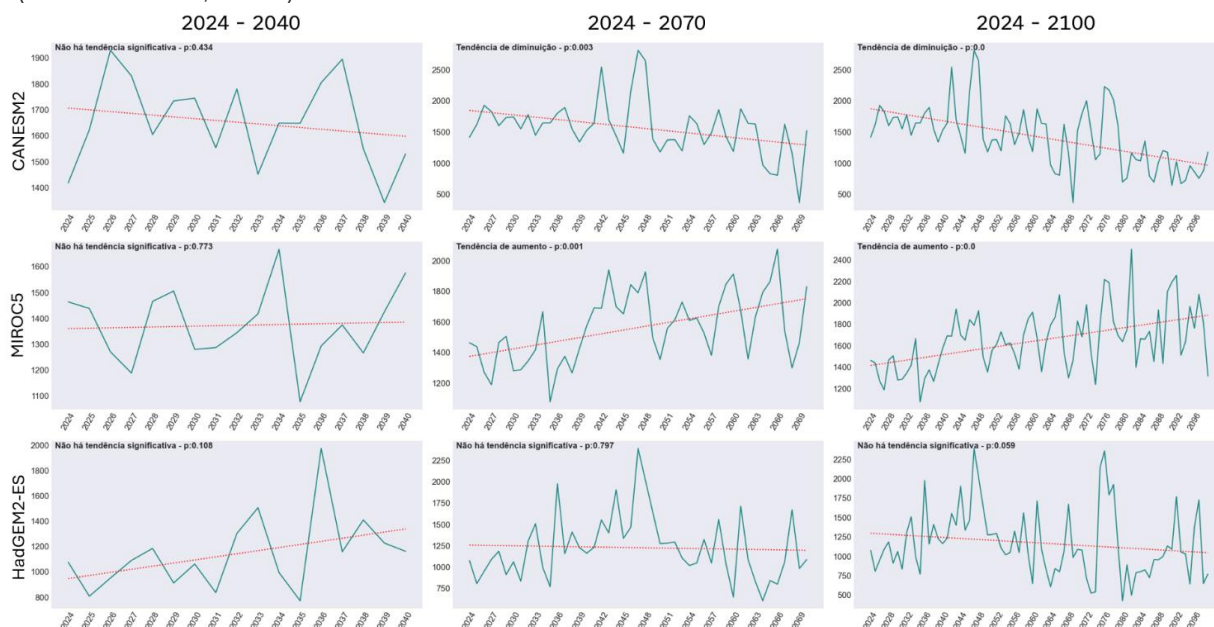
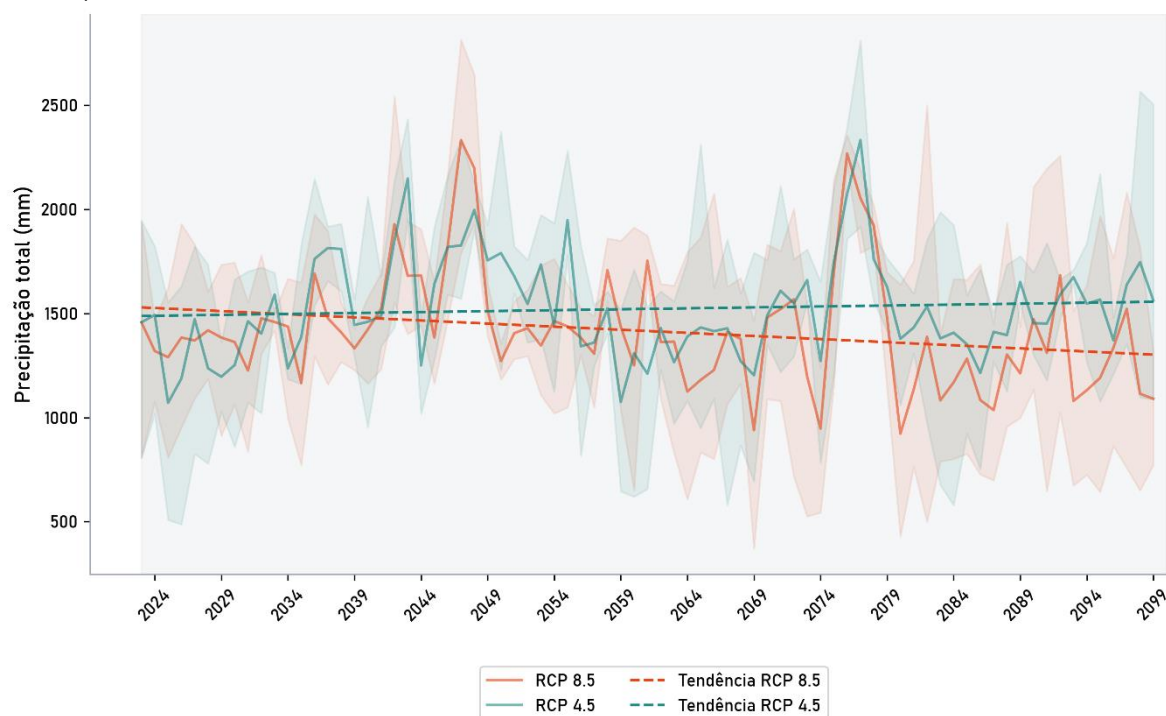




Figura 20 - Análise das tendências projetadas para precipitação acumulada anual (Fonte: I Care, 2024)



- **Comparação com o clima histórico:** Resultados das projeções climáticas concordam com a tendência apontada no clima histórico de redução no volume de precipitação para os próximos anos.
- **Modelos:** Para o cenário RCP8.5, o modelo MIROC5 teve uma tendência divergente dos demais modelos. Nesse caso, considerou-se a média dos modelos com a mesma tendência.
- **Cenários:** O cenário RCP 4.5 aponta para uma continuidade no volume total precipitado, enquanto o RCP 8.5 aponta para a redução.

Tendência: Foi identificada a tendência de manutenção no volume total precipitado em Guarulhos no cenário de menores emissões (RCP 4.5). Para o cenário de continuidade no crescimento das emissões (RCP 8.5), as projeções climáticas apontaram para a redução do volume. Este resultado indica que a intensificação das mudanças climáticas está associada ao aumento dos riscos associados a secas na região. Contudo, observa-se as diferentes tendências para os diferentes períodos, logo cada período deve ser analisado separadamente, pois pode indicar variações de tendência.

Em acordo com o Plano de Adaptação de 2022, “segundo os dados uma queda no acúmulo de precipitação em relação ao aumento da emissão de GEE” [...] “a precipitação máxima anual apresenta possibilidade de chuvas intensas nunca ocorridas anteriormente durante o período histórico (2020-2050), em cenários mais extremos na forçante radiativa RCP 8.5. “

CDD - Máximo de dias consecutivos sem chuva no ano

O índice CDD indica o maior período de dias consecutivos sem chuva (precipitação $\leq 1\text{mm}$) em um ano, e reflete a duração dos períodos de estiagem. A Figura 21 apresenta as tendências das projeções no cenário RCP 4.5 para cada modelo climático analisado, nos horizontes definidos. Na Figura 22, são apresentados os resultados para o cenário RCP 8.5 no município de Guarulhos. A Figura 23 apresenta a média dos modelos, tanto para o cenário de redução das emissões globais (RCP 4.5), quanto para o de continuidade no aumento das emissões (RCP 8.5).



Figura 21 - Identificação de tendências para máx. dias consecutivos sem chuva no cenário RCP 4.5 (Fonte: I Care, 2024)

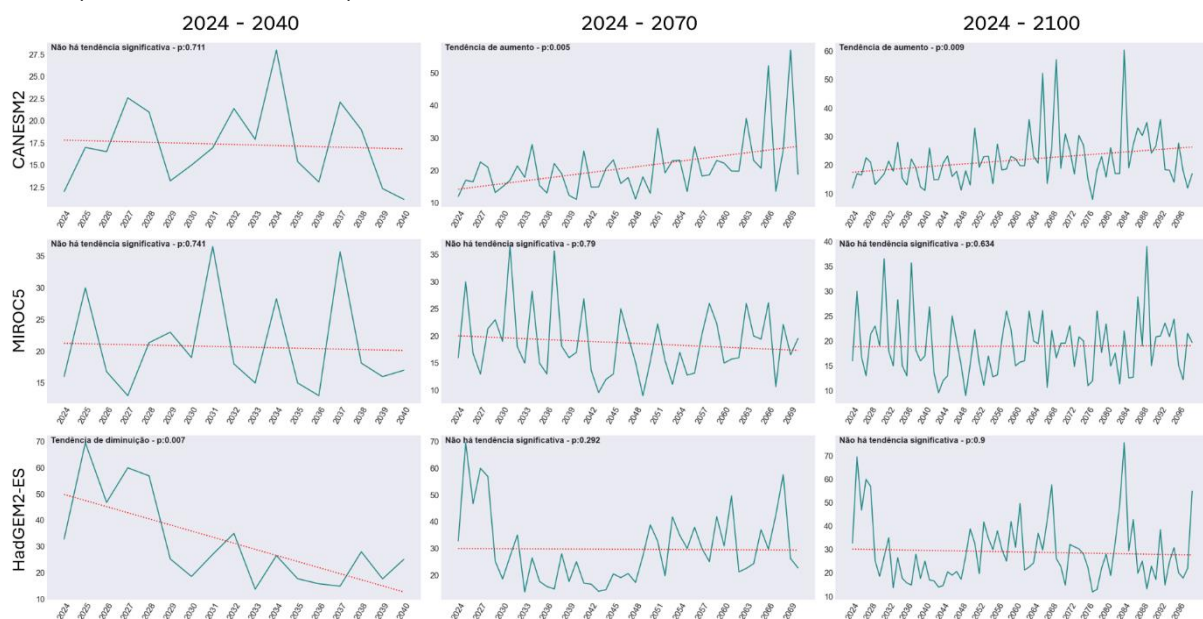


Figura 22 - Identificação de tendências para máx. dias consecutivos sem chuva no cenário RCP 8.5 (Fonte: I Care, 2024)

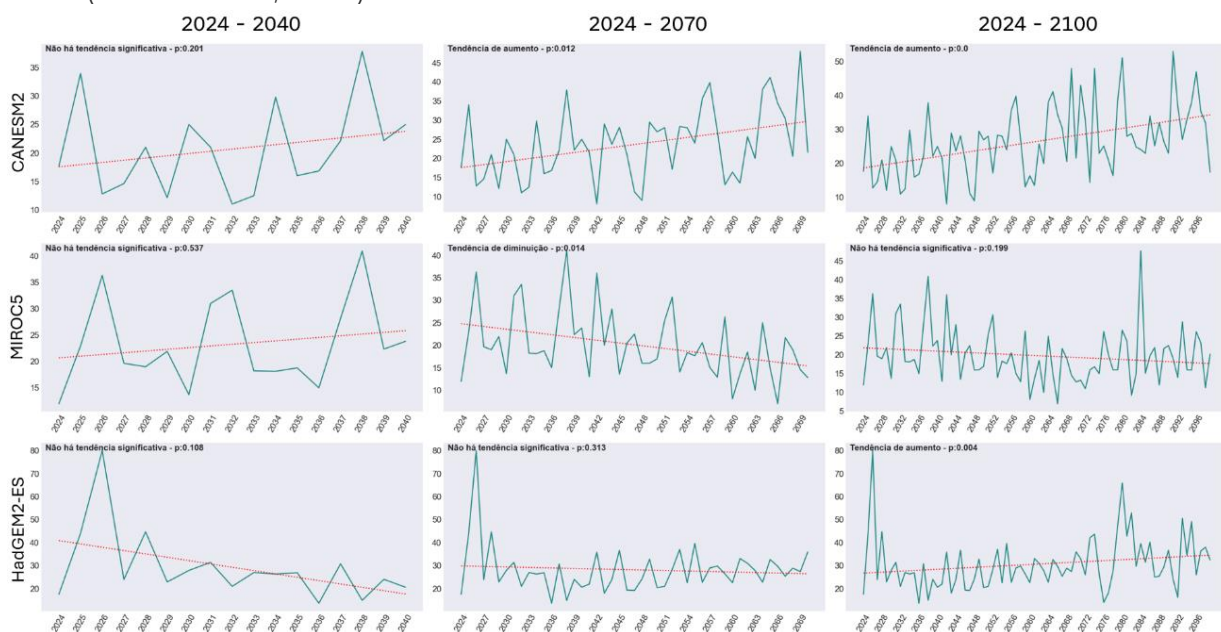
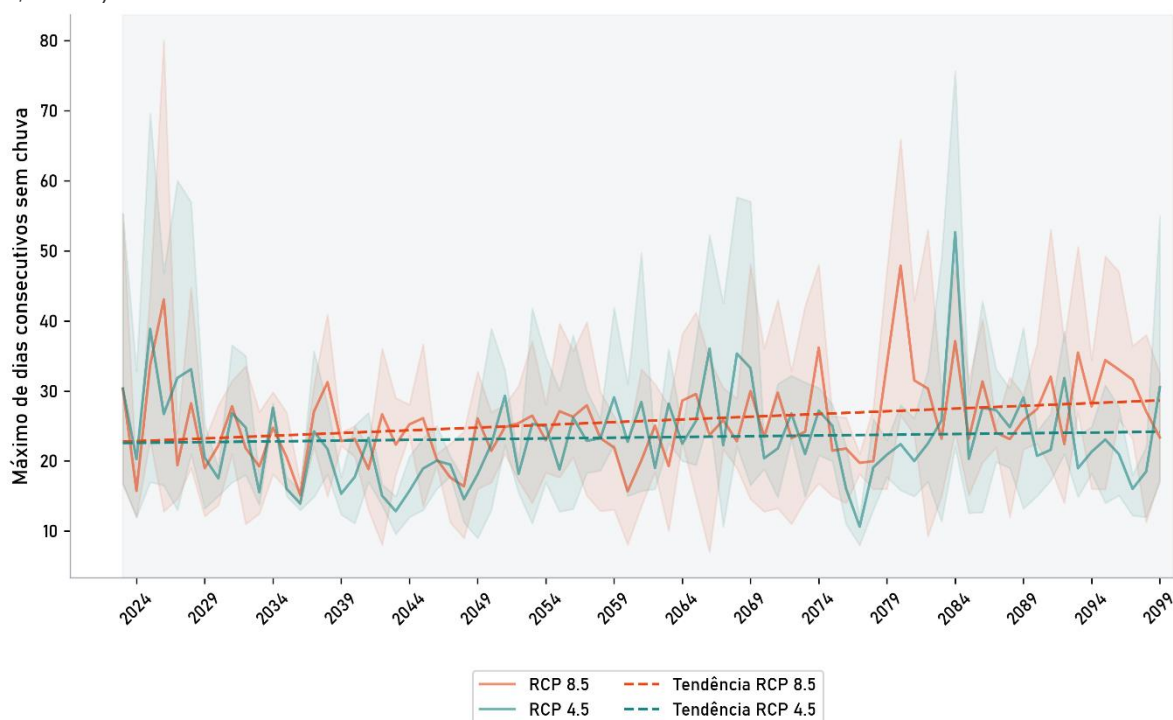




Figura 23 - Análise das tendências projetadas para máx. dias consecutivos sem chuva (Fonte: I Care, 2024)



- **Comparação com o clima histórico:** Resultados das projeções climáticas concordam com a tendência apontada no clima histórico de aumento no número de dias consecutivos sem chuva.
- **Modelos:** Para o cenário RCP8.5, o modelo MIROC5 teve uma tendência divergente dos demais modelos. Nesse caso, considerou-se a média dos modelos com a mesma tendência.
- **Cenários:** O cenário RCP 4.5 aponta para uma continuidade no número máximo de dias consecutivos sem chuva, enquanto o RCP 8.5 aponta para um aumento dos períodos sem chuva.

Tendência: Foi identificada a tendência de manutenção no número máximo de dias consecutivos sem chuva em Guarulhos no cenário de menores emissões (RCP 4.5). Para o cenário de continuidade do aumento das emissões (RCP 8.5), as projeções climáticas apontaram para o aumento da duração de períodos mais longos sem precipitação. Este resultado indica que a intensificação das mudanças climáticas está associada ao aumento dos riscos associados a secas na região. Contudo, observa-se as diferentes tendências para os diferentes períodos, logo cada período deve ser analisado separadamente, pois pode indicar variações de tendência.

CWD - Máximo de dias consecutivos com chuva no ano

O índice CWD indica o maior período com dias consecutivos com chuva (precipitação > 1mm) em um ano, e reflete os a duração dos períodos de chuvosos. A Figura 24 apresenta as tendências das projeções no cenário RCP 4.5 para cada modelo climático analisado, nos horizontes históricos definidos. Na Figura 25, são apresentados os resultados para o cenário RCP 8.5 no município de Guarulhos. A Figura 26 apresenta a média dos modelos, tanto para o cenário de redução das emissões globais (RCP 4.5), quanto para o de continuidade no aumento das emissões (RCP 8.5).



Figura 24 - Identificação de tendências para máx. dias consecutivos com chuva no cenário RCP 4.5 (Fonte: I Care, 2024)

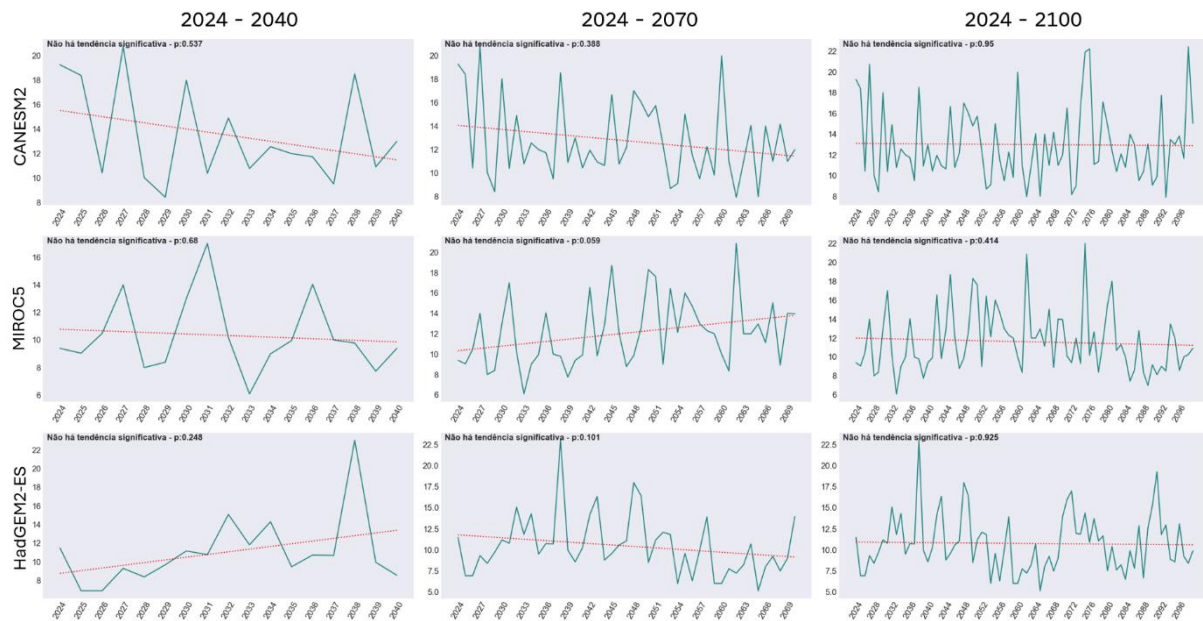


Figura 25 - Identificação de tendências para máx. dias consecutivos com chuva no cenário RCP 8.5 (Fonte: I Care, 2024)

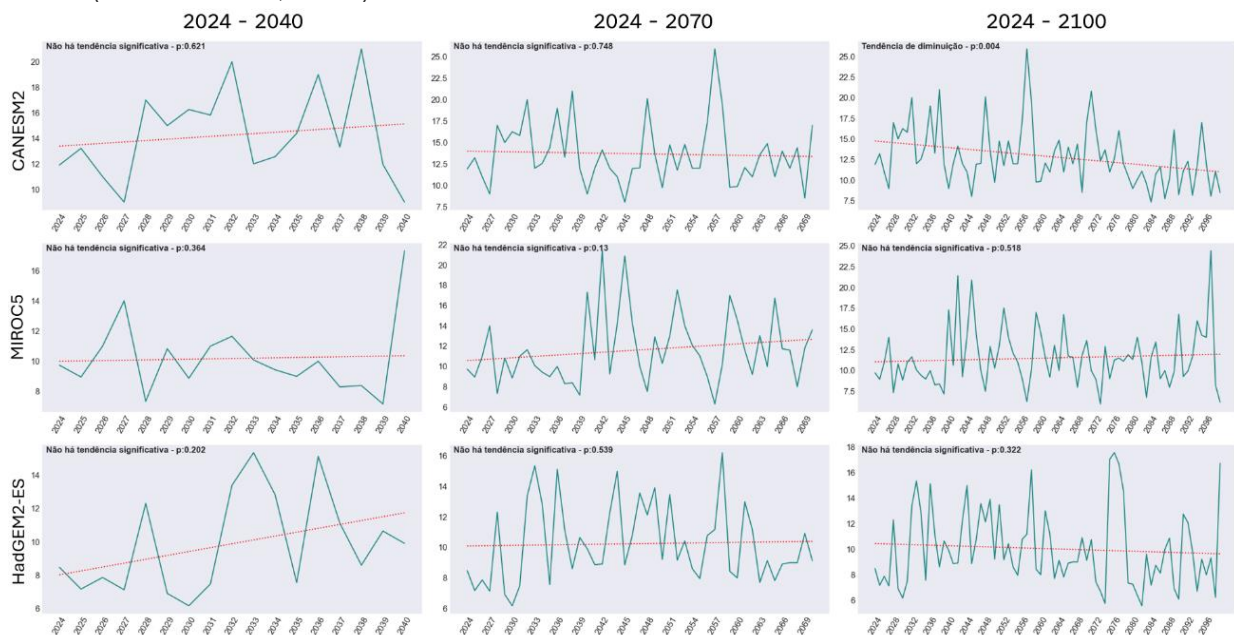
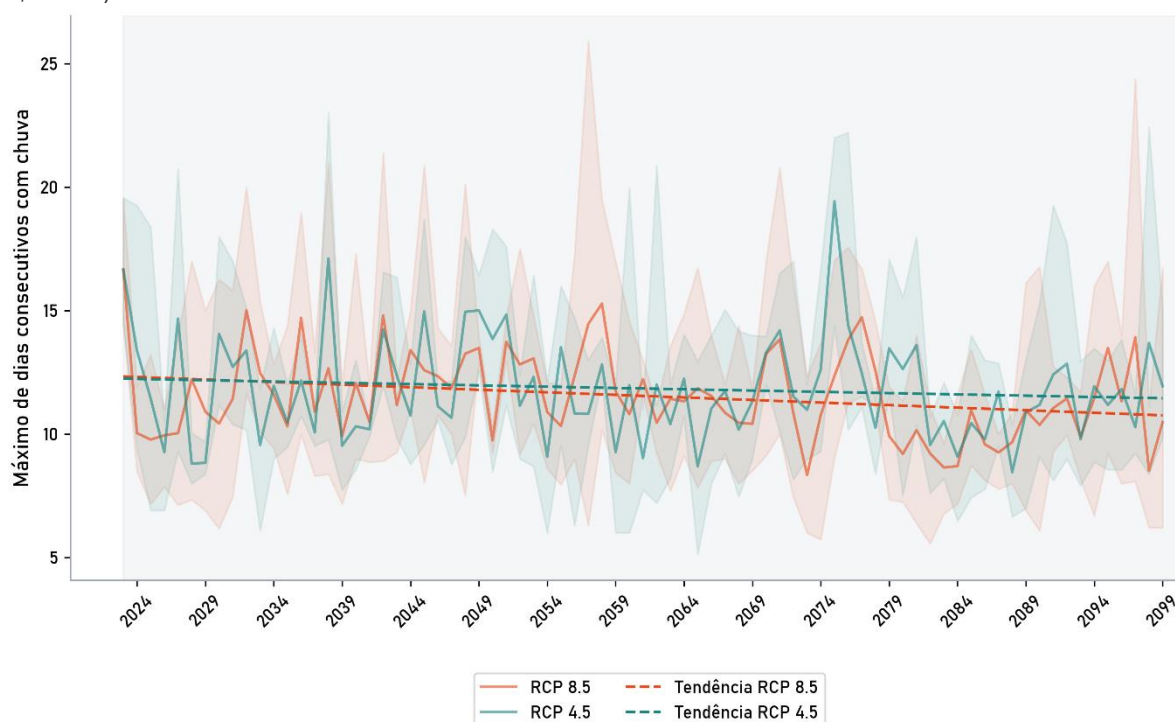




Figura 26 - Análise das tendências projetadas para máx. dias consecutivos com chuva (Fonte: I Care, 2024)



- **Comparação com o clima histórico:** Resultados das projeções climáticas concordam com a tendência apontada no clima histórico de redução dos dias de chuvas consecutivos.
- **Modelos:** Para o cenário RCP8.5, o modelo MIROC5 teve uma tendência levemente divergente dos demais modelos. Mesmo com a discordância, a média coincide com a tendência apontada pelos demais modelos para o período distante.
- **Cenários:** Ambos cenários apontam para uma leve redução no número máximo de dias consecutivos com chuva. No RCP 4.5, a redução é mais leve, indicando uma continuidade maior nos valores, enquanto o RCP 8.5 aponta para a redução mais nítida.

Tendência: Foi identificada a tendência de redução no número máximo de dias com chuva em Guarulhos. A tendência é mais suave no cenário de redução de emissões (RCP 4.5) e mais nítida no cenário de continuidade no crescimento das emissões (RCP 8.5). Este resultado, associado à tendência de aumento do CDD, aponta para o aumento da concentração da precipitação em menos dias durante o ano, visto que o volume chuvas está precipitando em períodos mais curtos de tempo. Portanto, o cenário de maiores emissões está associado ao aumento dos riscos associados a alagamento, inundações e deslizamentos na região, devido à maior tendência de ocorrência de chuvas intensas.

Rx3day - Máxima precipitação acumulada em um período de 3 dias no ano

O índice Rx3day diz respeito à precipitação máxima acumulada em 3 dias em um ano, e reflete a possibilidade de ocorrência de inundações, alagamento e deslizamentos, em especial nos períodos de chuvosos. A Figura 27 apresenta as tendências das projeções no cenário RCP 4.5 para cada modelo climático analisado, nos horizontes históricos definidos. Na Figura 28, são apresentados os resultados para o cenário RCP 8.5 no município de Guarulhos. A Figura 29 apresenta a média dos modelos, tanto para o cenário de redução das emissões globais (RCP 4.5), quanto para o de continuidade no aumento das emissões (RCP 8.5).



Figura 27 - Identificação de tendências para máx. precipitação acumulada em 3 dias no cenário RCP 4.5 (Fonte: I Care, 2024)

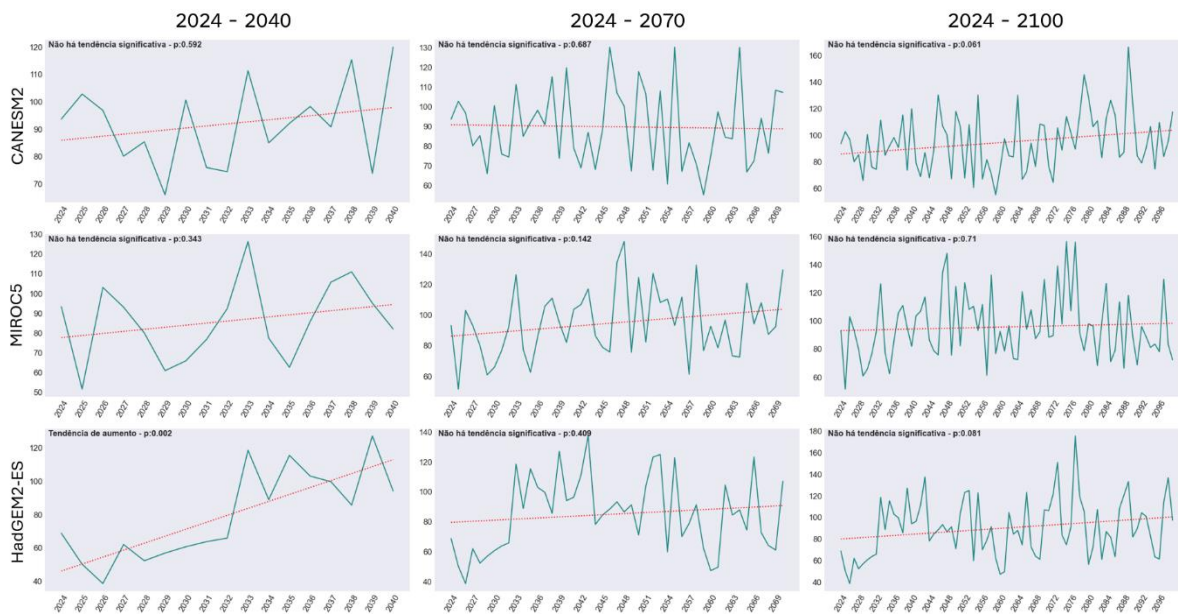


Figura 28 - Identificação de tendências para máx. precipitação acumulada em 3 dias no cenário RCP 8.5 (Fonte: I Care, 2024)

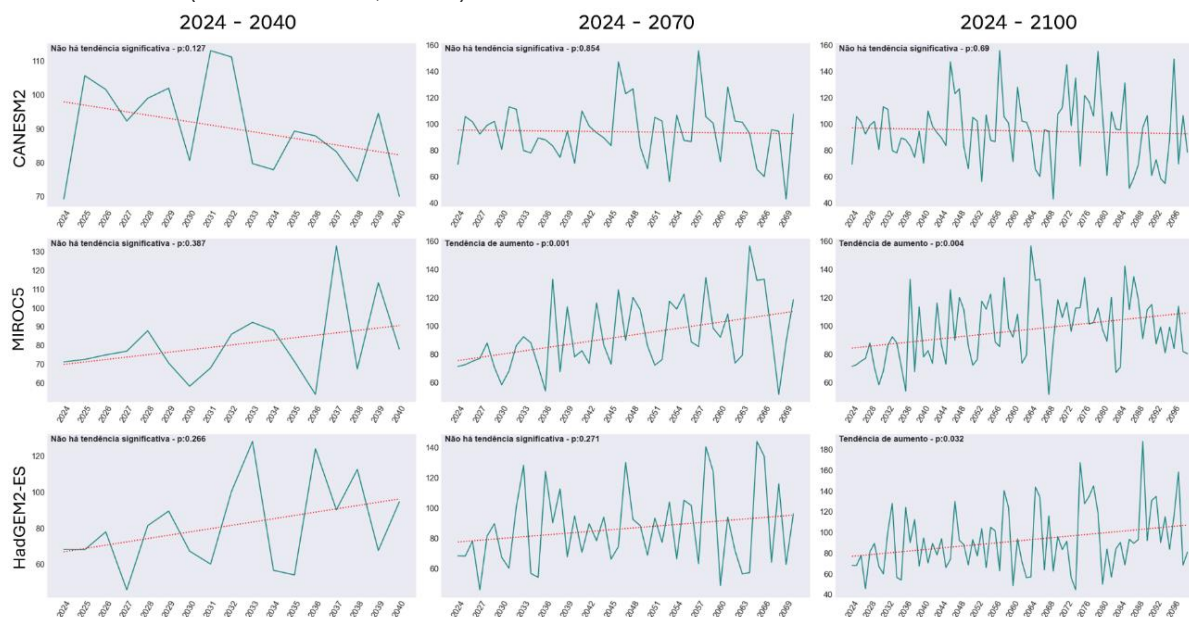
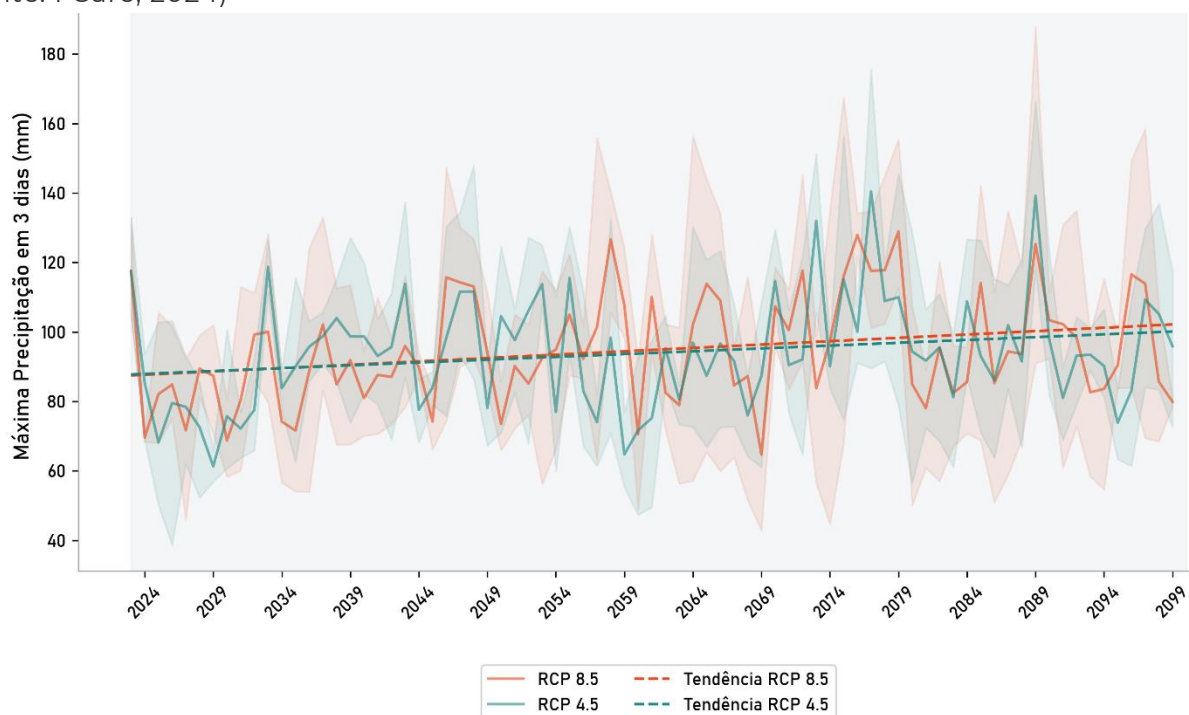




Figura 29 - Análise das tendências projetadas para máx precipitação acumulada em 3 dias (Fonte: I Care, 2024)



- **Comparação com o clima histórico:** Resultados das projeções climáticas divergem da tendência apontada no clima histórico.
- **Modelos:** Modelo CANESM2 teve uma tendência divergente dos demais modelos no cenário RCP 8.5. Mesmo com a discordância, a média coincide com a tendência apontada pela maioria para o período distante.
- **Cenários:** Ambos cenários apontam para o aumento da maior precipitação acumulada em três dias.
- **Tendência:** Foi identificada a tendência de aumento do volume de precipitação acumulada em três dias para o território de Guarulhos. Este padrão de tendência é observado tanto para o cenário de redução de emissões (RCP 4.5), quanto para o cenário de continuidade no crescimento das emissões (RCP 8.5). Este resultado indica que a intensificação das mudanças climáticas está associada ao aumento dos riscos associados a alagamento, inundações e deslizamentos na região.
-

3.3.2. Temperatura

MXTP - Maior temperatura anual (°C)

O índice MXTP representa o dia mais quente em um período específico calculado a partir do valor máximo da temperatura diária máxima. A Figura 30 apresenta as tendências das projeções no cenário RCP 4.5 para cada modelo climático analisado, nos horizontes históricos definidos. Na Figura 31, são apresentados os resultados para o cenário RCP 8.5 no município de Guarulhos. A Figura 32 apresenta a média dos modelos, tanto para o cenário de redução das emissões globais (RCP 4.5), quanto para o de continuidade no aumento das emissões (RCP 8.5).



Figura 30 - Identificação de tendências para temperatura máxima anual (°C) no cenário RCP 4.5 (Fonte: I Care, 2024)

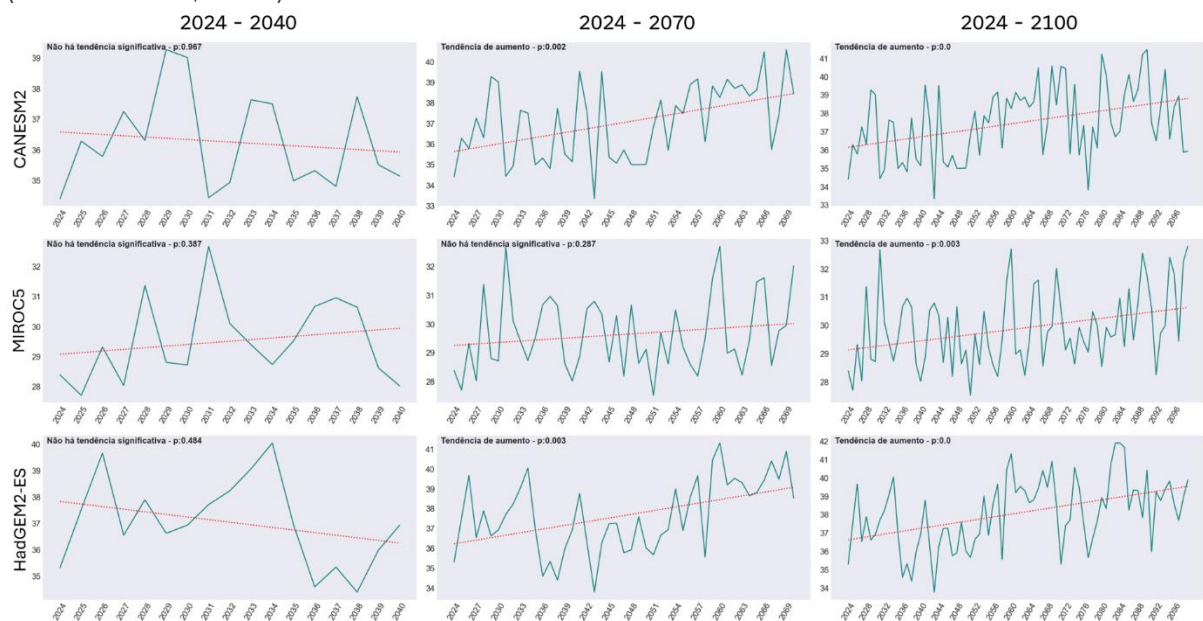


Figura 31 - Identificação de tendências para temperatura máxima anual (°C) no cenário RCP 8.5 (Fonte: I Care, 2024)

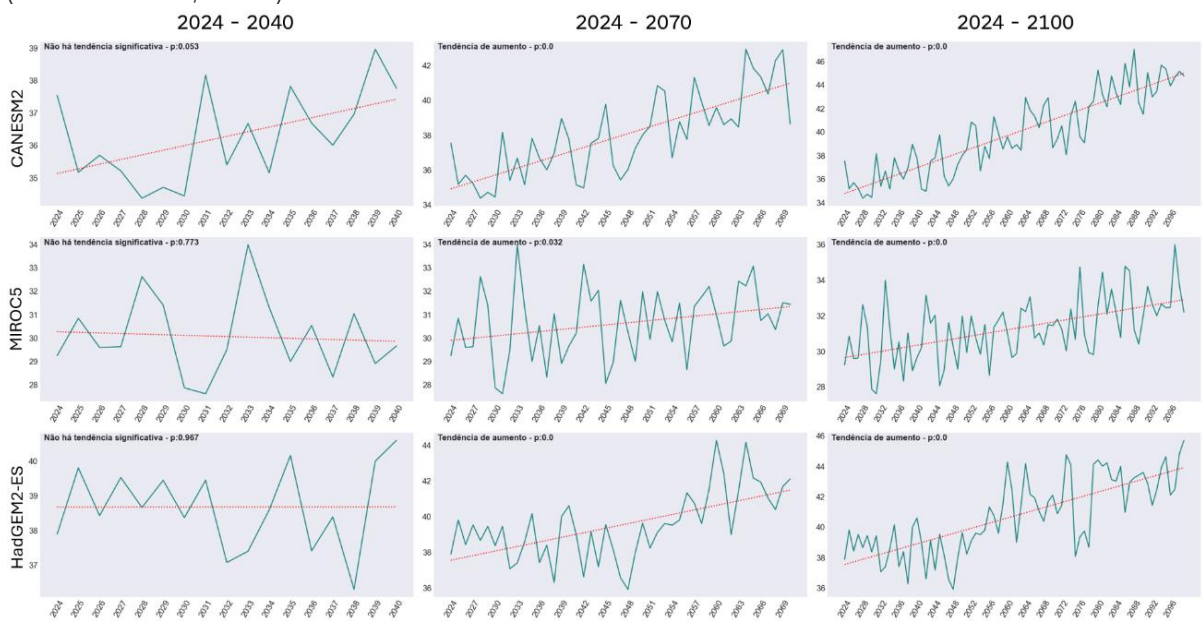
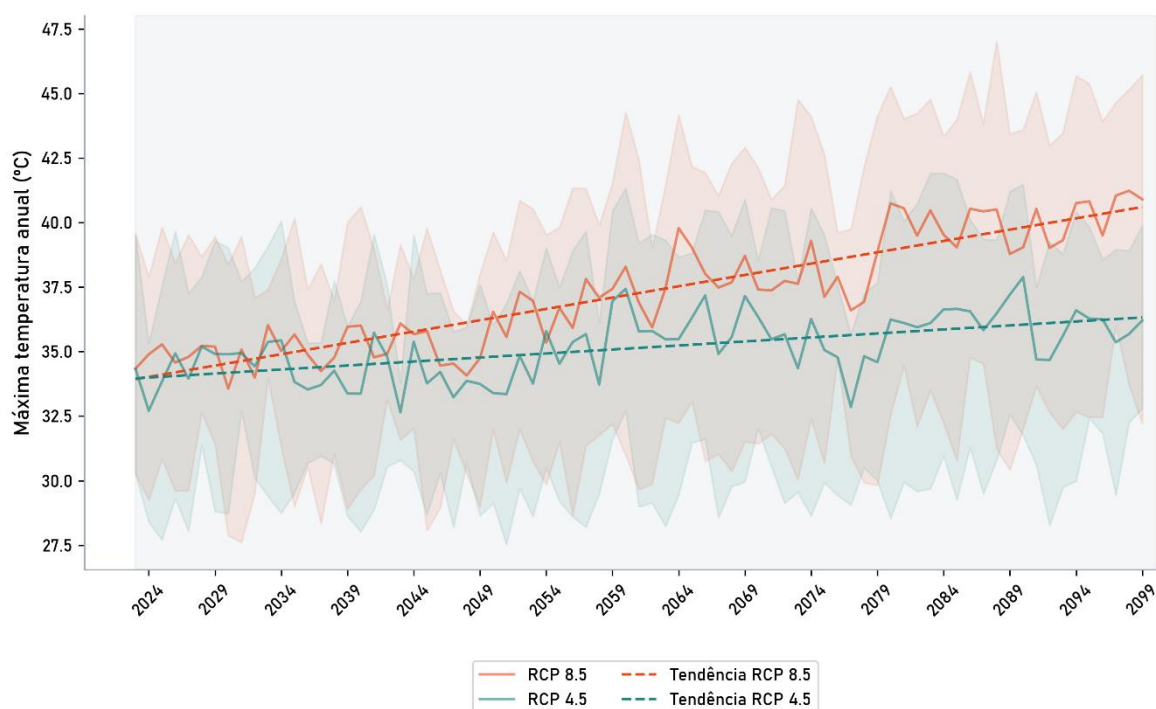




Figura 32 - Análise das tendências projetadas para temperatura máxima anual (°C) (Fonte: I Care, 2024)



- **Comparação com o clima histórico:** Resultados das projeções climáticas concordam com a tendência apontada no clima histórico.
- **Modelos:** Todos os modelos climáticos concordam entre si para as tendências no município.
- **Cenários:** Ambos cenários apontam para a elevação da temperatura máxima nos diferentes períodos. No cenário RCP 8.5 a elevação se dá de forma significativamente mais acentuada.

Tendência: Foi identificada a tendência de elevação da temperatura máxima anual no território de Guarulhos. Essa elevação ocorre de forma mais suave no cenário de redução de emissões (RCP 4.5) e demasiadamente mais acelerada no cenário de continuidade no crescimento das emissões (RCP 8.5). Este resultado indica que a intensificação das mudanças climáticas está associada ao aumento da intensidade de ondas de calor na região.

TX90p - Porcentagem anual de dias em que TX > percentil 90 (%)

O índice TX90p representa o dia mais quente em um ano, a partir do valor máximo da temperatura diária máxima. A Figura 33 apresenta as tendências das projeções no cenário RCP 4.5 para cada modelo climático analisado, nos horizontes históricos definidos. Na Figura 34, são apresentados os resultados para o cenário RCP 8.5 no município de Guarulhos. A Figura 35 apresenta a média dos modelos, tanto para o cenário de redução das emissões globais (RCP 4.5), quanto para o de continuidade no aumento das emissões (RCP 8.5).



Figura 33 - Identificação de tendências para frequência de dias muito quentes (%) no cenário RCP 4.5 (Fonte: I Care, 2024)

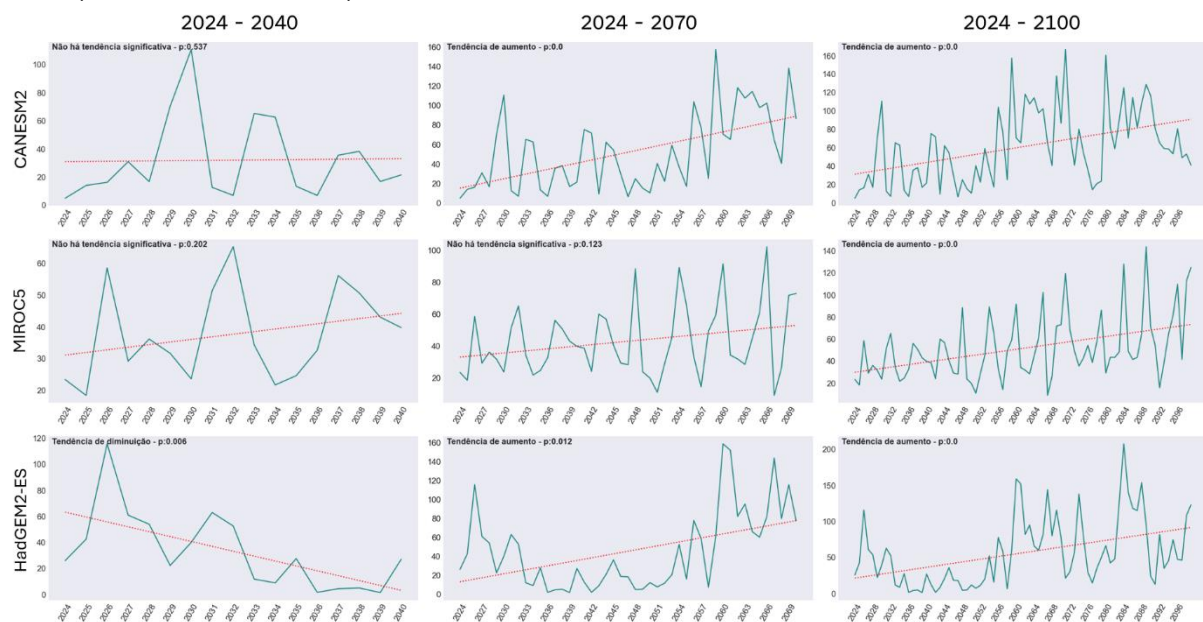


Figura 34 - Identificação de tendências para frequência de dias muito quentes (%) no cenário RCP 8.5 (Fonte: I Care, 2024)

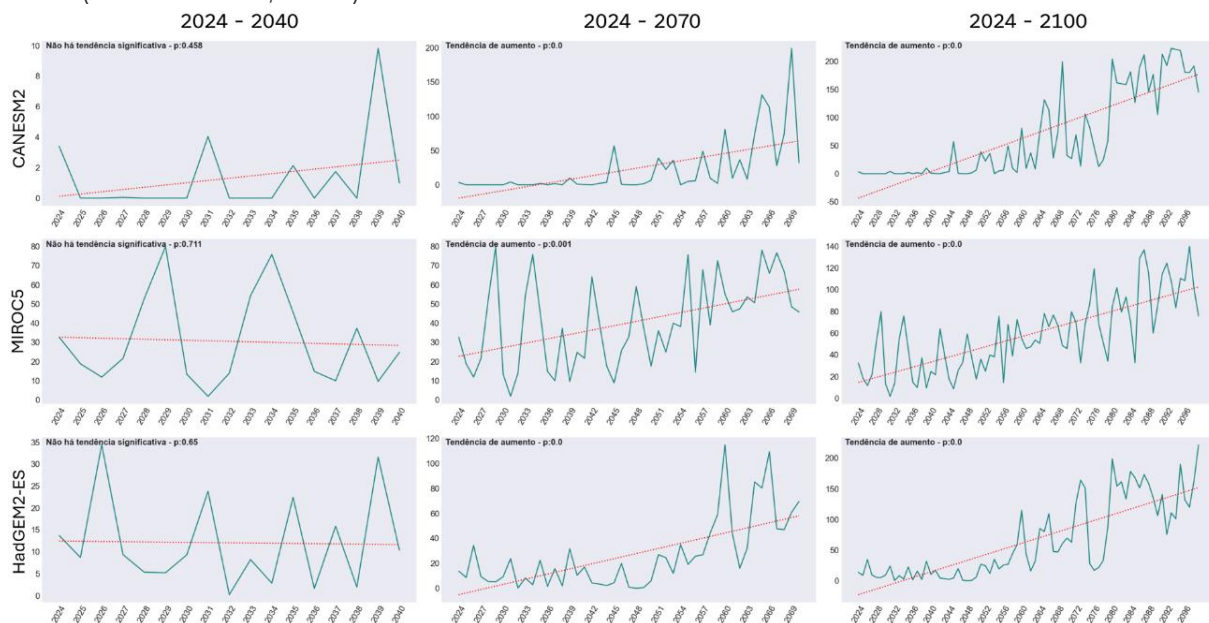
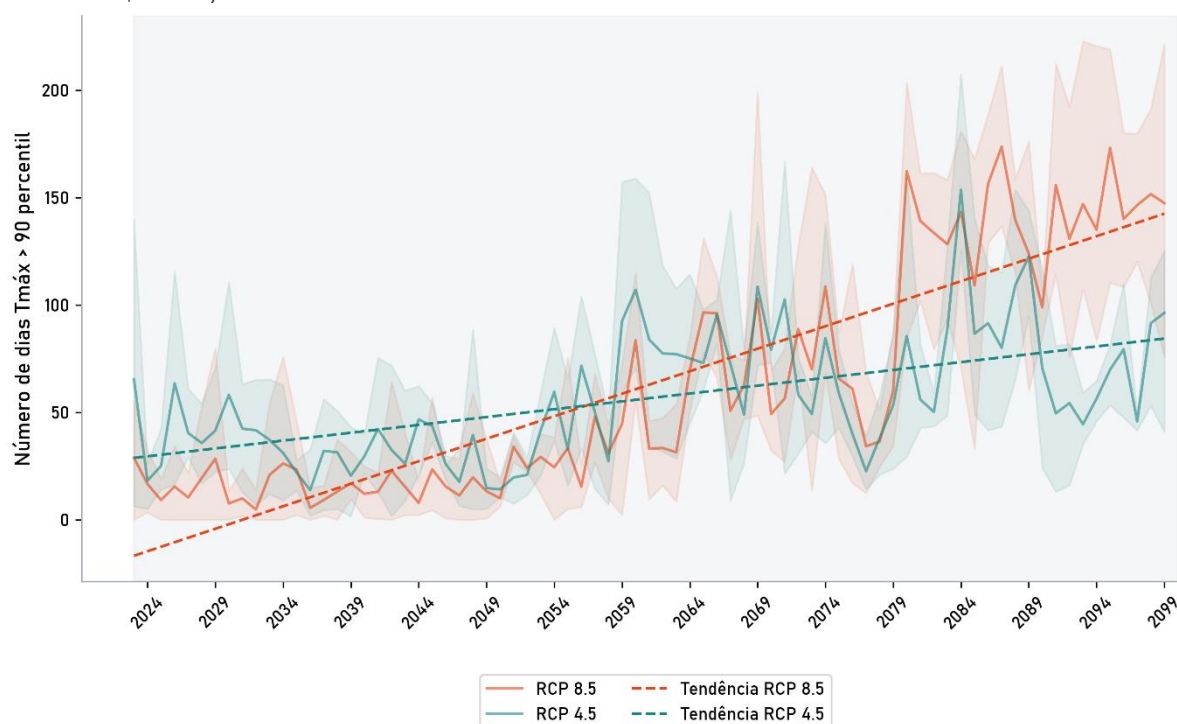




Figura 35 - Análise das tendências projetadas para frequência de dias muito quentes (%)
(Fonte: I Care, 2024)



- **Comparação com o clima histórico:** Resultados das projeções climáticas concordam com a tendência apontada no clima histórico.
- **Modelos:** Todos os modelos climáticos concordam entre si para as tendências no município.
- **Cenários:** Ambos cenários apontam para a elevação da frequência de dias muito quentes a cada ano. No cenário RCP 8.5 a elevação se dá de forma significativamente mais acentuada.

Tendência: Foi identificada a tendência de elevação da frequência de dias muito quentes no território de Guarulhos. Essa elevação se dá de forma mais suave no cenário de descarbonização (RCP 4.5) e demasiadamente mais acelerada no cenário de continuidade no crescimento das emissões (RCP 8.5). Este resultado indica que a intensificação das mudanças climáticas está associada ao aumento da intensidade de ondas de calor na região.

MNTP – Menor temperatura mínima anual

O índice MNTP representa o menor valor do ano entre as temperaturas mínimas diárias de determinado período. A Figura 36 apresenta as tendências das projeções no cenário RCP 4.5 para cada modelo climático analisado, nos horizontes históricos definidos. Na Figura 37, são apresentados os resultados para o cenário RCP 8.5 no município de Guarulhos. A Figura 38



apresenta a média dos modelos, tanto para o cenário de redução das emissões globais (RCP 4.5), quanto para o de continuidade no aumento das emissões (RCP 8.5).

Figura 36 - Identificação de tendências para menor temperatura mínima (°C) no cenário RCP 4.5 (Fonte: I Care, 2024)

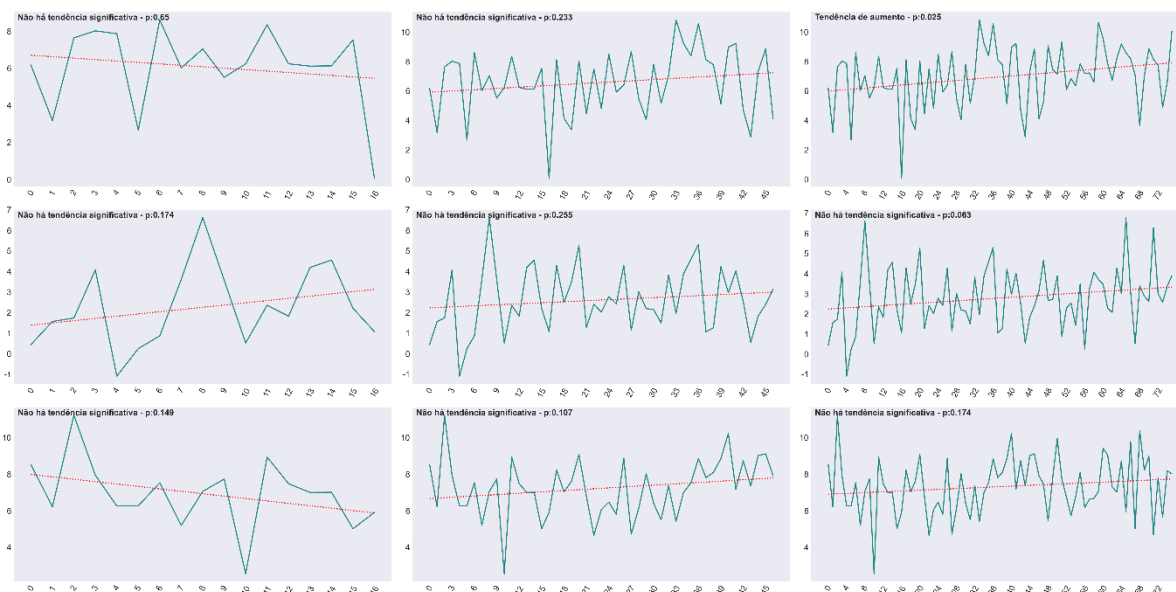


Figura 37 - Identificação de tendências para menor temperatura mínima (°C) no cenário RCP 8.5 (Fonte: I Care, 2024)

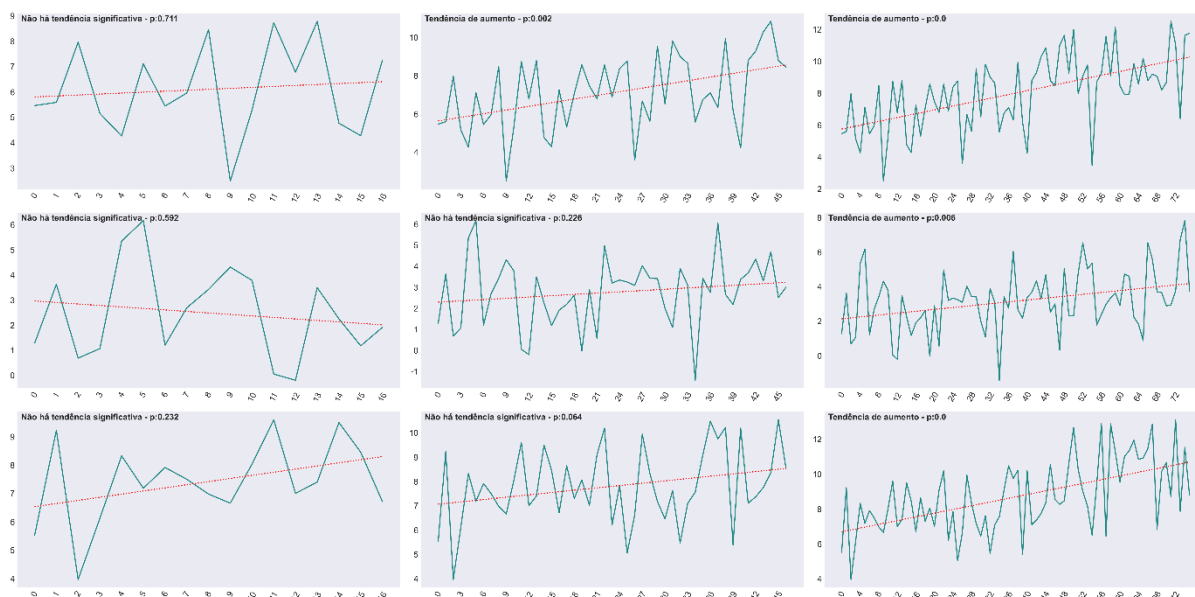
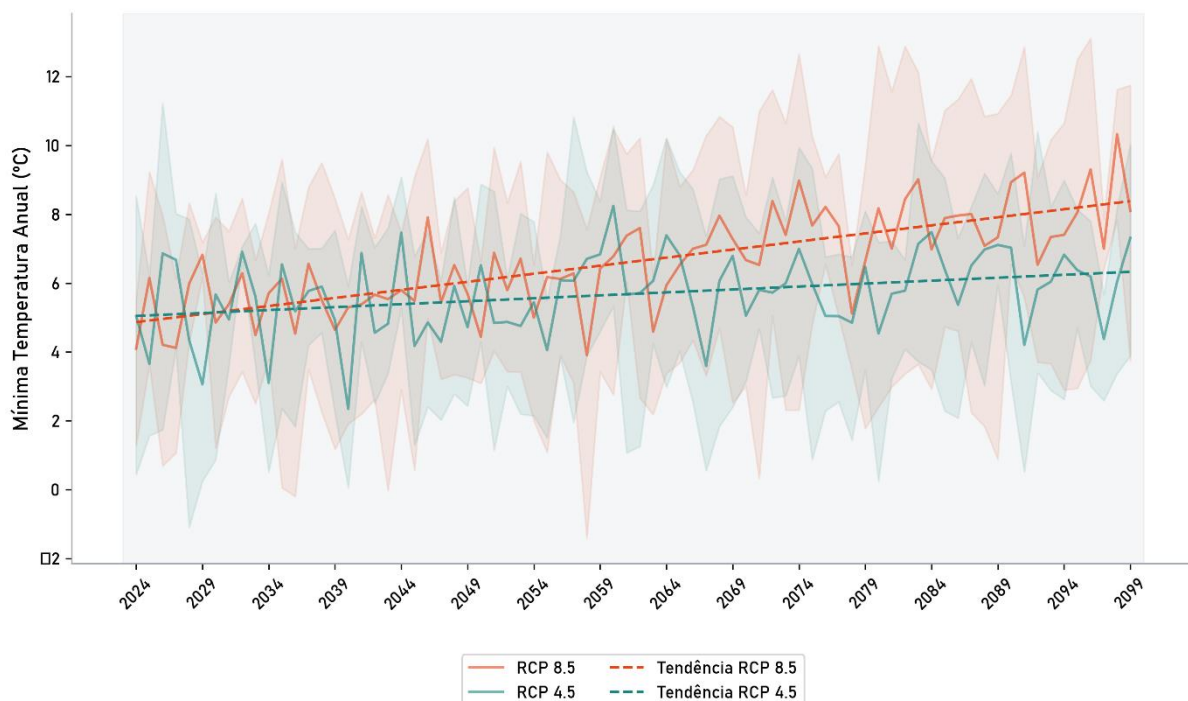




Figura 38 - Análise das tendências projetadas para menor temperatura mínima (°C) (Fonte: I Care, 2024)



- **Comparação com o clima histórico:** Resultados das projeções climáticas concordam com a tendência apontada no clima histórico.
- **Modelos:** De forma geral, todos os modelos climáticos concordam entre si para as tendências no município.
- **Cenários:** Ambos cenários apontam para a elevação da menor temperatura mínima a cada ano. No cenário RCP 8.5, a elevação se dá de forma significativamente mais acentuada.

Tendência: Foi identificada a tendência de elevação da menor temperatura mínima no território de Guarulhos. Essa elevação se dá de forma mais suave no cenário de descarbonização (RCP 4.5) e demasiadamente mais acelerada no cenário de continuidade no crescimento das emissões (RCP 8.5). Este resultado indica que a intensificação das mudanças climáticas pode estar associada à redução na frequência ou na intensidade de ocorrência de ondas de frio no município.

Diante da análise dos índices climáticos futuros, observa-se uma concordância entre os resultados obtidos no Plano de Adaptação e Resiliência de Guarulhos de 2022, que indicaram:

1. Diminuição de precipitação anual, variação de seca/estiagem e diminuição da evapotranspiração
2. Mudança nos padrões de chuva (maiores períodos de estiagem e chuvas intensas), aumento de temperatura (ilhas de calor)
3. Aumento da temperatura, redução da umidade do ar
4. Aumento de ondas de calor e chuvas intensas consecutivas
5. Aumento das ondas de calor com elevação da temperatura e consequente aumento de chuvas localizadas
6. Mudança nos padrões de chuva (maiores períodos de estiagem e chuvas intensas), aumento de temperatura (ilhas de calor)
7. Eventos climáticos extremos com ausência de instrumentos de gestão de risco e inovações



3.4. Oficinas e visita técnica

Cada etapa do estudo é acompanhada de reuniões e processos de validação com a Prefeitura de Guarulhos e demais atores chave. Foram realizadas algumas reuniões presenciais, 2 oficinas, nos dias 19 de fevereiro de 2024 e 29 de junho de 2024, além de visita técnica em alguns dos pontos considerados mais críticos para o município frente às ameaças climáticas analisadas nesse estudo.

No dia 19 de fevereiro de 2024 foi realizada a oficina para coleta das percepções dos representantes das secretarias, corpo de bombeiros e defesa civil quanto à ocorrência das ameaças climáticas, principais áreas expostas e principais vulnerabilidades a que o município está sujeito. A Prefeitura e seus representantes indicaram fontes de informações onde poderiam ser extraídos dados para compor a análise e apontou no mapa da cidade os principais pontos de ocorrência das ameaças, aspectos de exposição e de vulnerabilidade, conforme retratam a Figura 39 à Figura 41.

Figura 39 - Registro da oficina de coleta de informações (19/02/2024) (Fonte: I Care, 2024)



Figura 40 - Registro da oficina de coleta de informações (19/02/2024) (Fonte: I Care, 2024)



Figura 41 - Mapa construído por atores chave durante dinâmica da oficina (19/02/2024) (Fonte: I Care, 2024)



No dia 29 de maio de 2024, no período da manhã, ocorreu a oficina de calibração dos resultados preliminares da Análise Riscos Climáticos referente ao projeto do Plano de Adaptação e Mitigação às Mudanças Climáticas do município de Guarulhos. O principal objetivo desse encontro com representantes de diversas secretarias foi apresentar os resultados obtidos até aquele momento sobre a análise das tendências do clima histórico e futuro na região até 2100 e avaliar ajustes necessários nas variáveis e dados utilizados, buscando informações mais atualizadas.

Foram apresentados e discutidos aspectos sobre a metodologia da análise do clima e seus principais resultados. Foram avaliados mapas com a distribuição das ameaças no território, contemplando alagamentos, arboviroses, deslizamentos, inundações, ondas de calor e secas. A partir dos mapas, foi possível discutir com os participantes sobre as premissas aplicadas, possíveis ajustes e oportunidades de melhorias nos dados fornecidos para garantir que a realidade do território esteja mais bem representada no estudo da análise de riscos. Os encaminhamentos foram incorporados ao projeto para a revisão dos mapas e finalização do relatório de Análise de Riscos Climáticos.

Figura 42 - Registro da oficina de calibração dos resultados preliminares (29/05/2024) (Fonte: I Care, 2024)



Figura 43 - Área onde se localizava ponte que foi arrastada pela enxurrada (29/05/2024) (Fonte: I Care, 2024)



Figura 44 - Área onde houve deslizamento e destruição de moradias irregulares antes da construção do muro (29/05/2024) (Fonte: I Care, 2024)

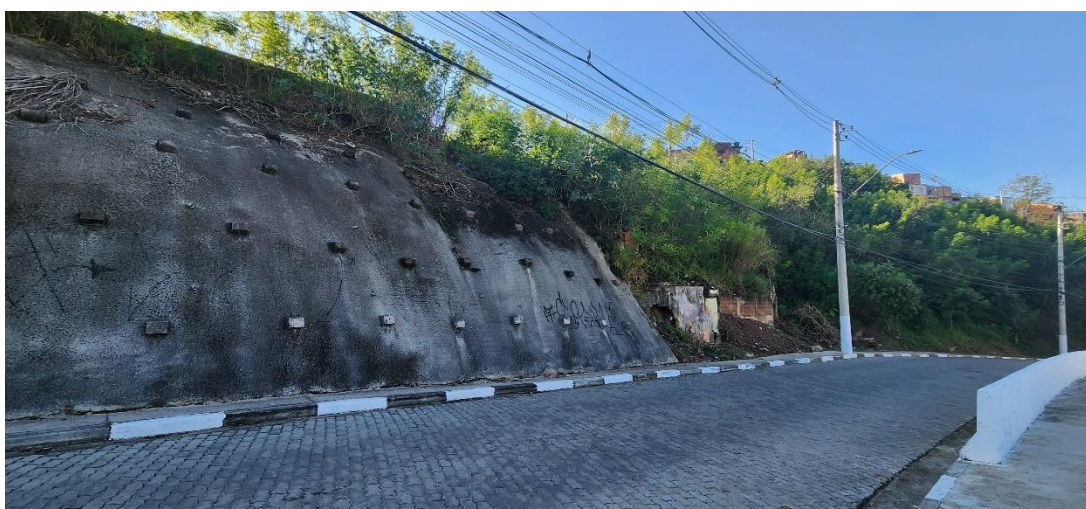




Figura 45 - Registro de escavações nos taludes para construção de moradias irregulares (29/05/2024) (Fonte: I Care, 2024).



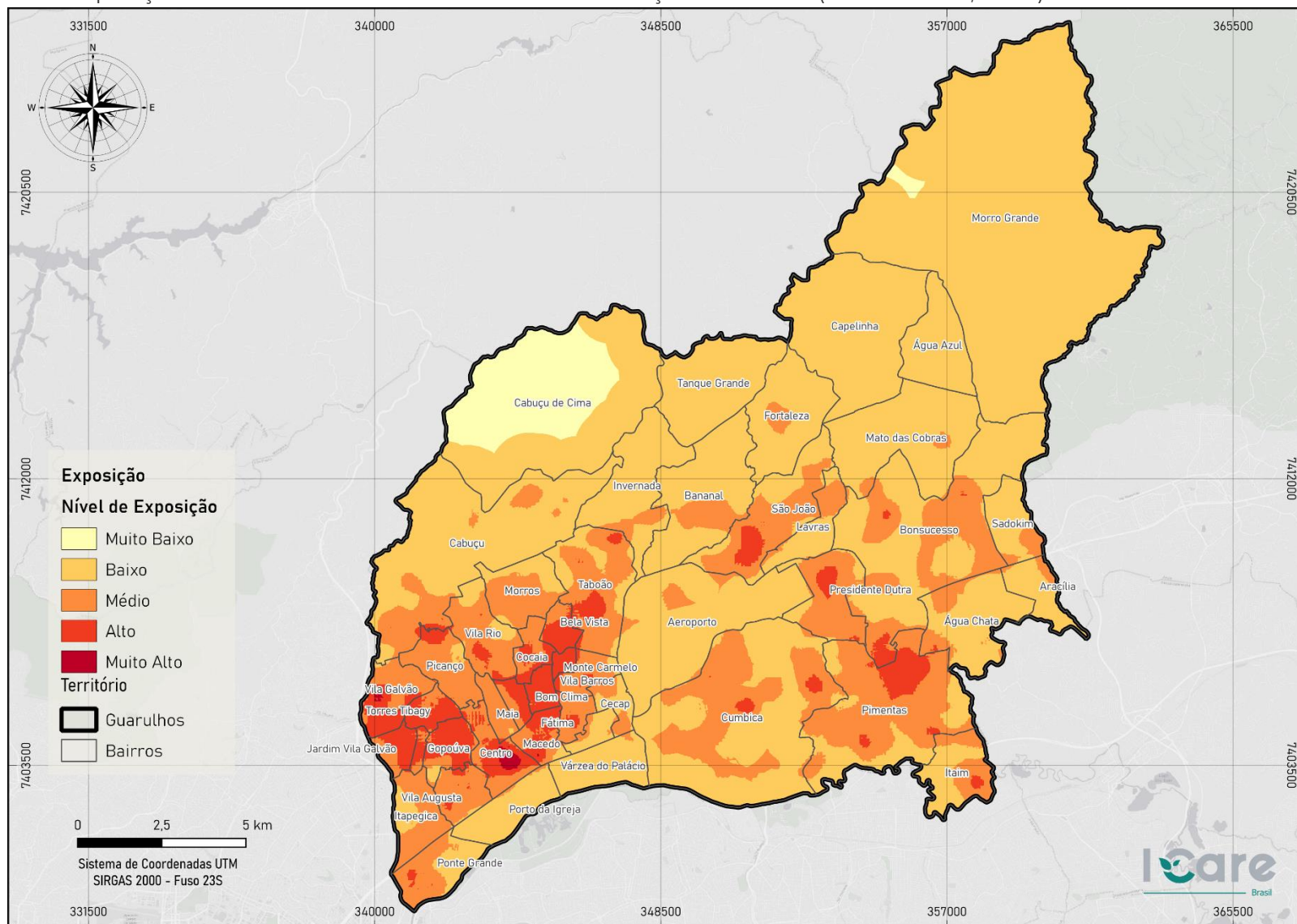
3.5. Risco climático

O risco climático foi analisado com o cruzamento de fatores de vulnerabilidade, exposição e ameaça. Os fatores selecionados visam contemplar as particularidades territoriais que impulsionam a maior ocorrência ou severidade do evento em questão. O processo foi realizado para as ameaças climáticas consideradas mais relevantes para o município de Guarulhos: alagamentos, arboviroses, deslizamentos de terra, inundações fluviais, ondas de calor e secas. A Figura 46 apresenta os resultados para o dimensionamento do nível de exposição em diferentes territórios do município, o qual foi aplicado para todas as ameaças. Os resultados dos mapas quanto ao grau de vulnerabilidade e de ameaça para cada período estão apresentados no Anexo I.

Após o mapa de exposição, são apresentados os mapas dos riscos climáticos para os diferentes períodos: curto, médio e distante.

Exposição

Figura 46 - Nível de exposição do território de Guarulhos frente a ameaças climáticas (Fonte: I Care, 2024)





Alagamentos

Segundo a COBRADE, os alagamentos ocorrem com a extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana durante precipitações intensas. O excesso de volume de água se acumula em ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, portanto, não depende da presença de corpos hídricos no entorno (2016).

A maior parte do município de Guarulhos está contida na Bacia do Rio Baquirivu Guaçu. A região, historicamente, era ocupada por pântanos, áreas brejosas e lagos (CAMPOS, 2011). Com o processo de urbanização, regiões que antes alagavam naturalmente durante períodos de chuvas, foram aterradas e impermeabilizadas, causando o aumento do volume e da velocidade do escoamento superficial. Hoje, o território é ocupado por um elevado adensamento urbano, com indústrias, comércio, residências e o próprio aeroporto, causando elevados riscos ambientais atrelados à interação entre ameaça, exposição e vulnerabilidade.

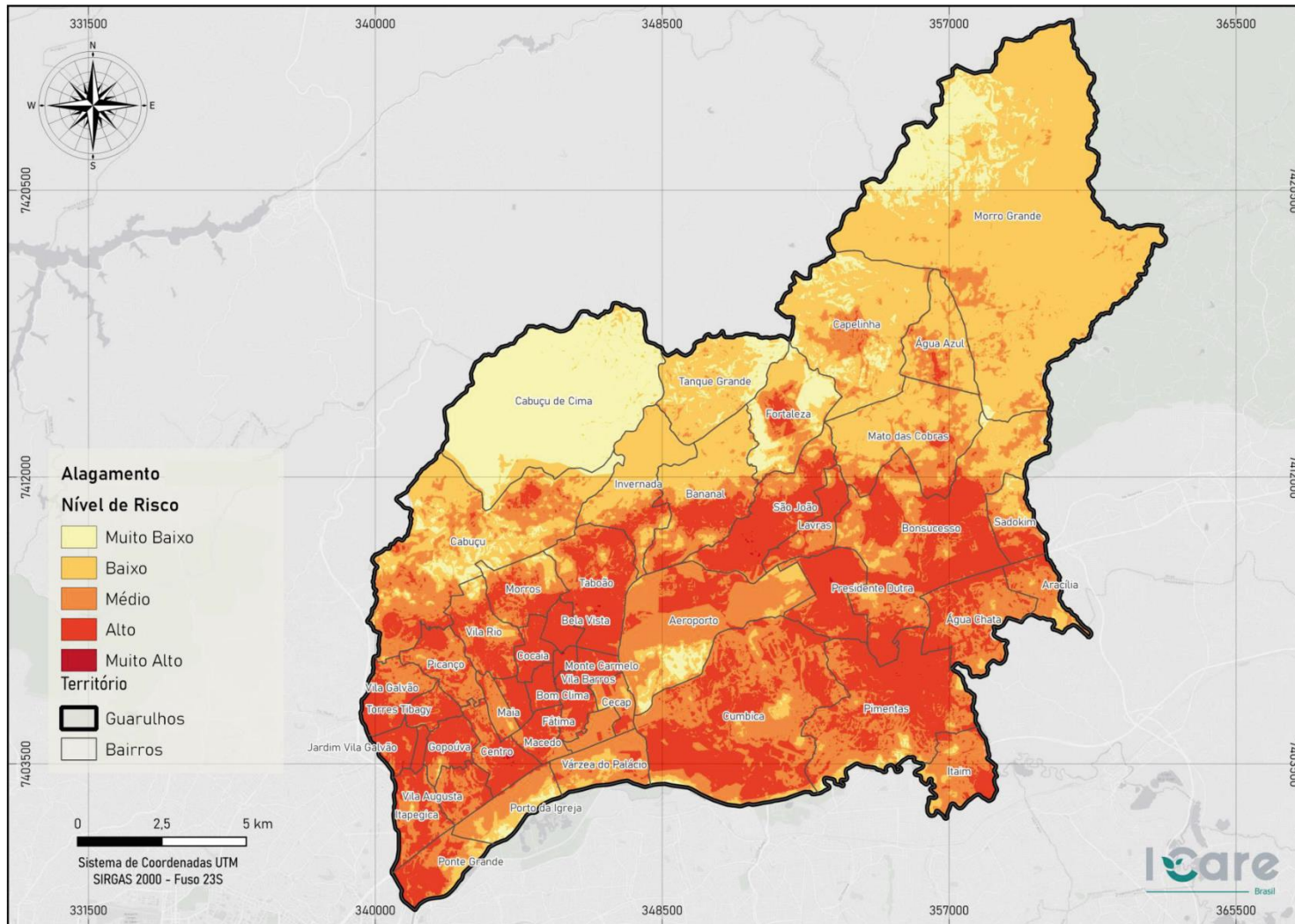
Observa-se que as áreas mais sujeitas a alagamentos são áreas mais adensadas, e onde a infraestrutura de macrodrenagem pode ser precária. Os alagamentos, em geral, são ocasionados por eventos de chuvas intensas, as quais estão previstas como mais frequentes no município no futuro, ocasionadas pelas chuvas concentradas ou tempestades, que também ocasionam riscos como de enxurradas.

A Figura 47, Figura 48 e Figura 49 apresentam os mapas de risco de alagamento para a cidade de Guarulhos para períodos futuros: 2040, 2070 e 2100, respectivamente.

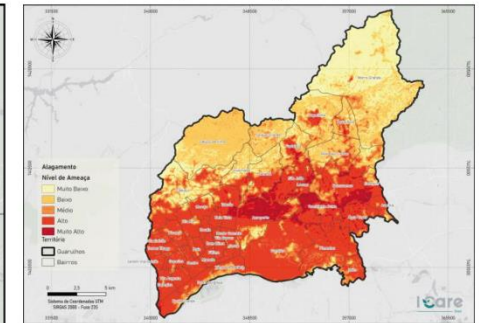
Bairros críticos: Bonsucesso, Sadokim, São João, Lavras, Presidente Dutra, Pimentas, Bananal, Taboão, Cumbica, Bela Vista e entornos do Centro, como Cocaia, Monte Carmelo, Vila Barros, Bom Clima, Gopoúva e Jardim Vila Galvão.

Figura 47 - Risco climático atrelado à ocorrência de alagamentos até 2040 (Fonte: I Care, 2024)

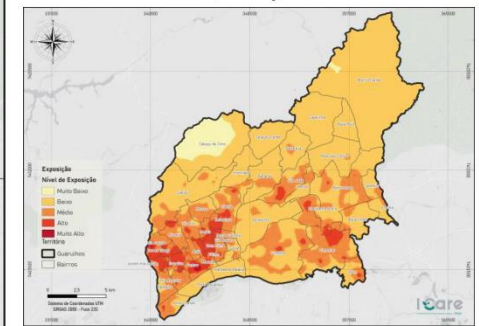
Risco Climático – Curto prazo



Ameaça - Alagamentos



Exposição



Vulnerabilidade

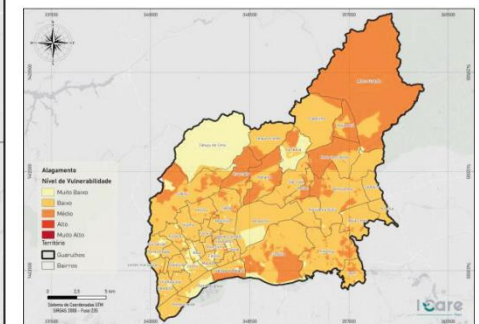
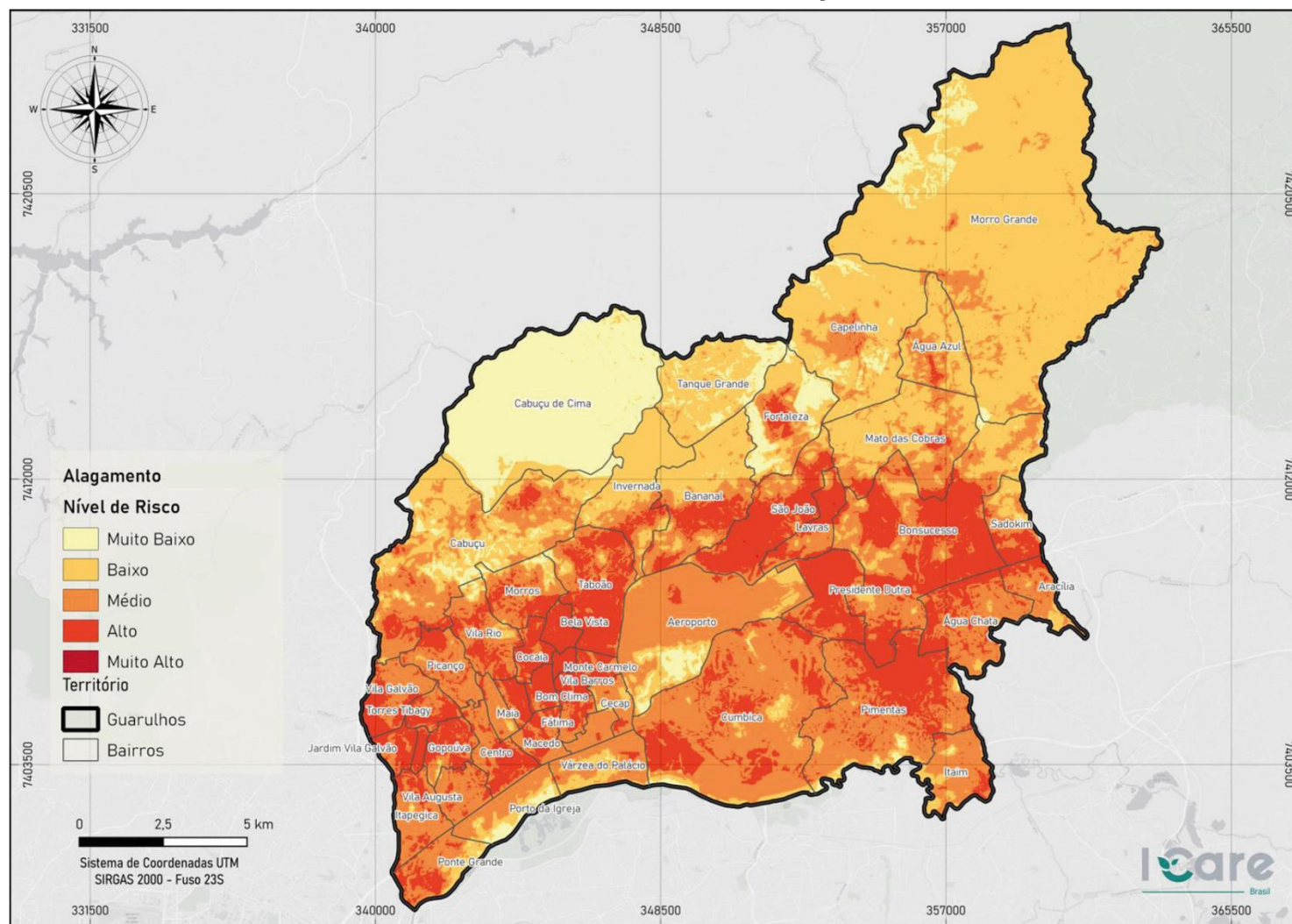
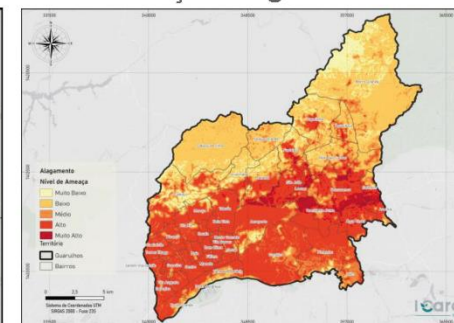


Figura 48 - Risco climático atrelado à ocorrência de alagamentos até 2070 (Fonte: I Care, 2024)

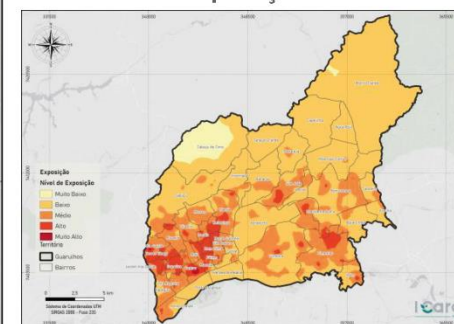
Risco Climático – Médio prazo



Ameaça - Alagamentos



Exposição



Vulnerabilidade

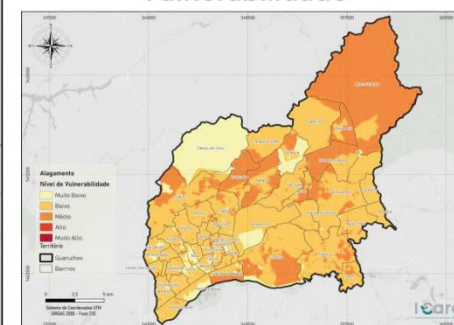
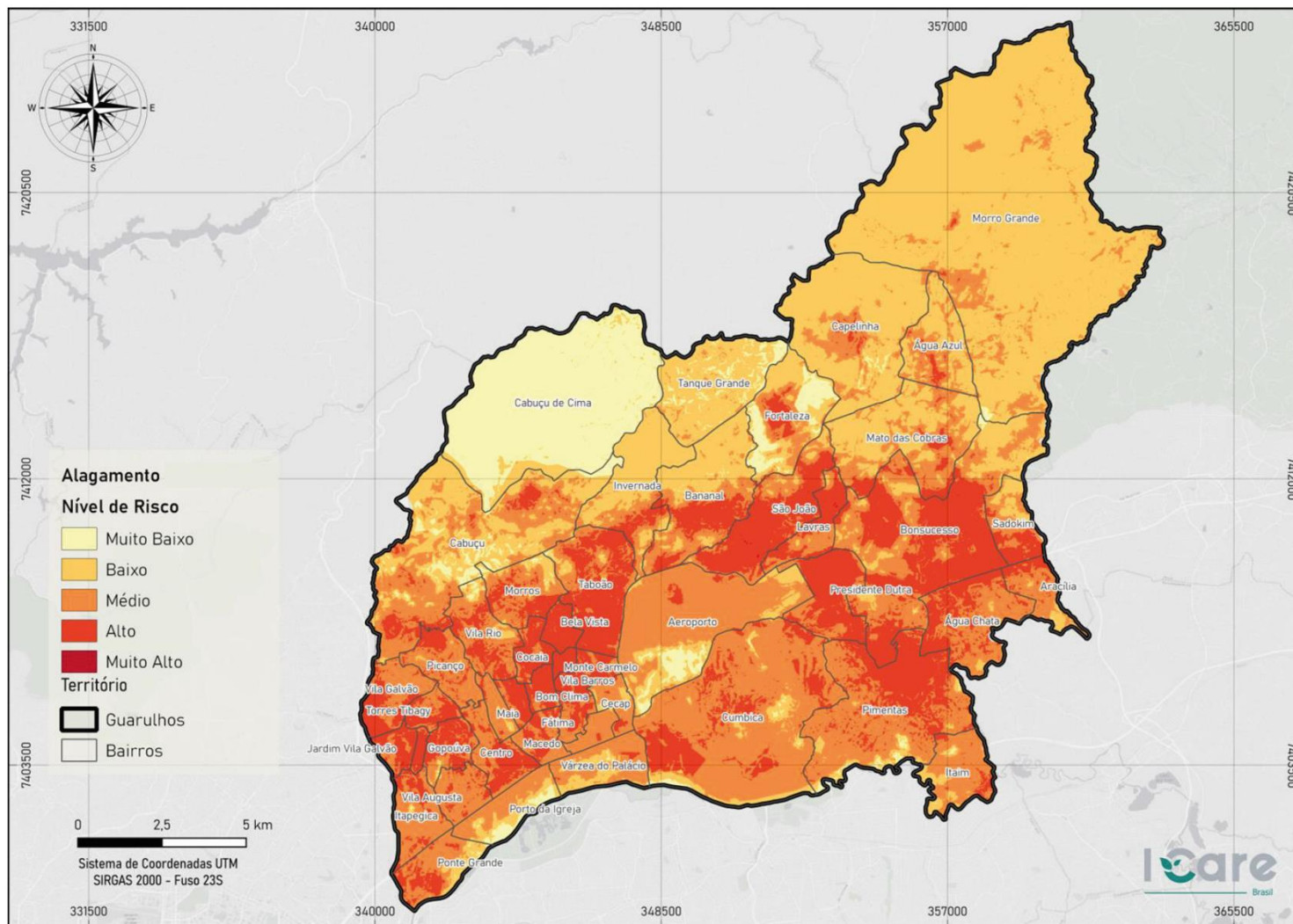
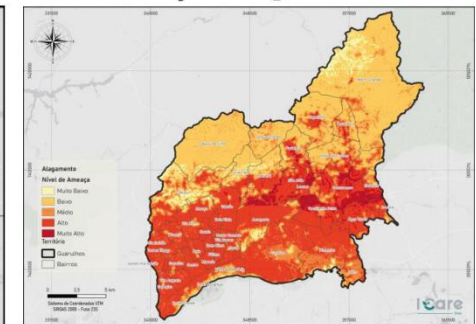


Figura 49 - Risco climático atrelado à ocorrência de alagamentos até 2100 (Fonte: I Care, 2024)

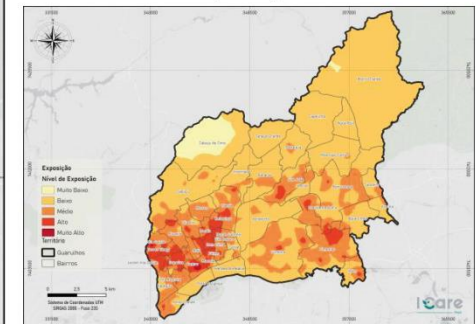
Risco Climático – Longo prazo



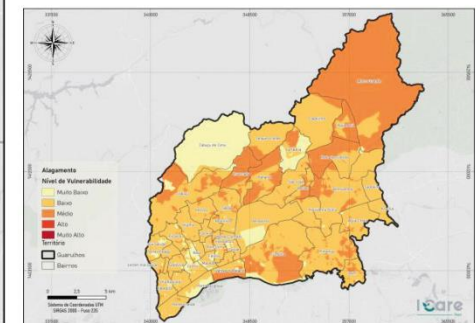
Ameaça - Alagamentos



Exposição



Vulnerabilidade





Arboviroses

Segundo o Guia de Vigilância em Saúde, do Ministério da Saúde, as arboviroses são doenças causadas por arbovírus, que são vírus transmitidos por artrópodes hematófagos, como mosquitos e carrapatos. Algumas das arboviroses mais presentes em ambientes urbanos são a dengue, zika, *chikungunya* e febre amarela. Elas constituem um dos principais problemas de saúde pública a nível global, principalmente nas zonas intertropicais, onde ocorrem surtos e epidemias com significativo impacto na população. O nível de ameaça atrelada às arboviroses em determinado território está intimamente ligado ao clima da região. Isso ocorre pois o risco de transmissão está associado ao número de mosquitos em atividade, que depende de fatores ambientais ligados ao ciclo de vida da espécie em análise, como temperatura e chuvas (BRASIL, 2023).

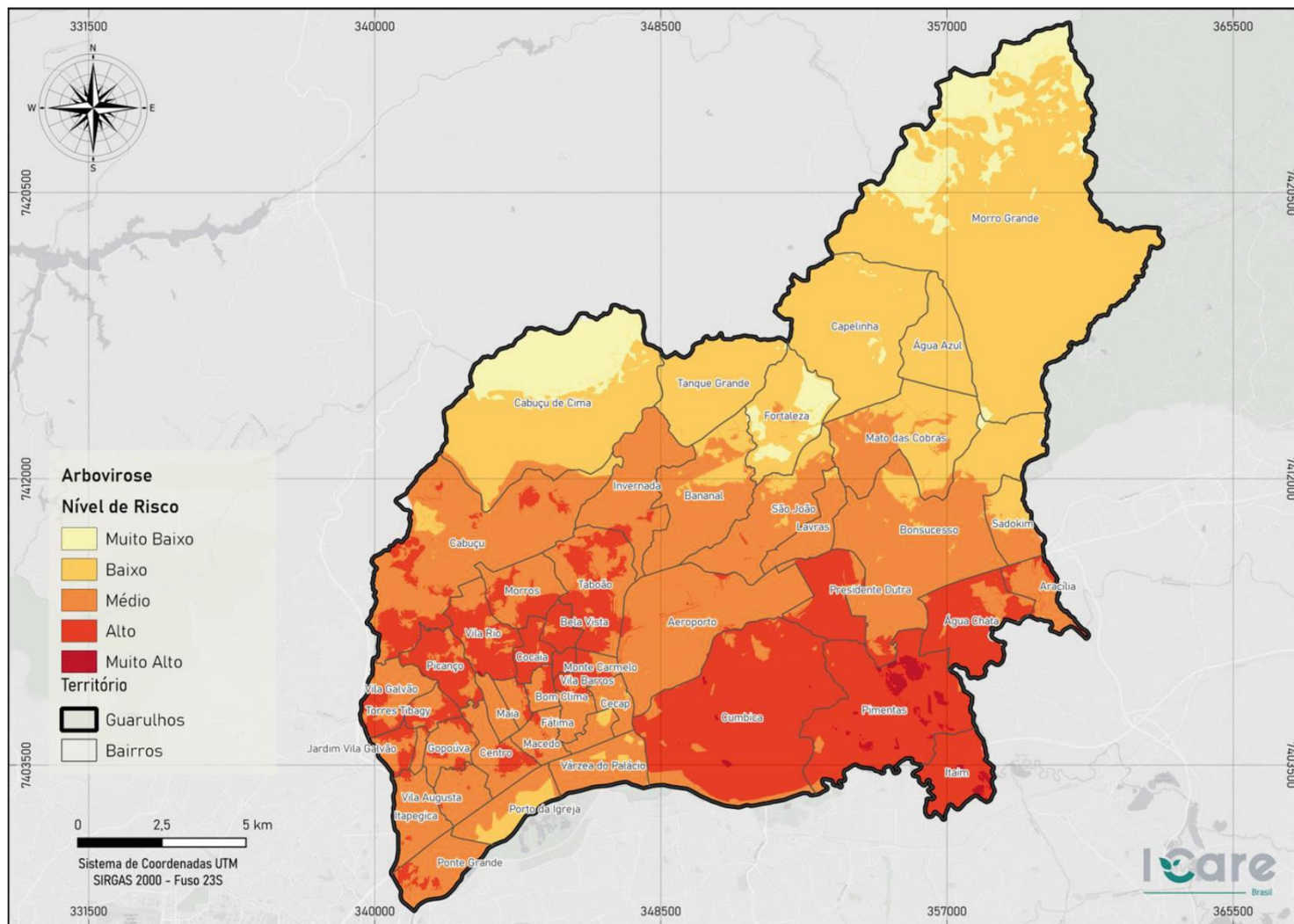
Em Guarulhos, as ocorrências futuras estão atreladas às áreas urbanas, principalmente, áreas irregulares onde há a predominância de locais sem coleta adequada de resíduos sólidos e coleta de esgoto, além de menor atenção para o acúmulo de água parada. Os casos também estão relacionados à proximidade a corpos hídricos de menor porte, comparados ao Rio Tietê e Rio Baquirivu, que muitas vezes, devido à elevada ocupação urbana não possuem seu leito e velocidade de escoamento modificados, favorecendo a proliferação de mosquitos como *Aedes Aegypt*. As áreas ao norte do município, nas ocupações irregulares e nos bairros na proximidade da Rodovia Presidente Dutra indicam o maior número de ocorrências também para os próximos anos, com uma redução no período médio.

A Figura 50, Figura 51 e Figura 52 apresentam os mapas de risco de arboviroses para a cidade de Guarulhos para períodos futuros: 2040, 2070 e 2100, respectivamente.

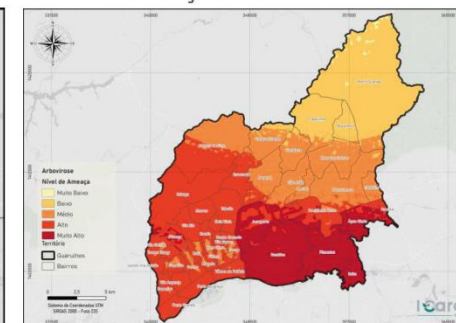
Bairros críticos: Pimentas, Cumbica, Água Chata, Itaim, Aracília, Presidente Dutra, Invernada, Cabuçu, Taboão, Aeroporto, Bela Vista, Vila Rio, Morros, Picanço, Vila Galvão e arredores.

Figura 50 - Risco climático atrelado à ocorrência de arboviroses até 2040 (Fonte: I Care, 2024)

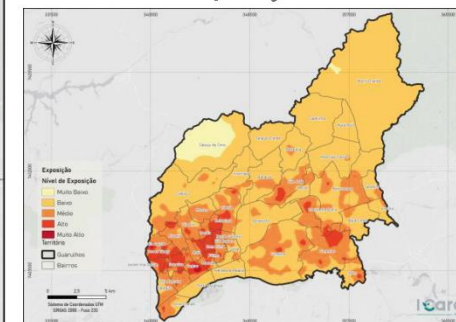
Risco Climático – Curto prazo



Ameaça - Arboviroses



Exposição



Vulnerabilidade

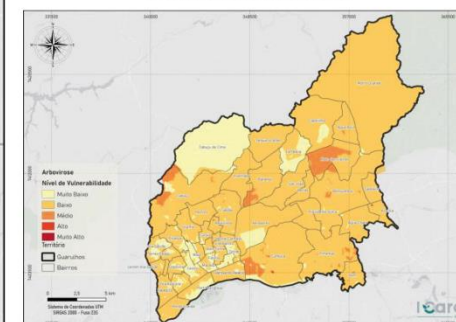
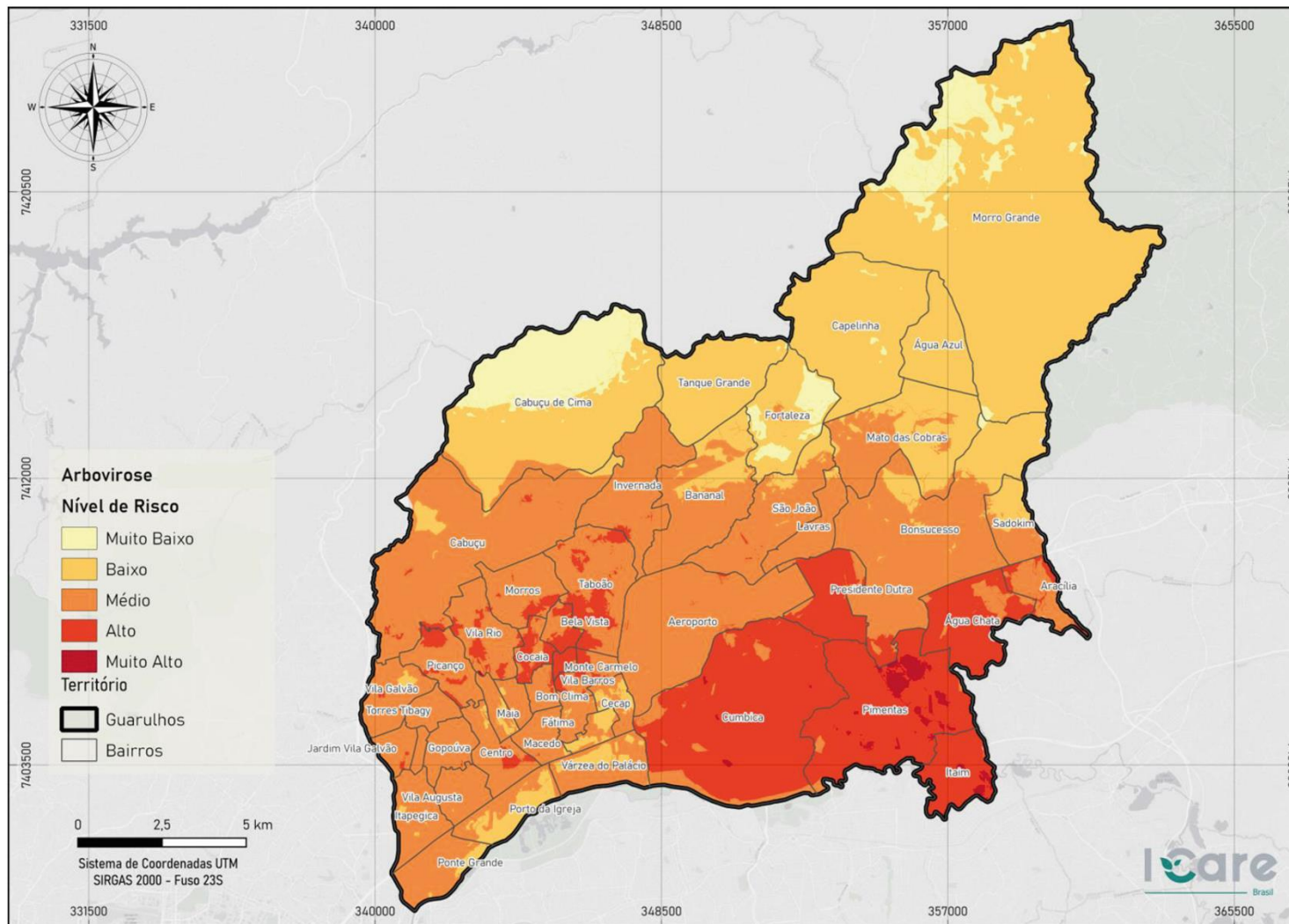
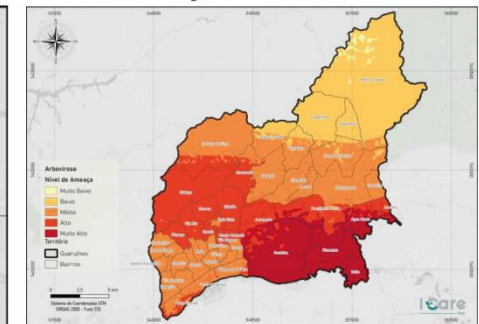


Figura 51 - Risco climático atrelado à ocorrência de arboviroses até 2070 (Fonte: I Care, 2024)

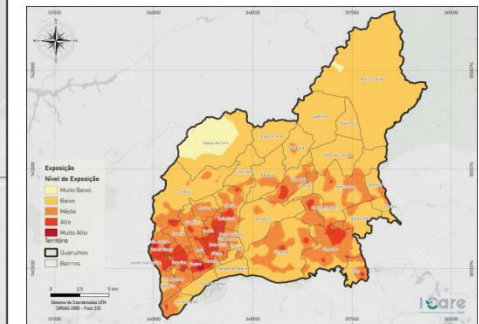
Risco Climático – Médio prazo



Ameaça - Arboviroses



Exposição



Vulnerabilidade

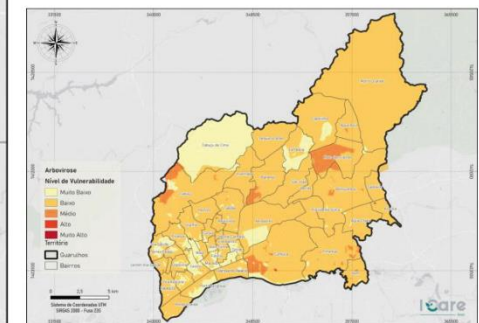
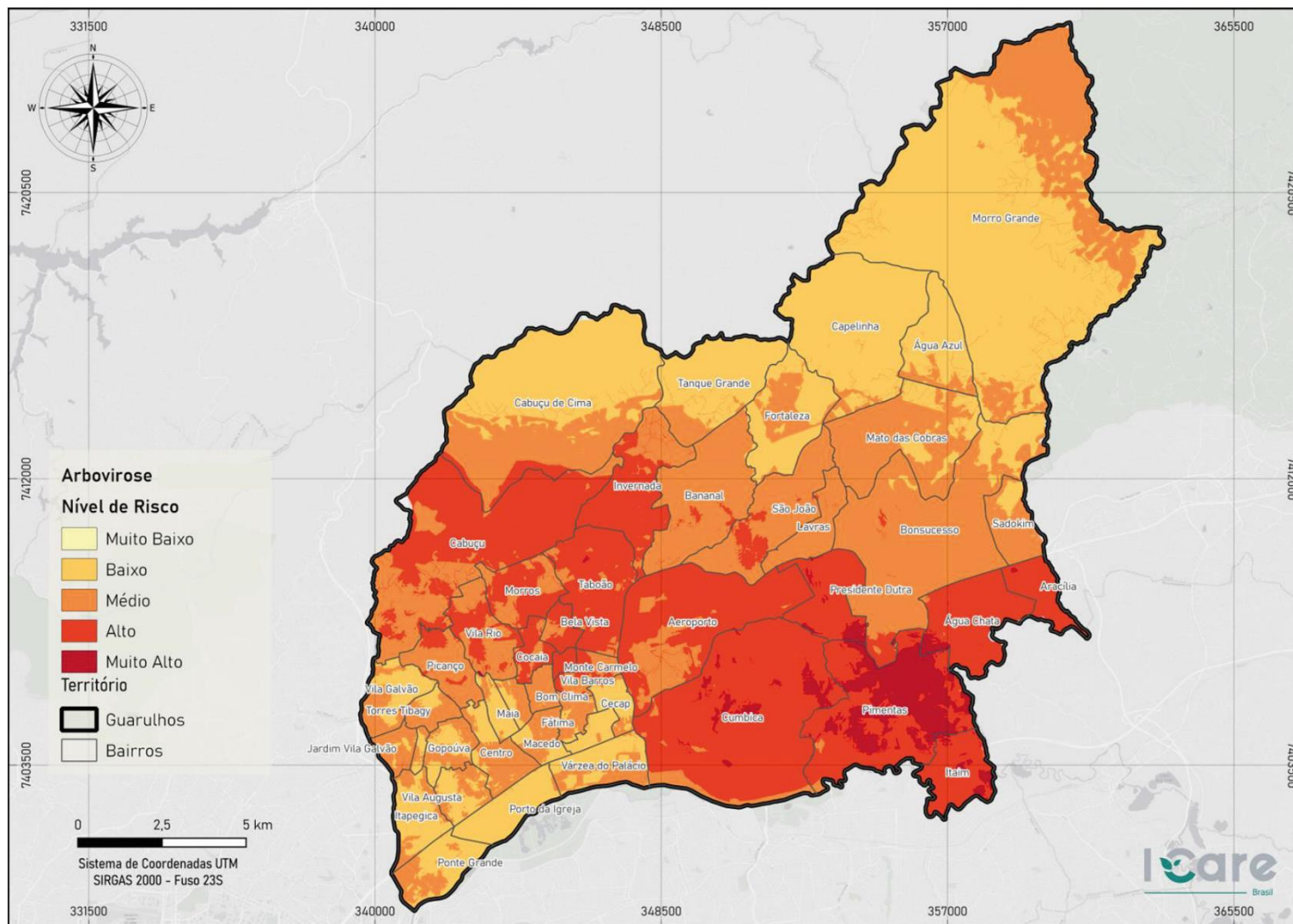
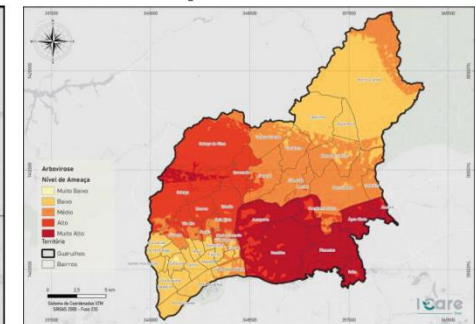


Figura 52 - Risco climático atrelado à ocorrência de arboviroses até 2100 (Fonte: I Care, 2024)

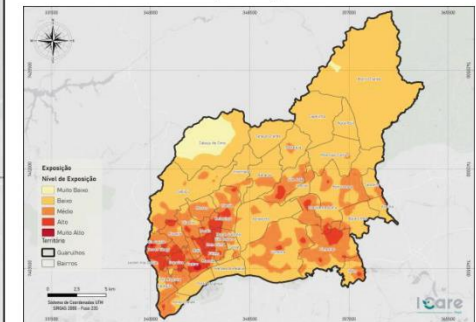
Risco Climático – Longo prazo



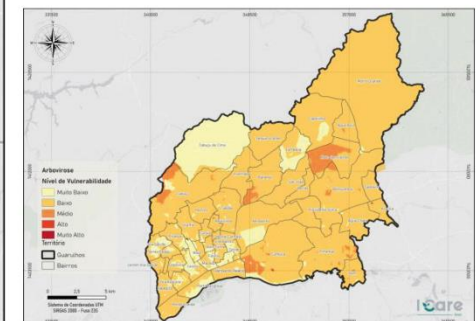
Ameaça - Arboviroses



Exposição



Vulnerabilidade





Deslizamentos de terra

Segundo a COBRADE, deslizamentos são movimentos de solo ou rocha de superfície de ruptura bem definida e duração relativamente curta, ocorrem rapidamente. Neles, o centro de gravidade de massas do terreno se desloca para baixo e para fora do talude. Frequentemente, os primeiros sinais de ocorrência são o aparecimento de fissuras (2016).

Nos resultados da análise para o território de Guarulhos, pode-se observar que os maiores níveis de ameaça coincidem com os terrenos mais íngremes, que tendem a ser mais suscetíveis a deslizamentos. Entretanto, algumas destas regiões, como Cabuçu de Cima, Tanque Grande, Fortaleza e Morro Grande, estão localizadas em áreas de unidades de conservação, com baixa ou nenhuma presença de populações ou infraestruturas. Portanto, ao cruzar com os dados de exposição, o risco torna-se mais baixo. Da mesma forma, a forte presença de ecossistemas florestais preservados no território torna-o menos vulnerável à ocorrência de deslizamentos. O cruzamento destas informações é fundamental para a consolidação do risco climático e nos mostra que, mesmo em áreas de ameaça elevada, o risco pode ser baixo, devido à falta de exposições ou vulnerabilidades.

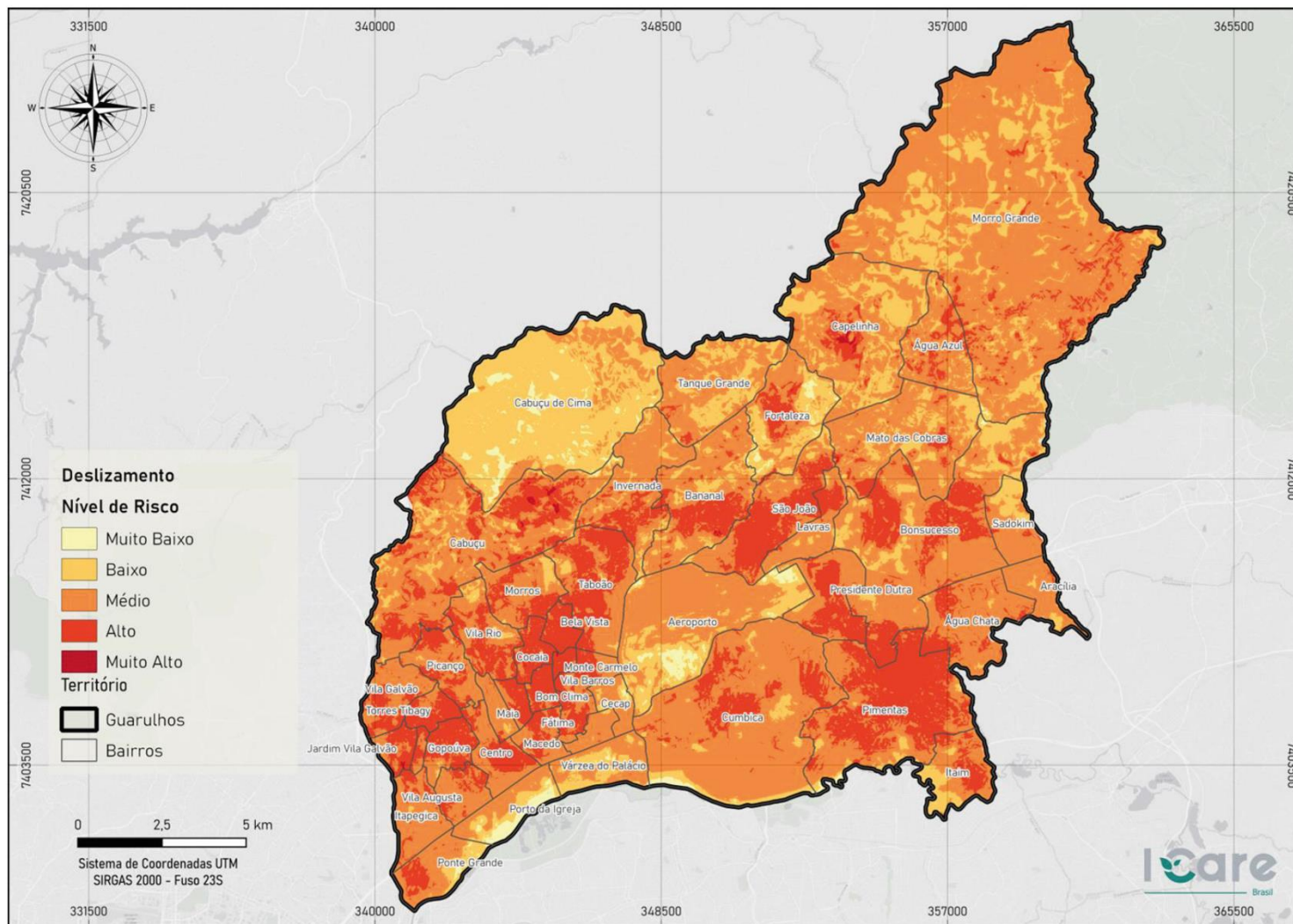
Observa-se que as áreas de ocupações irregulares apresentam risco muito alto de ocorrência de deslizamentos, em especial, aquelas áreas próximas aos limites com áreas verdes e protegidas, ao norte do município. Inclusive, ao longo do tempo se percebe que o risco aumenta mais nas áreas mais ao norte,

A Figura 53, Figura 54 e Figura 55 apresentam os mapas de risco de deslizamentos para a cidade de Guarulhos para períodos futuros: 2040, 2070 e 2100, respectivamente.

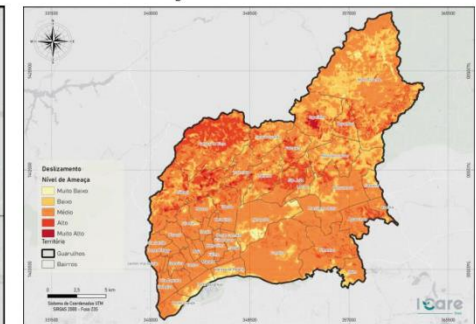
Bairros críticos: São João, Bonsucesso, Pimentas, Bananal, Presidente Dutra, Cabuçu, Morros, Jardim Vila Galvão, Taboão, Bela Vista, Primavera, Mikail e arredores.

Figura 53 - Risco climático atrelado à ocorrência de deslizamentos de terra até 2040 (Fonte: I Care, 2024)

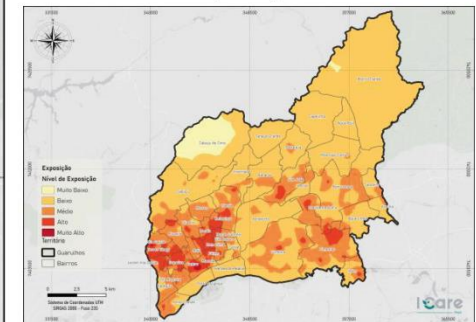
Risco Climático – Curto prazo



Ameaça - Deslizamento



Exposição



Vulnerabilidade

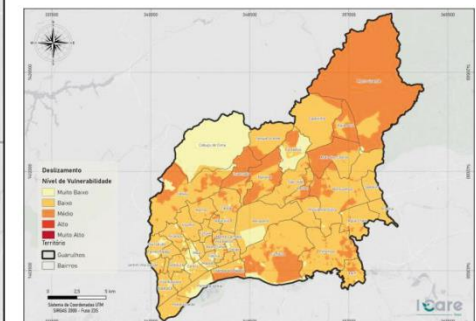
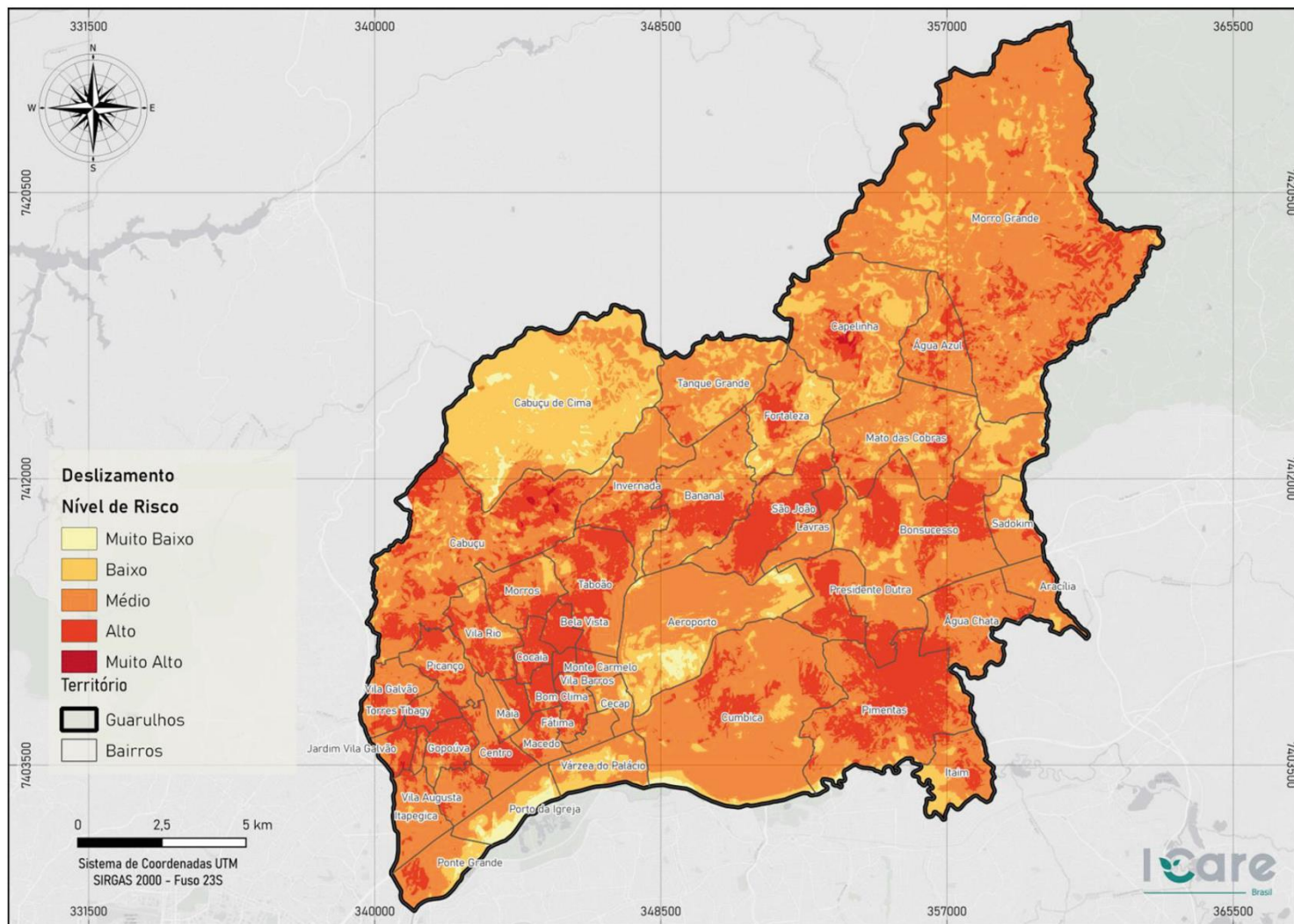
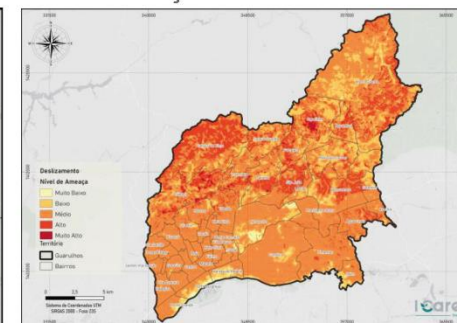


Figura 54 - Risco climático atrelado à ocorrência de deslizamentos de terra até 2070 (Fonte: I Care, 2024)

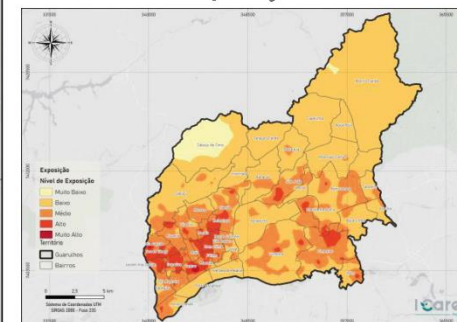
Risco Climático – Médio prazo



Ameaça - Deslizamento



Exposição



Vulnerabilidade

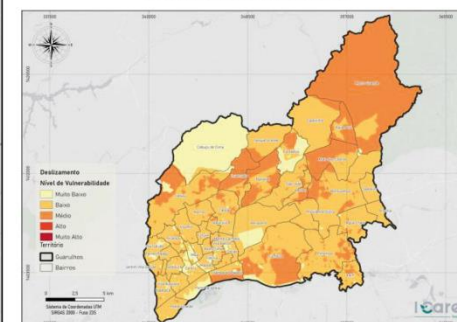
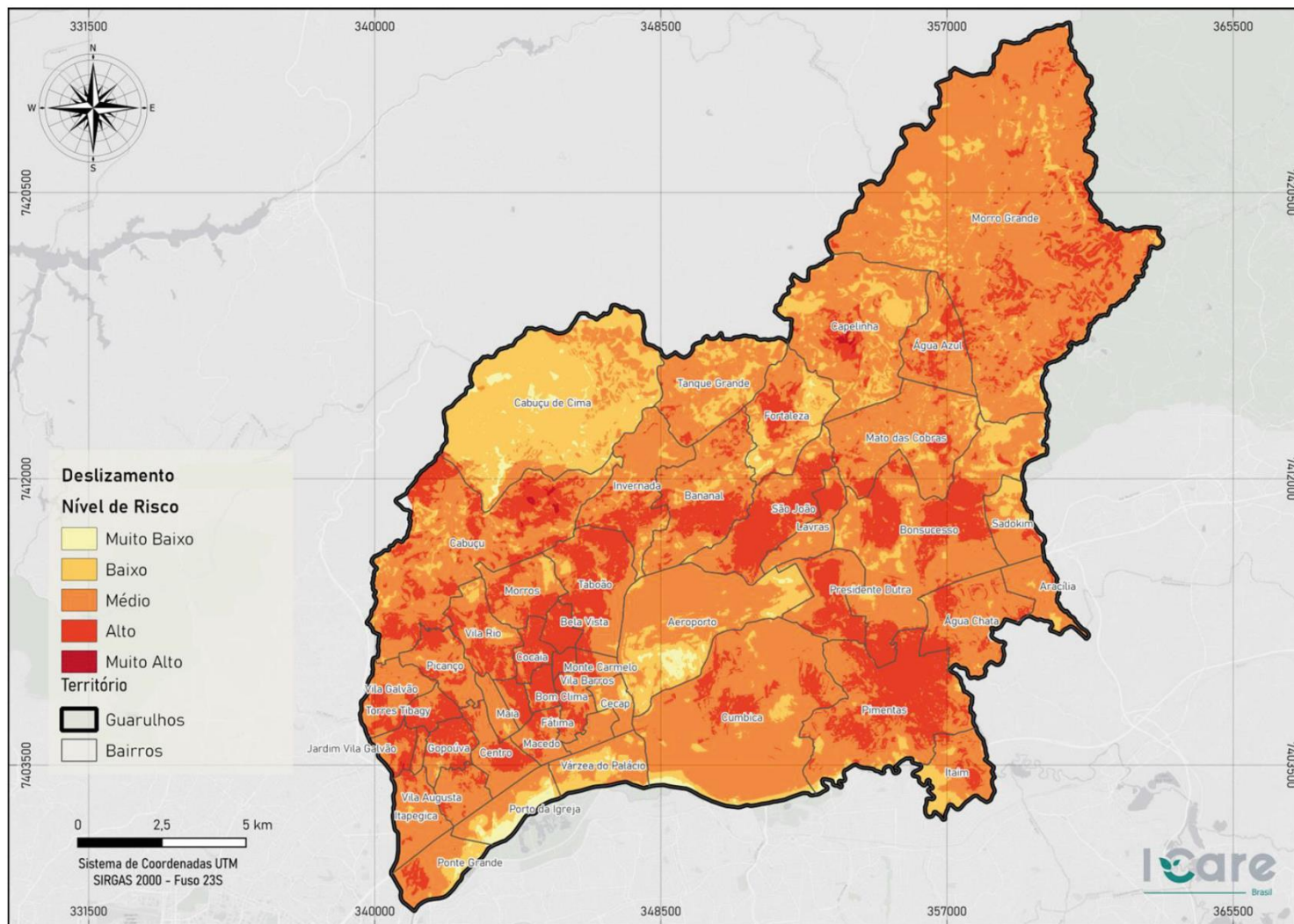
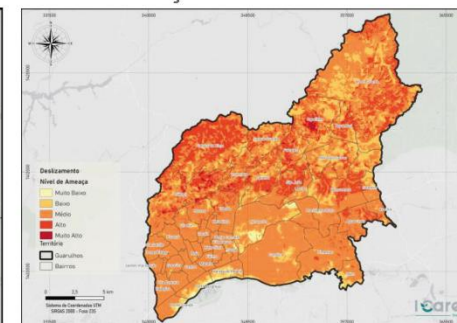


Figura 55 - Risco climático atrelado à ocorrência de deslizamentos de terra até 2100 (Fonte: I Care, 2024)

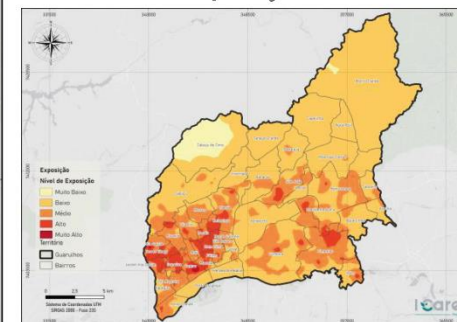
Risco Climático – Longo prazo



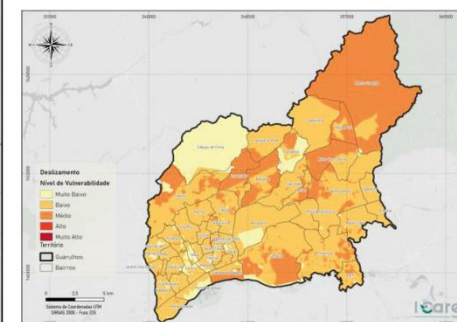
Ameaça - Deslizamento



Exposição



Vulnerabilidade





Inundações fluviais

Segundo a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE), as inundações se configuram como a submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas. O transbordamento ocorre de modo gradual, geralmente ocasionado por chuvas prolongadas em áreas de planície (2016). Portanto, elas se diferem dos alagamentos, pois ocorrem, exclusivamente, na área de transbordamento de cursos d'água. Esta premissa pode ser observada nitidamente nos mapas que representam a ameaça de inundações no território, as áreas de Guarulhos classificadas como mais críticas (vermelho escuro) frente à ocorrência da ameaça são os territórios de entorno dos rios.

Assim, com a consolidação dos mapas de risco climático, temos que as regiões de maiores riscos coincidem com parte do desenho da hidrografia local. Uma larga faixa de alto risco está presente ao sul do município, onde encontra-se a várzea do Rio Tietê, e, conseqüentemente, uma larga região de Área de Proteção Ambiental. A Bacia do Alto Tietê, que abarca a maior parte de Guarulhos e, praticamente, todas as suas atividades econômicas (Guarulhos, 2008), é caracterizada por receber um grande volume de água. No passado, a margem do rio era periodicamente encharcada com as enchentes naturais do rio, entretanto, o território foi intensamente ocupado por área urbanizada. Com o aterramento das várzeas e a retificação dos rios, a região passou a sofrer duramente com impactos negativos atrelados às inundações (CAMPOS, 2011).

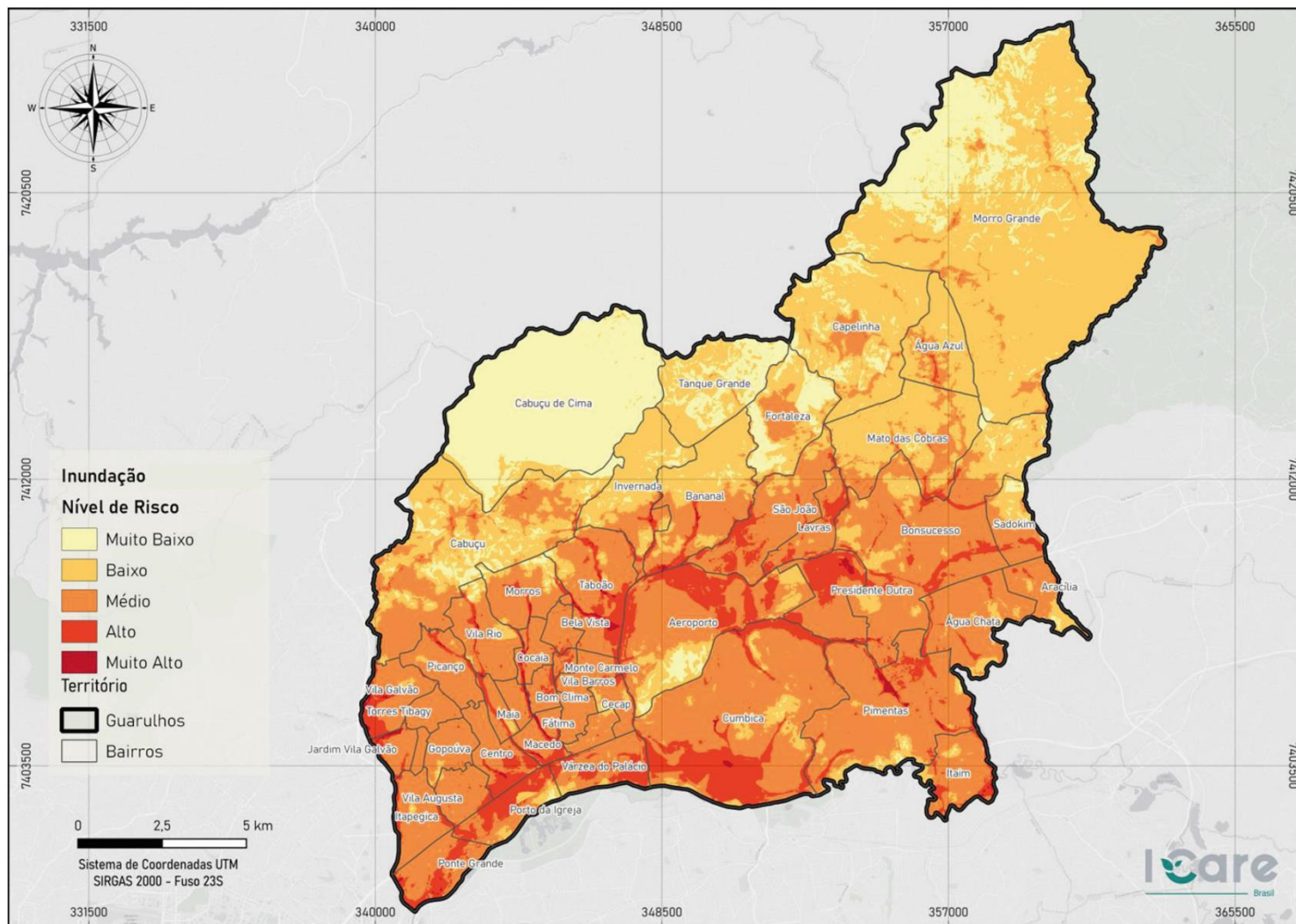
O mesmo processo ocorreu nos entornos do Rio Baquirivu-Guaçu, rio que contorna o aeroporto de Guarulhos. Antes da urbanização local, em períodos de chuvas intensas as áreas úmidas das várzeas eram inundadas, principalmente nos pontos mais planos e baixos. Com a construção do aeroporto e a ocupação do entorno com indústrias e residências, a região passou a sofrer com as inundações em decorrência do extravasamento do rio. Foi indicado pela Defesa Civil que as áreas da margem da bacia do Baquirivu e Izildinha apresentam maior suscetibilidade à inundações.

A Figura 56, Figura 57 e Figura 58 apresentam os mapas de risco de inundações para a cidade de Guarulhos para períodos futuros: 2040, 2070 e 2100, respectivamente.

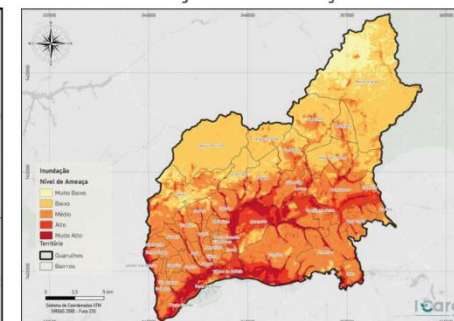
Bairros críticos: Vila Galvão, Ponte Grande, Porto da Igreja, Centro, Macedo, Várzea do Palácio, Aeroporto, Taboão, Presidente Dutra, Lavras, São João e Cumbica.

Figura 56 - Risco climático atrelado à ocorrência de inundações fluviais até 2040 (Fonte: I Care, 2024)

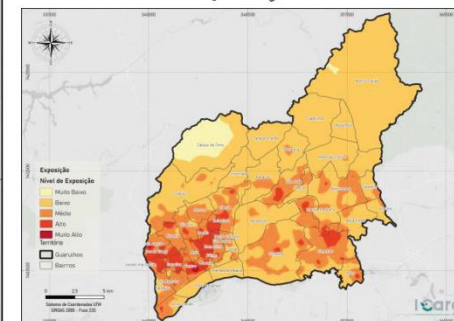
Risco Climático – Curto prazo



Ameaça - Inundações



Exposição



Vulnerabilidade

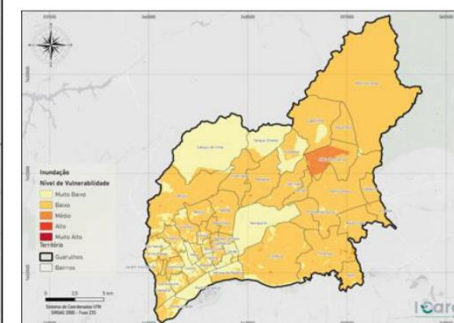
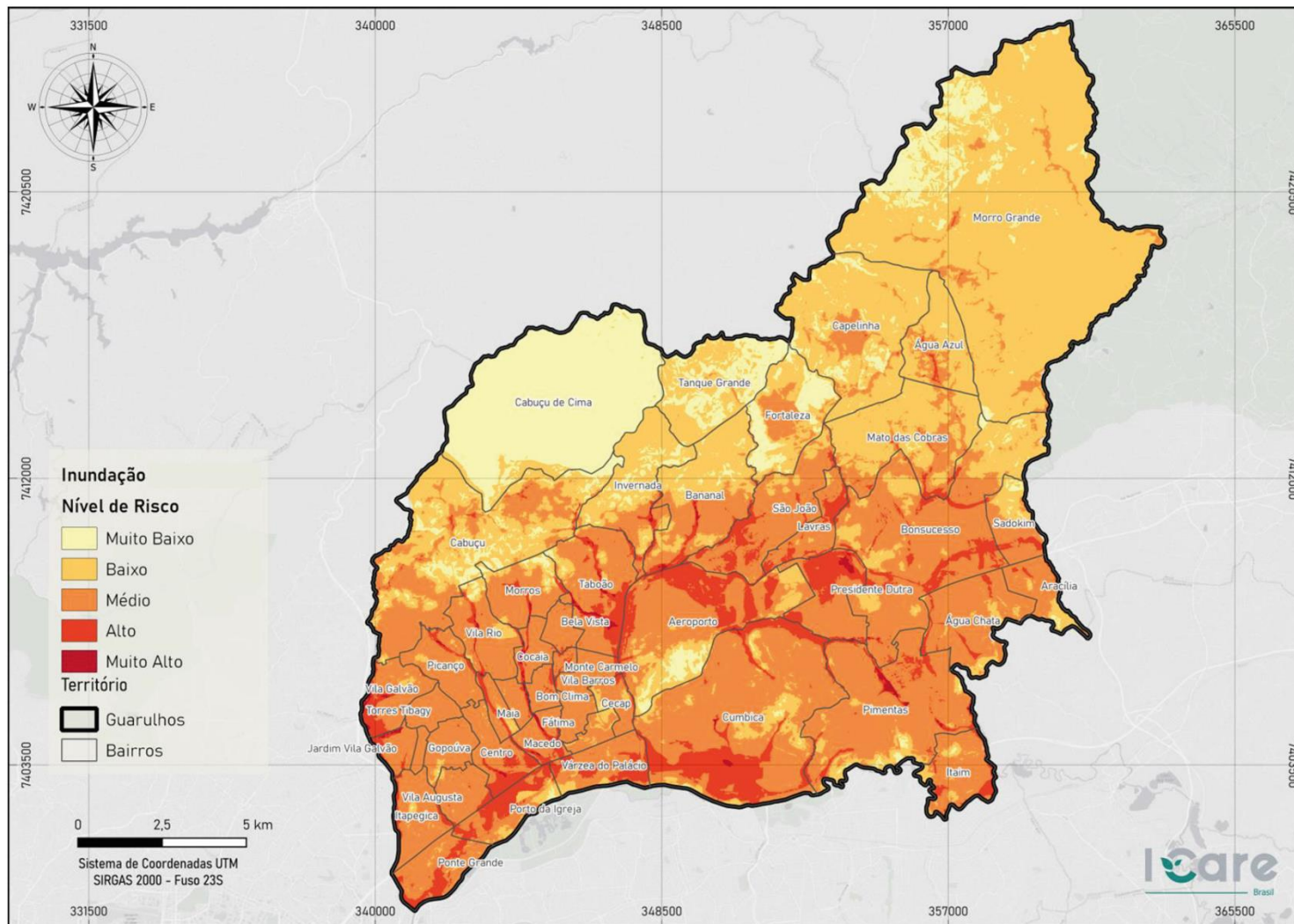
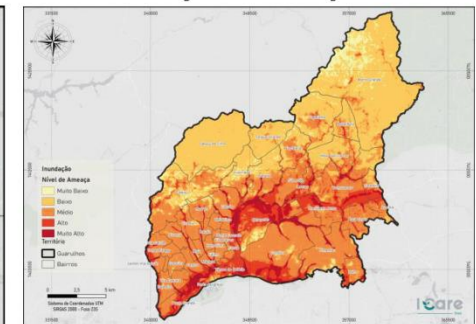


Figura 57 - Risco climático atrelado à ocorrência de inundações fluviais até 2070 (Fonte: I Care, 2024)

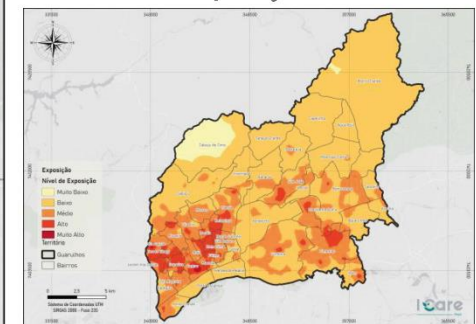
Risco Climático – Médio prazo



Ameaça - Inundações



Exposição



Vulnerabilidade

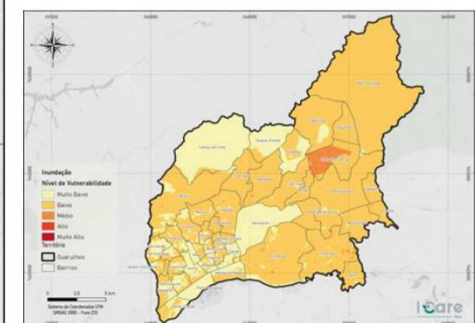
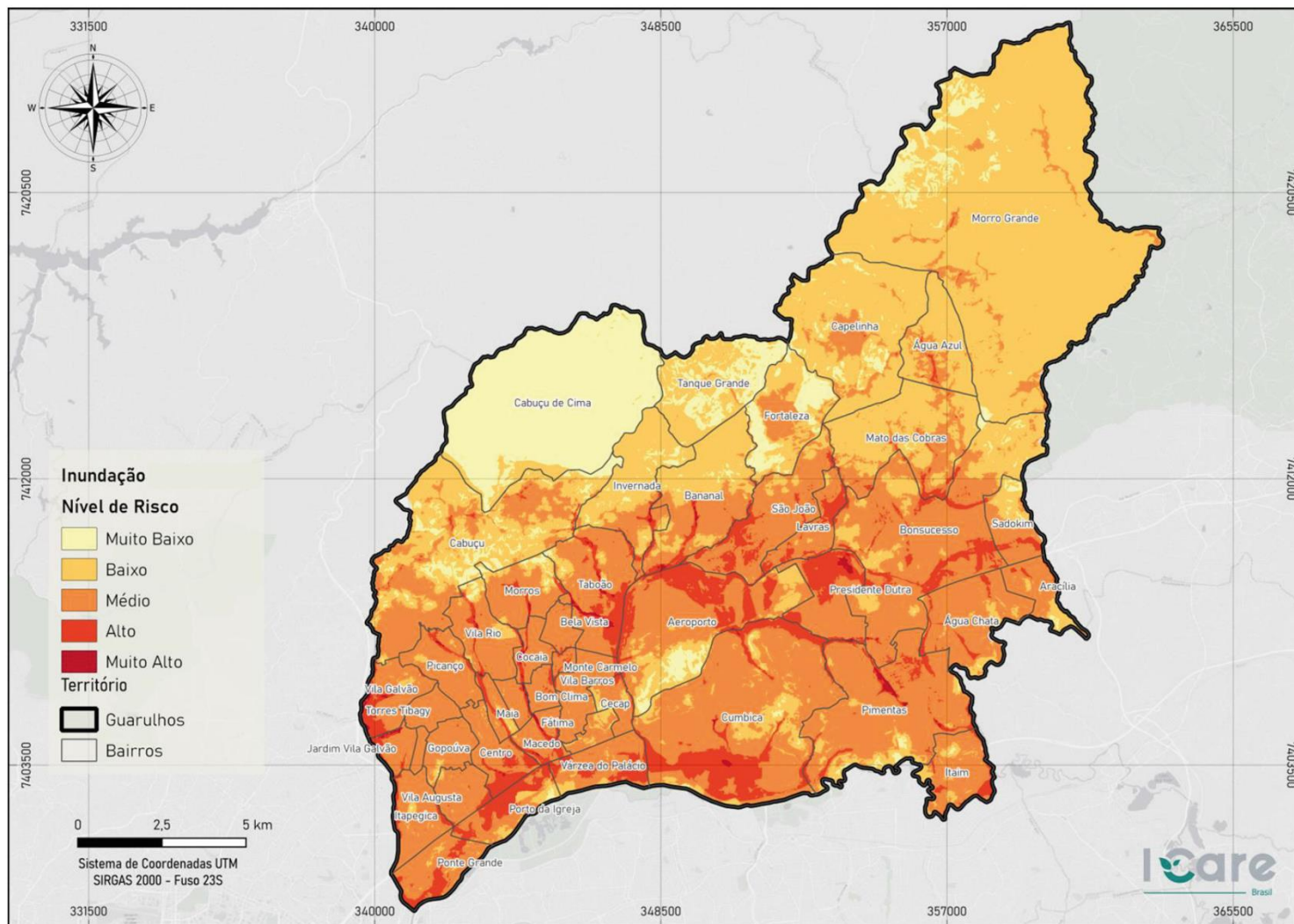
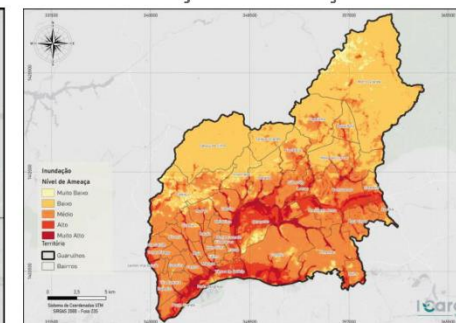


Figura 58 - Risco climático atrelado à ocorrência de inundações fluviais até 2100 (Fonte: I Care, 2024)

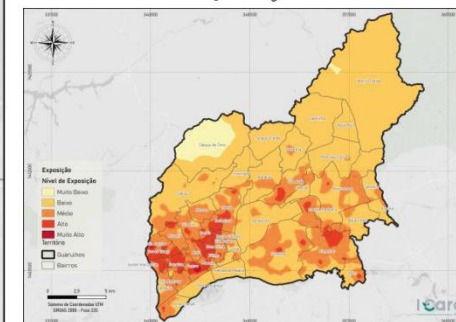
Risco Climático – Longo prazo



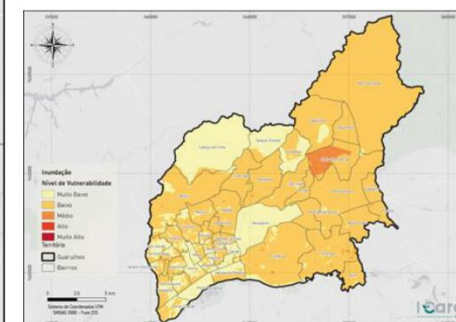
Ameaça - Inundações



Exposição



Vulnerabilidade





Ondas de calor

A COBRADE define onda de calor como um período prolongado excessivamente quente e desconfortável, onde as temperaturas ficam acima de um valor normal esperado para aquela região em determinado período do ano. Geralmente é adotado um período mínimo de três dias com temperaturas 5°C acima dos valores máximos médios (2016).

Segundo Teza e Baptista (2004), a ilha de calor é um fenômeno caracterizado pelo aumento das temperaturas médias em zonas de maior adensamento urbano. Ela se forma devido aos diferentes padrões de irradiação de calor decorrentes do uso e ocupação do solo local. Territórios com menor presença de áreas vegetadas e maior presença de solo asfaltado, estruturas de concreto e edifícios possuem maior refletividade e, portanto, produzem microclimas de temperaturas mais elevadas. Já zonas rurais ou florestais, devido à maior absorção da radiação solar pela superfície, estabelecem temperaturas mais amenas.

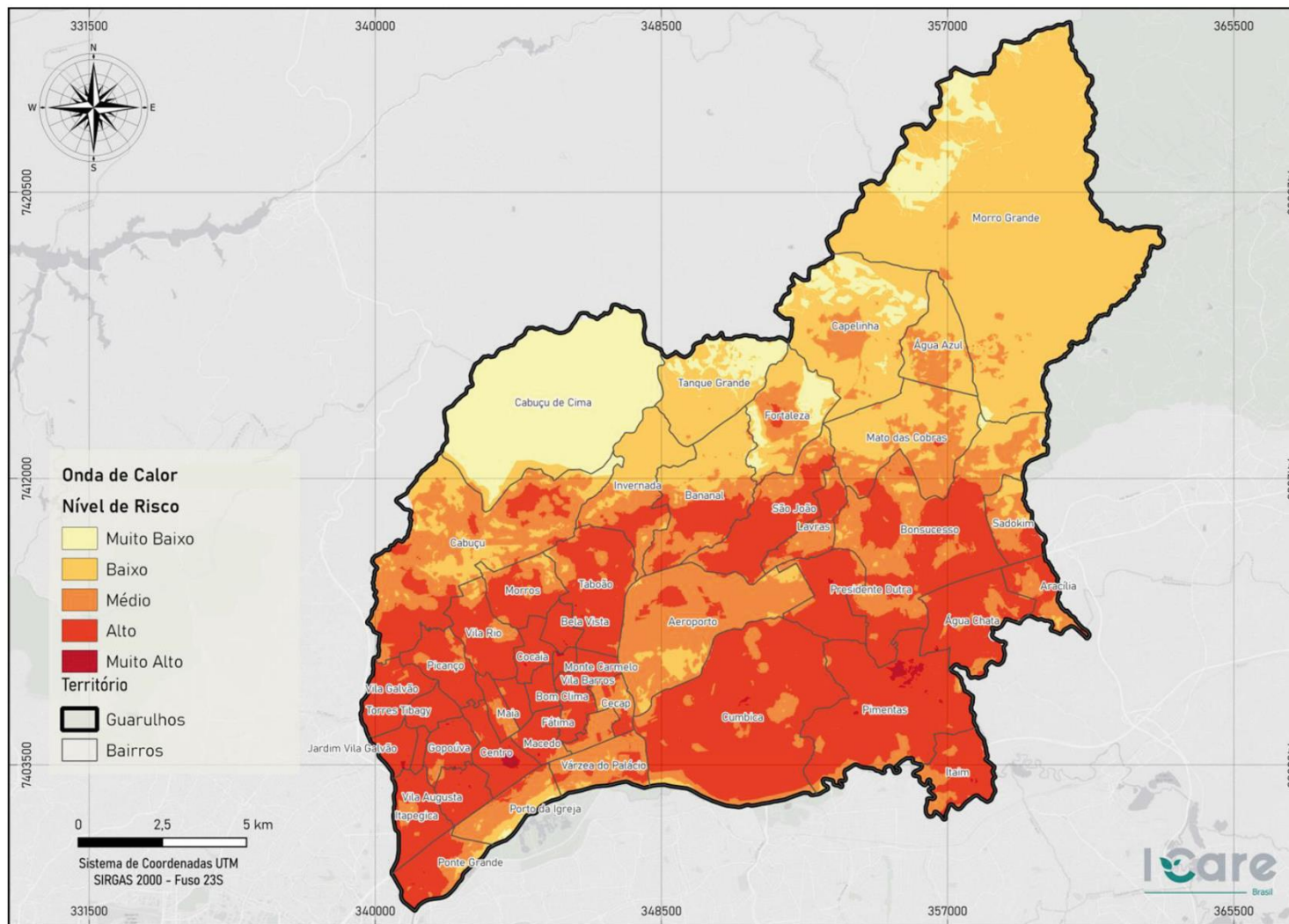
Os resultados consolidados com os mapas de exposição reproduzem o comportamento descrito sobre o fenômeno das ilhas de calor. As regiões de Guarulhos com maior adensamento urbano são as regiões mais ameaçadas frente a ocorrência de ondas de calor. Já onde existe a maior presença de ecossistemas florestais preservados, existe uma tendência de manutenção do conforto térmico.

A Figura 59, Figura 60 e Figura 61 apresentam os mapas de risco de ondas de calor para a cidade de Guarulhos para períodos futuros: 2040, 2070 e 2100, respectivamente.

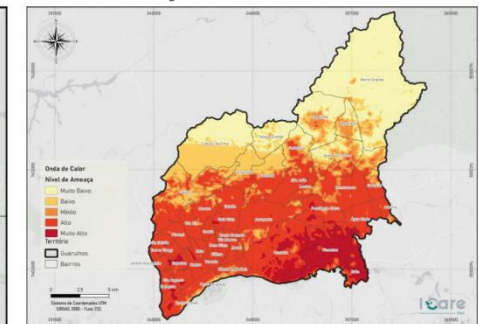
Bairros críticos: Pimentas, Cumbica, Bonsucesso, São João, Presidente Dutra, Taboão, Bela Vista, Cocaia, Bom Clima, Jardim Vila Galvão, Centro e arredores.

Figura 60 - Risco climático atrelado à ocorrência de ondas de calor até 2070 (Fonte: I Care, 2024)

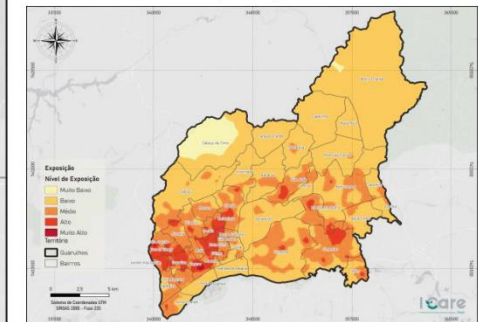
Risco Climático – Médio prazo



Ameaça – Ondas de calor



Exposição



Vulnerabilidade

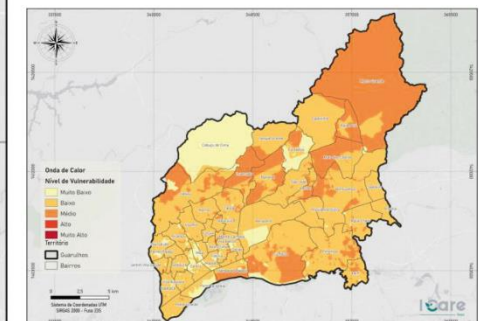
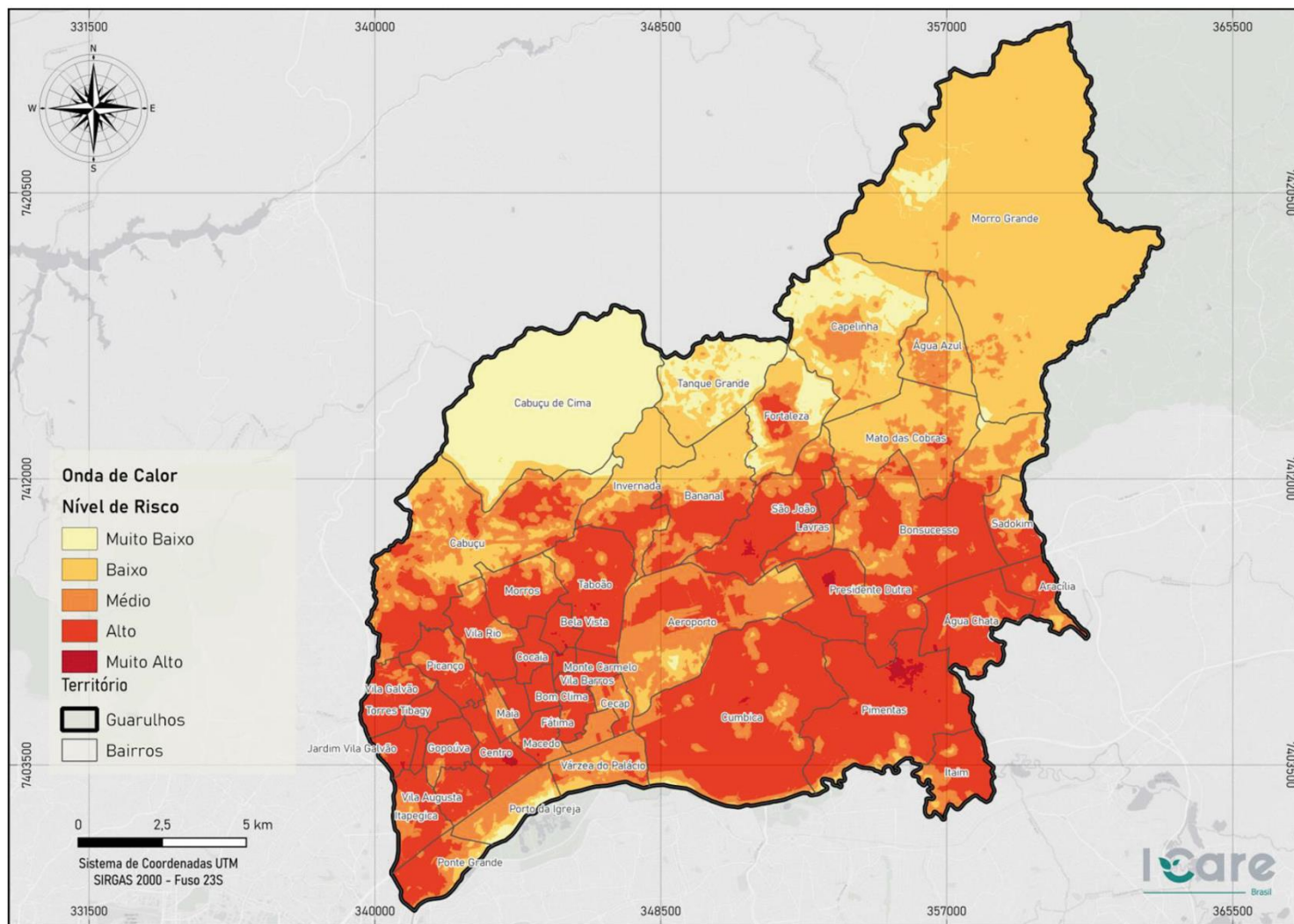
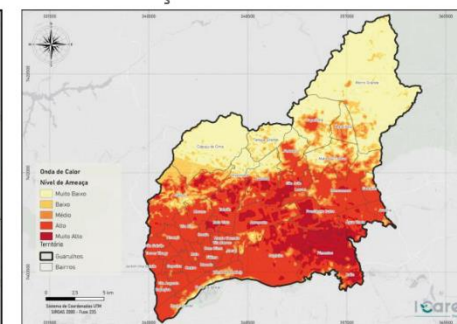


Figura 61 - Risco climático atrelado à ocorrência de ondas de calor até 2100 (Fonte: I Care, 2024)

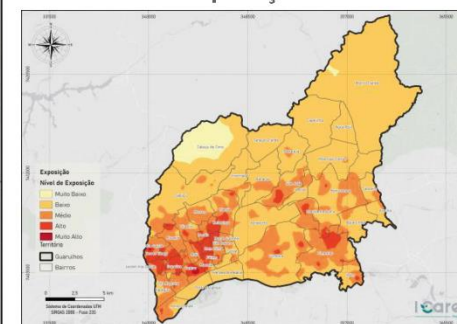
Risco Climático – Longo prazo



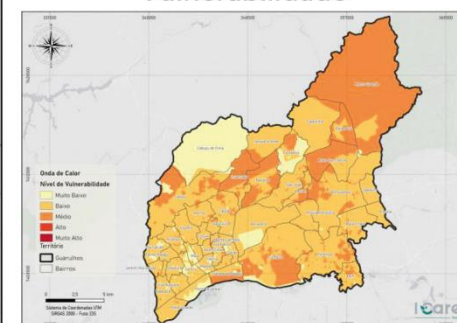
Ameaça – Ondas de calor



Exposição



Vulnerabilidade





Secas

Segundo a COBRADE, o subgrupo de desastres classificados como seca abarca: estiagens, secas, incêndios florestais e baixa umidade do ar. As estiagens são definidas como período prolongado de baixa ou nenhuma pluviosidade, em que a perda de umidade do solo é superior à sua reposição. Já o tipo de desastre denominado seca é definido como uma estiagem prolongada, durante tempo suficiente para que a falta de precipitação provoque grave desequilíbrio hidrológico (2016).

Historicamente, a Região Metropolitana de São Paulo vivenciou diversas dificuldades para garantir o abastecimento de água nas cidades. Este panorama tem seu marco durante a crise hídrica que se agravou no período entre 2013 e 2015. Ano a ano, foram registradas reduções significativas no volume de armazenamento de água nos mananciais, como indicam os estudos da Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo (ARSESP, 2015). Durante o período de escassez hídrica, o município de Guarulhos teve o fornecimento de água severamente afetado. Até o final de 2018, cerca de 88% do abastecimento público de Guarulhos era proveniente da compra em atacado de água da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), e diversas medidas de racionamento foram necessárias. No período, o município foi dividido na metade, de forma que o rodízio alternava qual lado seria abastecido a cada dia. No segundo semestre de 2015, o Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) iniciou o rodízio de um dia com água e dois sem para 17 bairros de Guarulhos (GUANDELINE, 2015).

Assim, tem-se a seca como uma ameaça que já impacta severamente o município. Os mapas trazem a disposição territorial e os níveis de risco dentro de Guarulhos, porém deve-se analisar, também, as tendências nas regiões em que as captações do sistema de abastecimento público são realizadas.

A Figura 62, Figura 63 e Figura 64 apresentam os mapas de risco de inundações para a cidade de Guarulhos para períodos futuros: 2040, 2070 e 2100, respectivamente.

Bairros críticos: Pimentas, Presidente Dutra, Centro e arredores.

Figura 62 - Risco climático atrelado à ocorrência de secas até 2040 (Fonte: I Care, 2024)

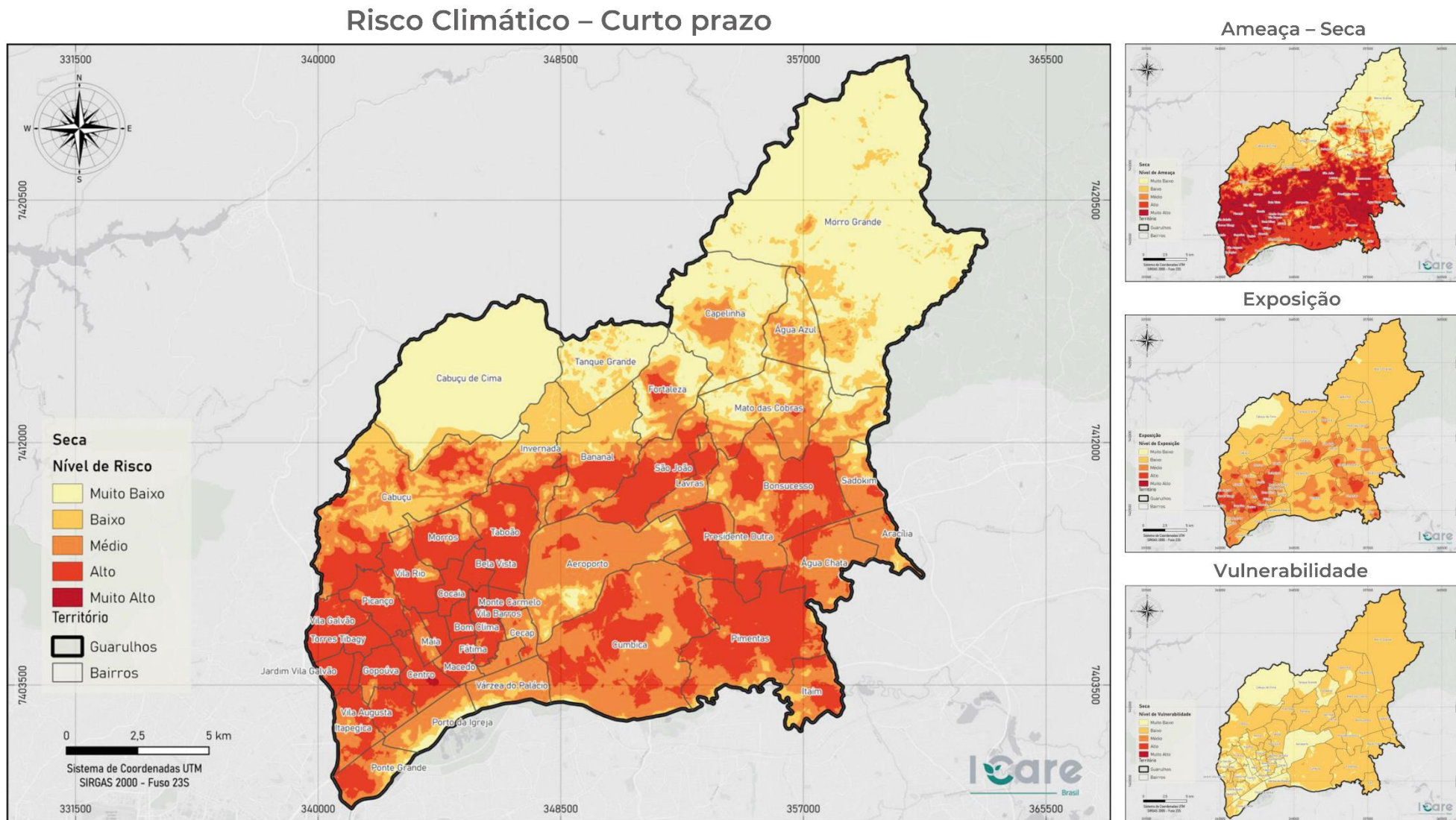
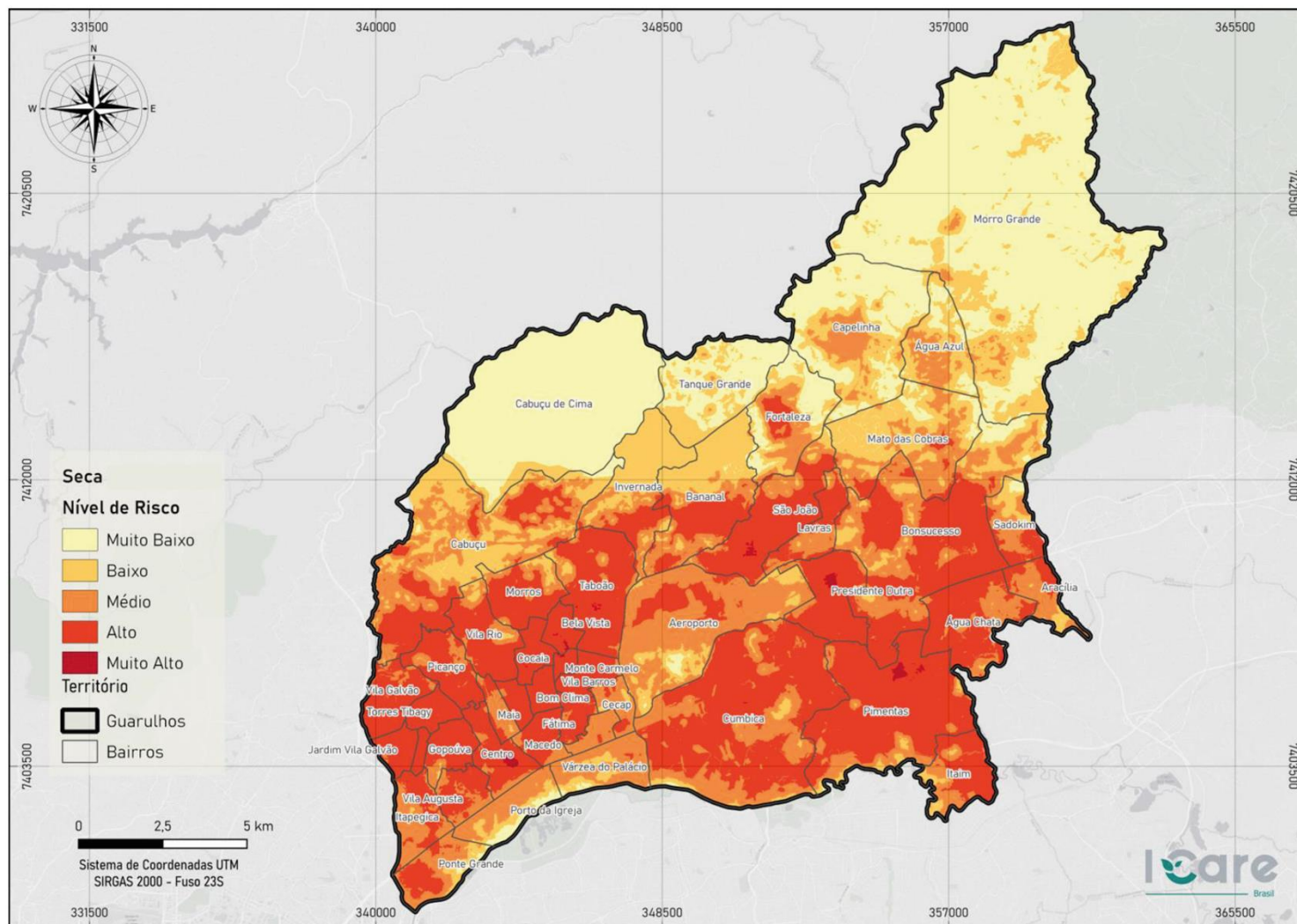
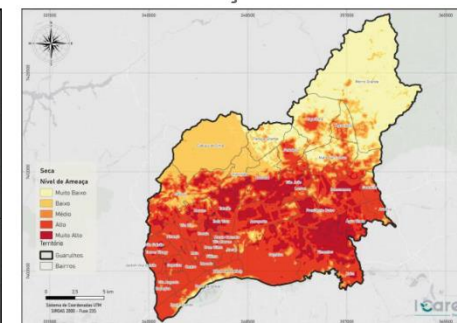


Figura 63 - Risco climático atrelado à ocorrência de secas até 2070 (Fonte: I Care, 2024)

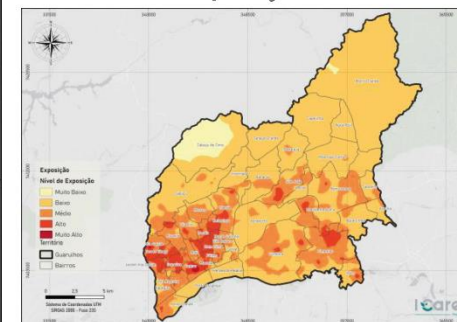
Risco Climático – Médio prazo



Ameaça – Seca



Exposição



Vulnerabilidade

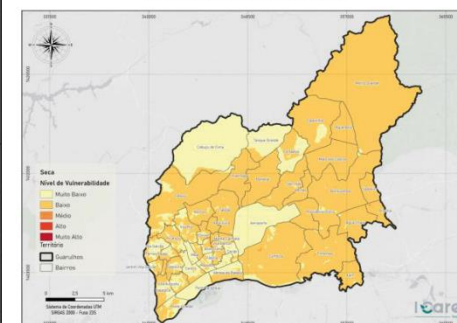
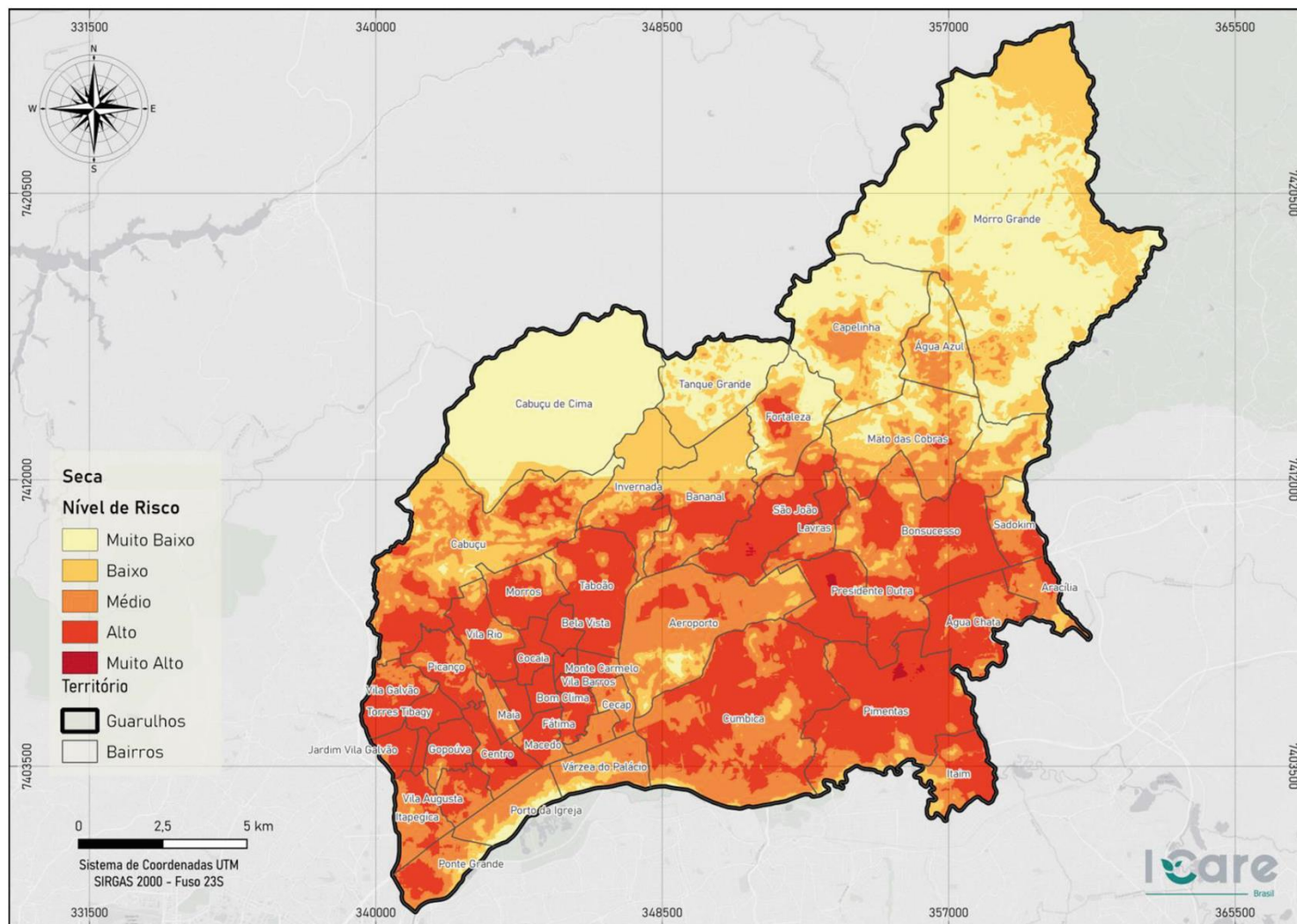
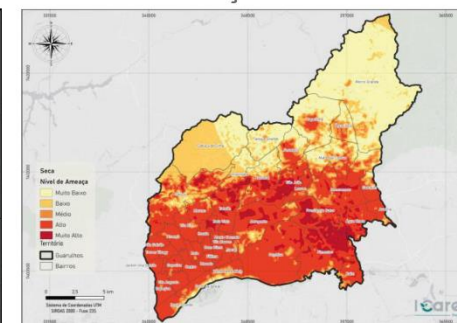


Figura 64 - Risco climático atrelado à ocorrência de secas até 2100 (Fonte: I Care, 2024)

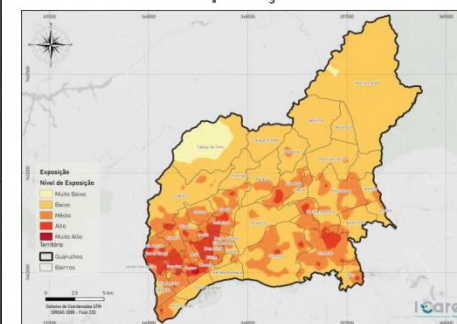
Risco Climático – Longo prazo



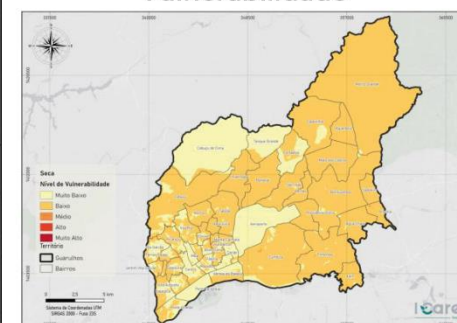
Ameaça – Seca



Exposição



Vulnerabilidade





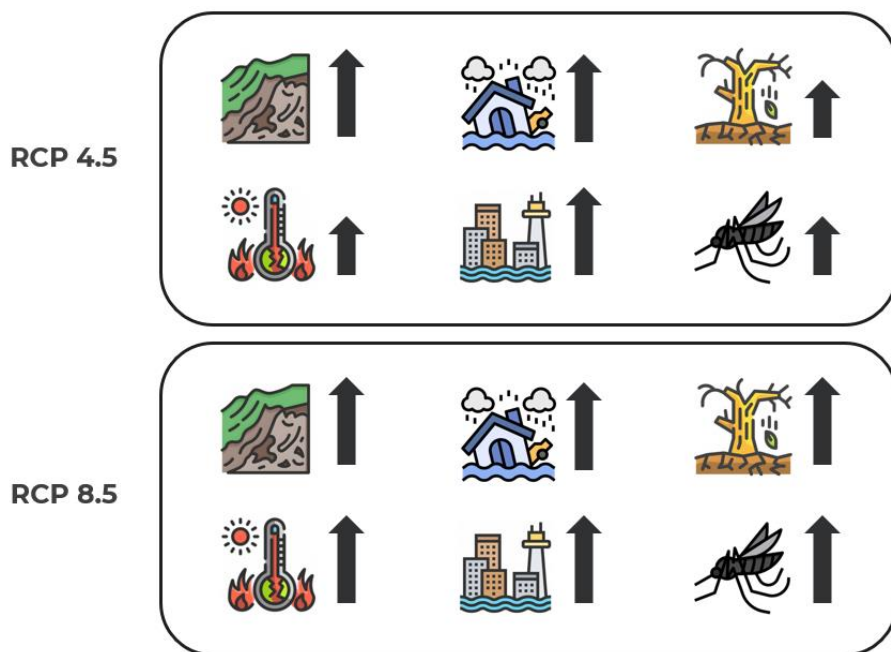
4. Considerações

A partir do estudo do clima histórico e da análise de modelos climáticos globais foi possível identificar as tendências em curso e as projetadas para o município de Guarulhos. Os índices climáticos foram selecionados buscando uma melhor representação das ameaças climáticas mais significativas para o território, portanto, podemos inferir, a partir deles, as tendências para a frequência ou intensidade dos eventos climáticos extremos nos próximos anos.

A Figura 65 representa de forma ilustrada as conclusões obtidas. Segundo o comportamento dos fatores climáticos, o município tende a sofrer com o aumento da frequência ou da intensidade de deslizamentos, alagamentos, secas, ondas de calor, inundações e ocorrências de arboviroses. Tanto o cenário de redução de emissões de GEE (RCP 4.5), quanto o de continuidade no aumento das emissões (RCP 8.5) apresentaram aumento dessas ameaças climáticas, porém em intensidades diferentes.

Todas as ameaças climáticas apresentaram cenários mais críticos para o cenário RCP 8.5, com destaque para ondas de calor, secas e arboviroses. À estas, estão atrelados índices que aumentam de forma mais acelerada no cenário RCP 8.5. Para inundações, alagamentos e deslizamentos, os cenários só apresentam maior discrepância entre si a partir de 2040. Em resumo, há uma tendência de redução no volume de chuvas acumulado no ano, contudo esse volume tende a precipitar em espaços mais curtos de tempo, ocasionando chuvas intensas ou tempestades, cenário ideal para ocorrência de alagamentos, deslizamentos, enxurradas e inundações. Há a tendência de aumento das temperaturas que favorecem a ocorrência das ondas de calor e proliferação de casos de arboviroses, além de potencializar a ocorrência de incêndio florestais nos períodos de estiagem.

Figura 65 - Visão geral das tendências de ameaças climáticas no município de Guarulhos (Fonte: I Care, 2024)



Com a elaboração dos mapas, foi possível analisar a disposição territorial do risco climático no município. Foram consideradas as vulnerabilidades de cada bairro, os fatores de exposição e as projeções climáticas georreferenciadas. A análise do comportamento territorial das ameaças climáticas levou em consideração fatores como declividade, tipo de solo, área vegetada, sistemas de drenagem e regiões pavimentadas. Estes fatores trouxeram a análise estatística para fatores já diagnosticados durante a caracterização da cidade.



Nesse estudo, os bairros que apresentaram riscos mais altos são identificados como mais críticos frente às ameaças climáticas. Na prática, isso significa que eles tendem a sofrer com a maior frequência com eventos climáticos extremos e vivenciar impactos mais severos quando ocorrem. Segundo as análises desenvolvidas, os bairros que abarcam os territórios de maior risco climático são: Presidente Dutra, Pimentas, Taboão, Bela Vista, Centro, Cumbica, São João, Bonsucesso e áreas de ocupações irregulares similares à região de Recreio São Jorge e Novo Recreio. Estes, destacaram-se, principalmente, pela elevada exposição. Isso significa que possuem elevada densidade populacional, muitos ativos comerciais e infraestruturas urbanas de mobilidade, lazer e meio ambiente. Além disso, possuem importantes infraestruturas de prestação serviços públicos, como escolas, hospitais e sistemas de saneamento.

Um aspecto que se destaca como vulnerabilidade no município, é a existência de áreas extensas com ocupações irregulares e moradias em áreas de risco. Essas áreas estão mais suscetíveis, principalmente, às ameaças de alagamentos, arboviroses, deslizamentos e inundações. Esse cenário, foi verificado em especial nas áreas de Recreio São Jorge, Novo Recreio e áreas próximas ao rio Cabuçu durante a visita técnica, e está diretamente relacionado ao déficit habitacional existente no município e a elevada demanda de moradias, por Guarulhos estar localizado na região metropolitana de São Paulo.

Para a reduzir ou neutralizar os riscos climáticos locais, o município deve visar a adoção de medidas de mitigação das emissões de gases de efeito estufa e de adaptação frente à ocorrência de eventos climáticos extremos. Com base nas informações do estudo é possível avaliar a implementação de políticas públicas mais efetivas e assertivas para agir principalmente para reduzir a vulnerabilidade das populações e tornar mais resilientes os ativos expostos aos impactos da mudança do clima. Ações como as elencadas pelo Plano de Adaptação e Resiliência à Mudança Climática de Guarulhos, de 2022, devem ser desenvolvidas, fortalecidas e ampliadas. E o Plano de Ação Climático a ser construído a partir desse novo estudo irá abarcar todas as ações em andamento e em planejamento que contribuem para tornar o município mais resiliente à eventos climáticos extremos que estão por vir.

Exemplos de ações que podem ser incorporadas no Plano de Adaptação e Mitigação frente aos aspectos de vulnerabilidade e exposição, podem envolver em intensificar e aprimorar ações de proteção das áreas verdes e reduzir ocupações irregulares dessas áreas, aumentar a cobertura de coleta e tratamento de esgoto, avaliar áreas de aprimoramento dos projetos de macrodrenagem, entre outras. No caso das ameaças climáticas, as principais ações que podem ser tomadas envolvem o monitoramento climático. O monitoramento de índices como volume de chuvas acumulado em 3 (três) dias, por exemplo, é fundamental para que o município antevêja a ocorrência de eventos climáticos extremos e tome as ações necessárias para reduzir a ocorrência de incidentes.

Vale destacar ainda que podem ocorrer eventos como em Franco da Rocha, com chuvas de 800mm, que são situações muito pontuais que a modelagem dificilmente consegue prever. Para esses casos, é importante que o município esteja sempre atento e munido de instrumentos como monitoramento por meio de radares ou tecnologias que mantenham a atualização em tempo real de como está o comportamento do clima, assim como existe o Boletim do Plano Preventivo de Defesa Civil específico para escorregamentos na Serra do Mar para o Estado de São Paulo. Atualmente, a Defesa Civil de Guarulhos já faz o monitoramento dos dados de chuvas nas cabeceiras dos rios que cruzam o município e do risco de inundações, por meio dos dados do Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo (SAISP).

Cabe lembrar que, o município de Guarulhos vivenciou um processo intenso de urbanização que levou à canalização de rios, ao aterramento de solos encharcados e à ocupação do entorno de corpos hídricos. As faixas marginais e áreas de proteção permanente (APPs) para a proteção da hidrografia de Guarulhos encontram-se intensamente ocupadas por empreendimentos e moradias. Estas são áreas fundamentais para o amortecimento de enchentes naturais, preservar a qualidade das águas e manter o equilíbrio socioambiental. A situação se agrava quando os



territórios coincidem com a presença de populações vulnerabilizadas, que sofrem em maior severidade com os riscos climáticos.

O município tem envidado esforços para reduzir os riscos para a população, por meio da contínua atualização do Plano Preventivo de Proteção e Defesa Civil, ações com o Programa Mata Fogo na época das secas, que auxilia na redução dos casos de incêndios florestais e danos à biodiversidade, por exemplo. Essas e outras ações serão analisadas e complementadas no desenvolvimento do Plano de Adaptação para o município, considerando os aspectos sociais e ambientais.

Com um denso e rico acervo de ecossistemas preservados, simultaneamente, Guarulhos é detentor do 10º maior PIB do país, com um importante papel econômico a nível internacional. Esta coexistência de fatores constrói uma oportunidade histórica de consolidar um pioneirismo da cidade no combate às mudanças climáticas. Os órgãos públicos, os setores privados e a sociedade civil devem ser articulados em um processo de revisão do modelo de ocupação urbana, visando a resiliência climática, a preservação dos serviços ambientais e a proteção da população local.



5. Referências Bibliográficas

ACREMAN, M., HOLDEN, J. How Wetlands Affect Floods. *Wetlands* 33, 773-786 (2013).

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Codificação Brasileira de Desastres - COBRADE. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2016.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. Modelagem climática e vulnerabilidades Setoriais à mudança do clima no Brasil / Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016a. 590p. il. ISBN: 978-85-88063-30-3

BRASIL. Ministério da Saúde. Guia de vigilância em saúde. 6. ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2024. 1.168 p. Disponível em: https://www.saude.ba.gov.br/wp-content/uploads/2023/12/guia_vigilancia_saude_6ed_2024-completo.pdf. Acesso em: 4 jun. 2024.

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Brasília: Ministério das Cidades, 2023.

CAMPOS, D. C. Inundações: problemas ou fenômenos naturais? A ocupação das várzeas dos principais rios no Alto Tietê e a reprodução deste modelo urbano na Bacia do Rio Baquirivu Guaçu, Guarulhos, SP. 2011. Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental) – Universidade Guarulhos, Guarulhos, 2011.

CIOTA AT, KEYEL AC. The Role of Temperature in Transmission of Zoonotic Arboviruses. *Viruses*. 2019 Nov 1;11(11):1013. doi: 10.3390/v11111013. PMID: 31683823; PMCID: PMC6893470.

DALU, M & SHACKLETON, CHARLIE & DALU, T. (2018). Influence of land cover, proximity to streams and household topographical location on flooding impact in informal settlements in the Eastern Cape, South Africa. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 28. 481-490. 10.1016/j.ijdrr.2017.12.009.

DINIZ, H. N.; DUARTE U.; Caracterização geológica e hidrogeológica da bacia hidrográfica do rio Baquirivu-Guaçu na região de Guarulhos, SP. *Revista UnG Geociências*, Vol. I N.3, Pag 51-61 Dezembro de 1996.

ERCANOGLU, M.; GOKCEOGLU, C. Use of fuzzy relations to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (West Black Sea Region, Turkey). *Engineering Geology*, v. 75, p. 229-250, 2004.

ERMINI, L.; CATANI, F.; CASAGLI, N. Artificial neural networks applied to landslide susceptibility assessment. *Geomorphology*, v. 66, p. 327-343, 2005.

ESSER HJ, MÖGLING R, CLETON NB, van der JEUGD H, SPRONG H, STROO A, KOOPMANS MPG, de BOER WF, REUSKEN CBEM. Risk factors associated with sustained circulation of six zoonotic arboviruses: a systematic review for selection of surveillance sites in non-endemic areas. *Parasit Vectors*. 2019 May 27;12(1):265. doi: 10.1186/s13071-019-3515-7. PMID: 31133059; PMCID: PMC6537422.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Brasileiro de 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.



INPE e UNICAMP. Vulnerabilidades das Megacidades Brasileiras às Mudanças Climáticas: Região Metropolitana de São Paulo. 2011. Disponível em: https://www.nepo.unicamp.br/publicacoes/livros/megacidades/megacidades_R/ MSP.pdf.

INSTITUTO GEOLÓGICO. Desastres naturais – Conhecer e para prevenir/ Organizadores Lídia Keiko Tominaga, Jair Santoro, Rosângela do Amaral – 3a ed. - São Paulo : Instituto Geológico, 2015. 196 p. : il. ; color. ; 24 ISBN 978-85-87235-09-1

IPCC, 2013: Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Collins, M.; Knutti, R.; Arblaster, J.; Dufresne, J.-L.; Fife, T.; Friedlingstein, P.; Gao, X.; Gutowski, W. J.; Johns, T.; Krinner, G.; Shongwe, M.; Tebaldi, C.; Weaver, A. J.; Wehner, M.; Stocker, T. F.; Qin, D.; Plattner, G.-K.; Tignor, M.; Allen, S. K.; Boschung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.; Bex, V.; Midgley, P. M. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC, 2019: Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. No prelo.

IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. In Press.

IPCC, 2023: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001

FALASCA, S & CIANCIO, V & SALATA, F & GOLASI, I & ROSSO, F & CURCI, G. (2019). High albedo materials to counteract heat waves in cities: An assessment of meteorology, buildings energy needs and pedestrian thermal comfort. Building and Environment. 163. 106242. 10.1016/j.buildenv.2019.106242. GARTLAND, L. Ilhas de Calor. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

GOULD EA, HIGGS S. Impact of climate change and other factors on emerging arbovirus diseases. Trans R Soc Trop Med Hyg. 2009 Feb;103(2):109-21. doi: 10.1016/j.trstmh.2008.07.025. Epub 2008 Sep 16. PMID: 18799177; PMCID: PMC2915563.

GUANDELIN, L. Guarulhos, na Grande SP, estuda ampliar racionamento de água. O Globo. Caderno Brasil. São Paulo. 16 jan. 2015. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/brasil/guarulhos-na-grande-sp-estuda-ampliar-rationamentode-agua-15076015>. Acesso em 19 jun. 2024.

GUARULHOS. Prefeitura Municipal de Guarulhos. Caderno Econômico de Guarulhos. 8. ed. Guarulhos: Secretaria de Desenvolvimento Econômico, 2020. Disponível em: chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.guarulhos.sp.gov.br/sites/default/files/file/arquivos/CADERNO_ECONOMICO_A4_DEZ%202020.pdf. Acesso em: 16 maio 2024.

GUARULHOS. Prefeitura Municipal de Guarulhos. Plano Diretor de Drenagem Urbana do Município de Guarulhos, 2008. Disponível em: http://servicos.guarulhos.sp.gov.br/destaques/coord_assunt_aerop/plano_diretor_drenagem.pdf. Acesso em: 15 maio 2024.



GUARULHOS. Prefeitura Municipal de Guarulhos. Plano Local de Habitação de Interesse Social: Diagnóstico Habitacional de Guarulhos. Guarulhos: Secretaria Municipal de Habitação, 2011

GRU AIRPORT. Movimentação Aeroportuária. Disponível em: <https://www.gru.com.br/pt/institucional/informacoes-operacionais/movimentacao-aeroportuaria>. Acesso em: 16 maio 2024.

HUNGR, O.; FELL, R.; COUTURE, R.; EBERHARDT, E; Landslides Risk Management. Londres: CRC Press, 2005. 776p.

KALKSTEIN LS, EISENMAN DP, de GUZMAN EB, SAILOR DJ. Increasing trees and high-albedo surfaces decreases heat impacts and mortality in Los Angeles, CA. *Int J Biometeorol*. 2022 May;66(5):911-925. doi: 10.1007/s00484-022-02248-8. Epub 2022 Mar 24. PMID: 35325269; PMCID: PMC9042982.

KENDALL, M. G. Rank Correlation Measures. Ed. Charles Griffin. London, 1975.

LI, J & DING, T & JIA, X & ZHAO, X. (2015). Analysis on the Extreme Heat Wave over China around Yangtze River Region in the Summer of 2013 and Its Main Contributing Factors. *Advances in Meteorology*. 2015. 1-15. 10.1155/2015/706713.

LHOTKA, O., KYSELJ., FARDA, A. 2018. Climate change scenarios of heat waves in Central Europe and their uncertainties. *Theoretical and Applied Climatology* 131, 1043–1054. doi:10.1007/s00704-016-2031-3

MANN, H. B. Non-parametric tests against trend. *Econometrica*, v. 13, p. 245-259, 1945.

MANZANO, Márcio & FERREIRA, Anderson & SAAD, Antonio & PIZZATO, Edilson & DE QUEIROZ, William & DALMAS, Fabrício. (2019). Fragilidade a inundações da Bacia Hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu (Guarulhos, SP). *Pesquisas em Geociências*. 46. e0785. 10.22456/1807-9806.97383.

NAIRN JR, FAWCETT RJ. The excess heat factor: a metric for heatwave intensity and its use in classifying heatwave severity. *Int J Environ Res Public Health*. 2014 Dec 23;12(1):227-53. doi: 10.3390/ijerph120100227. PMID: 25546282; PMCID: PMC4306859.

NICHOL, J. E., FUNG, W. Y., LAM, K.-S., & WONG, M. S. Urban heat island diagnosis using ASTER satellite images and 'in situ'. In: *Atmospheric Research*. V. 94. Págs. 276-284. 2009.

NGUYEN, H.D.; FOX, D.; DANG, D.K.; PHAM, L.T.; VIET Du, Q.V.; NGUYEN, T.H.T.; DANG, T.N.; TRAN, V.T.; VU, P.L.; NGUYEN, Q.-H.; et al. Predicting Future Urban Flood Risk Using Land Change and Hydraulic Modeling in a River Watershed in the Central Province of Vietnam. *Remote Sens*. **2021**, *13*, 262. <https://doi.org/10.3390/rs13020262>

NÓBREGA, R. S.; VITAL, L. A. Influência da Urbanização sobre o Microclima de Recife e Formação de Ilha de Calor. *Revista Brasileira de Geografia Física* V. 3. págs 151-156. 2010.

OLIVEIRA, et al., Guarulhos espaços de muitos povos. São Paulo. Noovha America, 2008.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). "ONU prevê que cidades abriguem 70% da população mundial até 2050". [S. l.], 2022. Disponível em: <https://unric.org/pt/onu-preve-que-cidades-abriguem-70-da-populacao-mundialate2050/#:~:text=Segundo%20a%20ONU%2C%20atualmente%2055,implementando%20processos%20de%20pol%C3%ADticas%20descentralizadas>. Acesso em: 16 maio 2023.



PBMC. Mudanças Climáticas e Cidades. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas [Ribeiro, S.K., Santos, A.S. (Eds.)]. PBMC, COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 2016. 116p. ISBN: 978-85-285-0344-9.

PRADHAN, B.; SINGH, R.P.; BUCHROITHNER, M.F. Estimation of stress and its use in evaluation of landslide prone regions using remote sensing data. *Advances in Space Research*, v. 37, p. 698-709, 2006.

ROBERT, M. A.; STEWART I, ANNA M; ESTALLO, E L. Climate change and viral emergence: evidence from Aedes-borne arboviruses; Elsevier; *Current Opinion in Virology*; 40; 2-2020; 41-47

SNIS. 2024. Diagnóstico Temático Serviço de Água e Esgoto – Visão Geral – Ano de referência 2022. Dez/2023. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos-snis>. Acesso em: 28 de junho de 2024

TEZA, C. T.; BAPTISTA, G. M. de M. Identificação do fenômeno ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER on demand 08-Kinetic Temperature (III): metrópoles brasileiras. *Anais do Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto*, Goiânia, Brasil, 16-21 200 IMPE, p. 3911-3918, 2005.

USGS. Data Spotlight: Downscaled Climate Projections to Inform Climate Research in the South-Central U.S. Region. 2021. Disponível em: < <https://www.usgs.gov/news/data-spotlight-downscaled-climate-projections-inform-climate-research-south-central-us-region>>. Acesso em: 23 fevereiro 2023.



ANEXO I

O risco climático foi analisado com o cruzamento de fatores de vulnerabilidade, exposição e ameaça. Os fatores selecionados visam contemplar as particularidades territoriais que impulsionam a maior ocorrência ou severidade do evento em questão. O processo foi realizado para as ameaças climáticas consideradas mais relevantes para o município de Guarulhos: alagamentos, arboviroses, deslizamentos de terra, inundações fluviais, ondas de calor e secas.

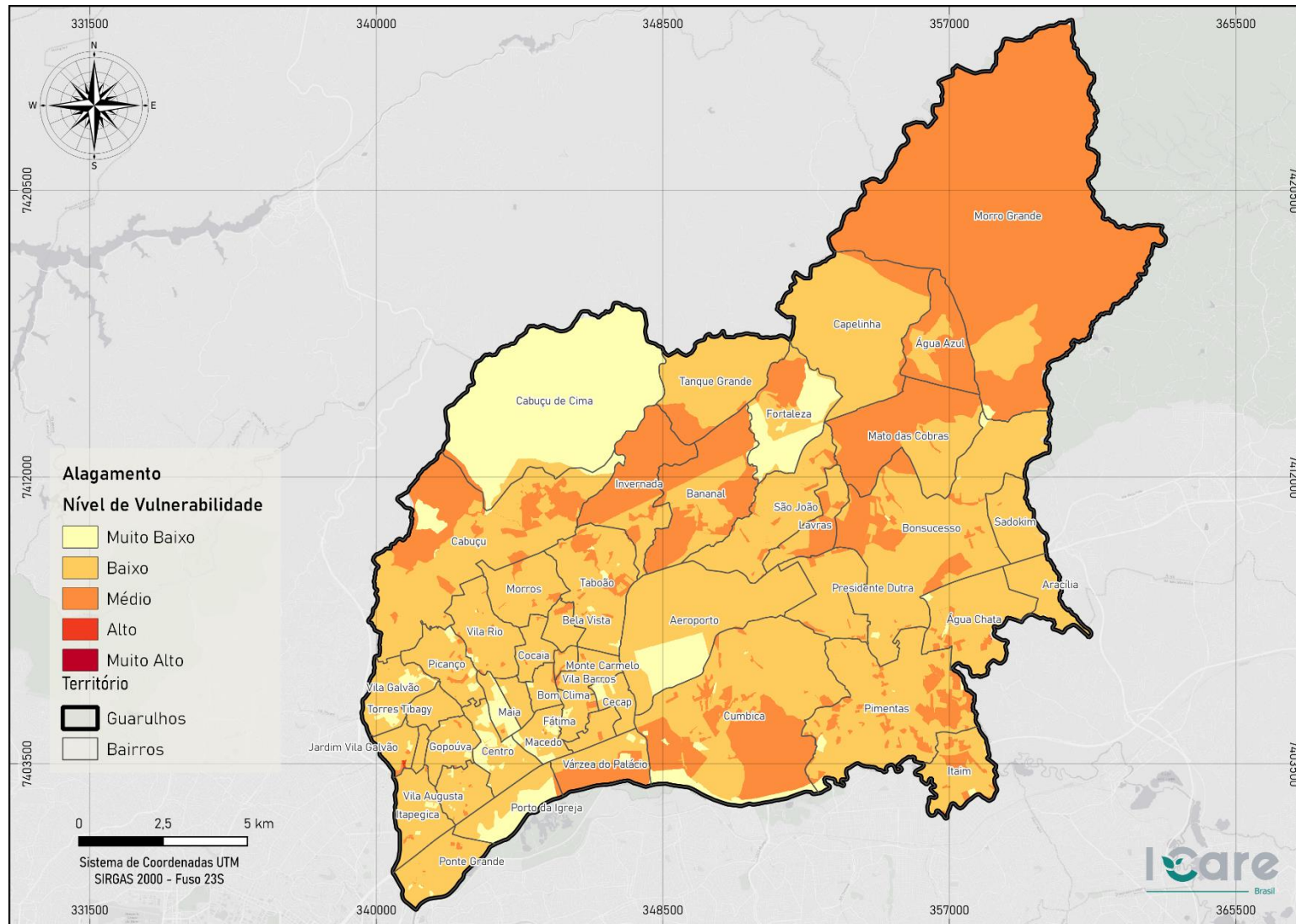
Vulnerabilidade

Vulnerabilidade é a propensão ou predisposição para ser afetado negativamente. Abrange uma variedade de conceitos e elementos, incluindo sensibilidade ou suscetibilidade a danos e falta de capacidade de enfrentamento e adaptação (IPCC, 2023). Orienta a severidade em que o impacto tende a se concretizar no município de Guarulhos. Exemplo: inexistência de coleta de esgoto, inexistência de rede de drenagem pluvial.



Alagamentos

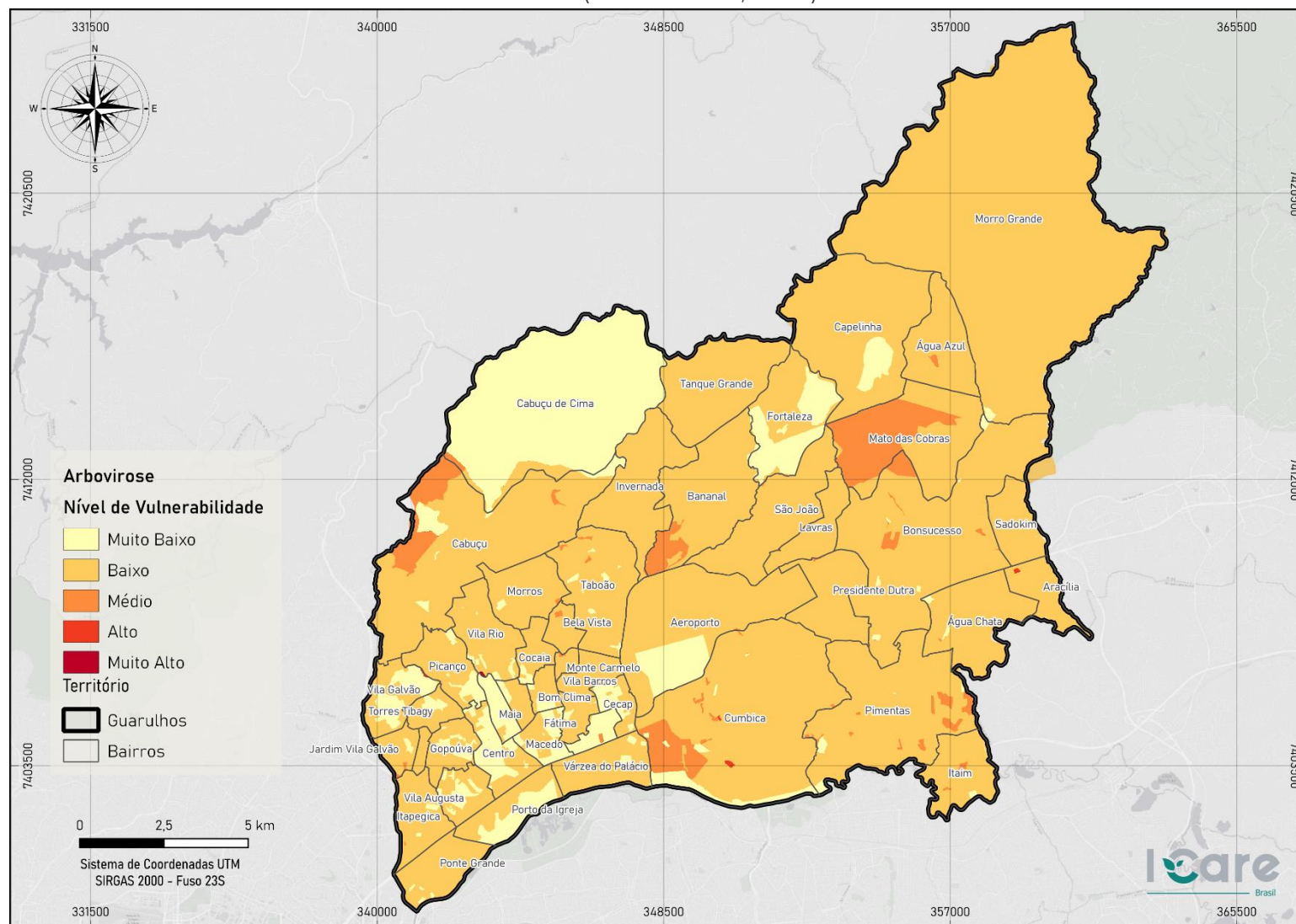
Figura 66 - Vulnerabilidade atrelada à ocorrência de alagamentos em Guarulhos (Fonte: I Care, 2024)





Arboviroses

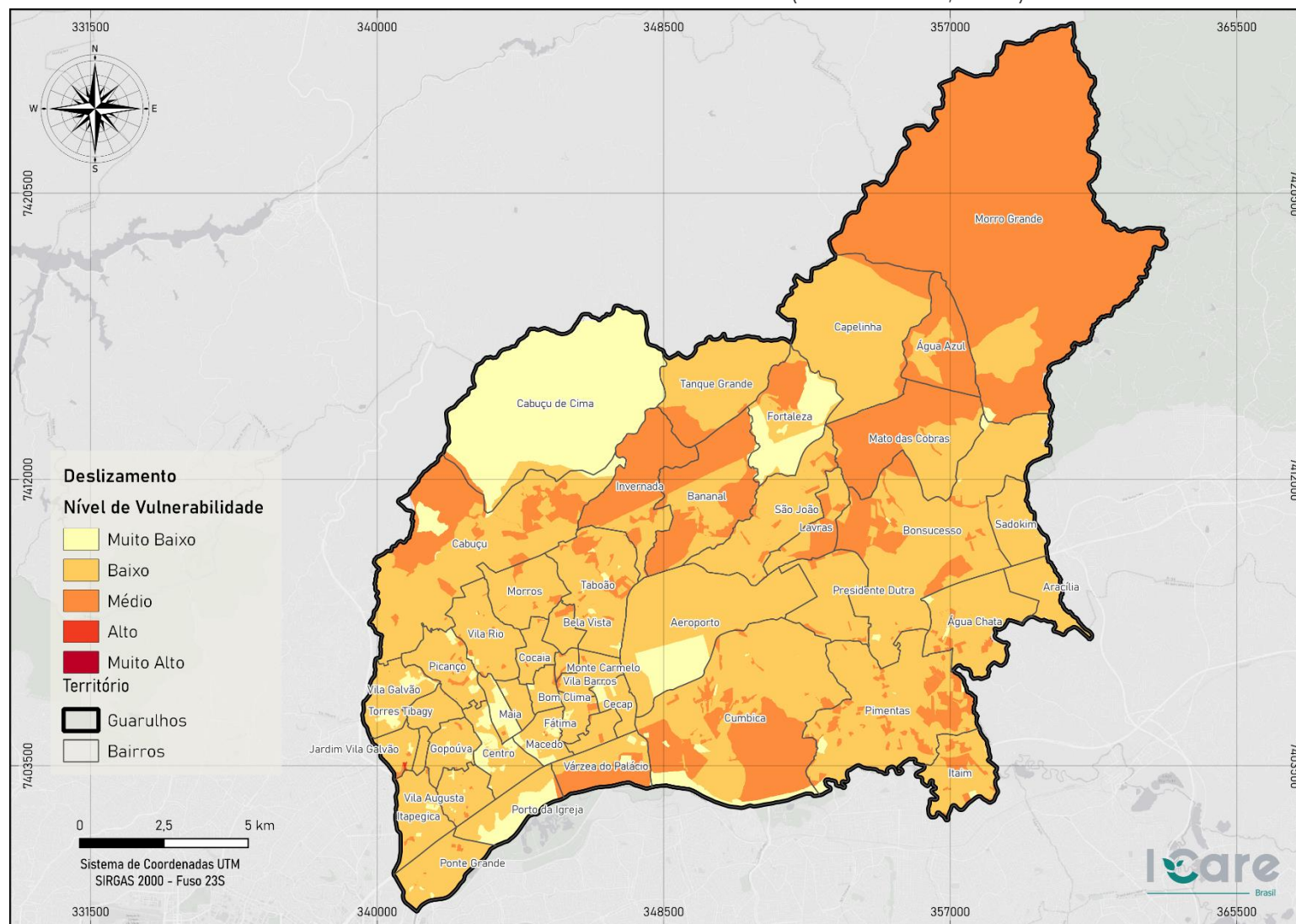
Figura 67 - Vulnerabilidade atrelada a arboviroses em Guarulhos (Fonte: I Care, 2024)





Deslizamentos de terra

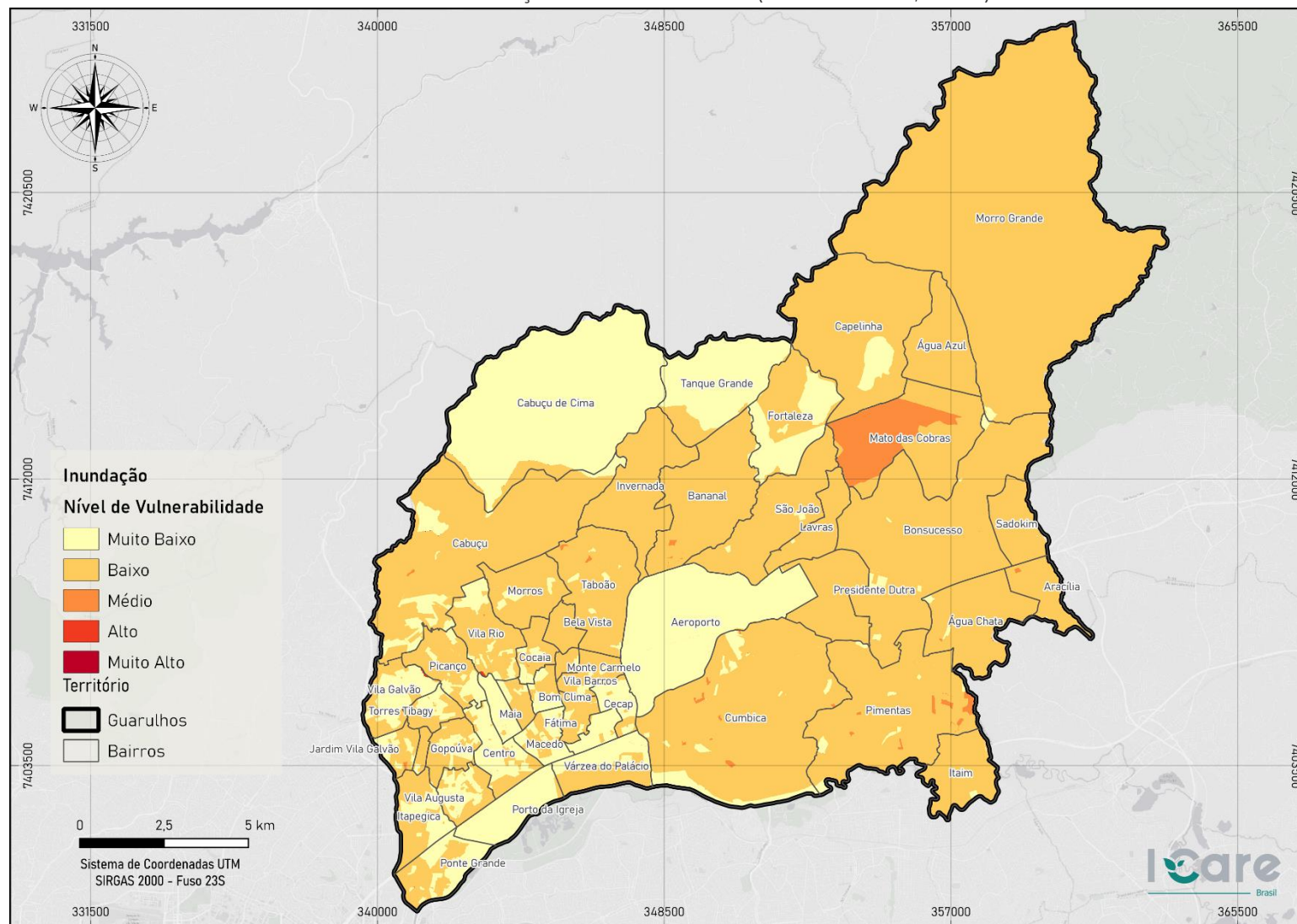
Figura 68 - Vulnerabilidade atrelada à ocorrência de deslizamentos em Guarulhos (Fonte: I Care, 2024)





Inundações fluviais

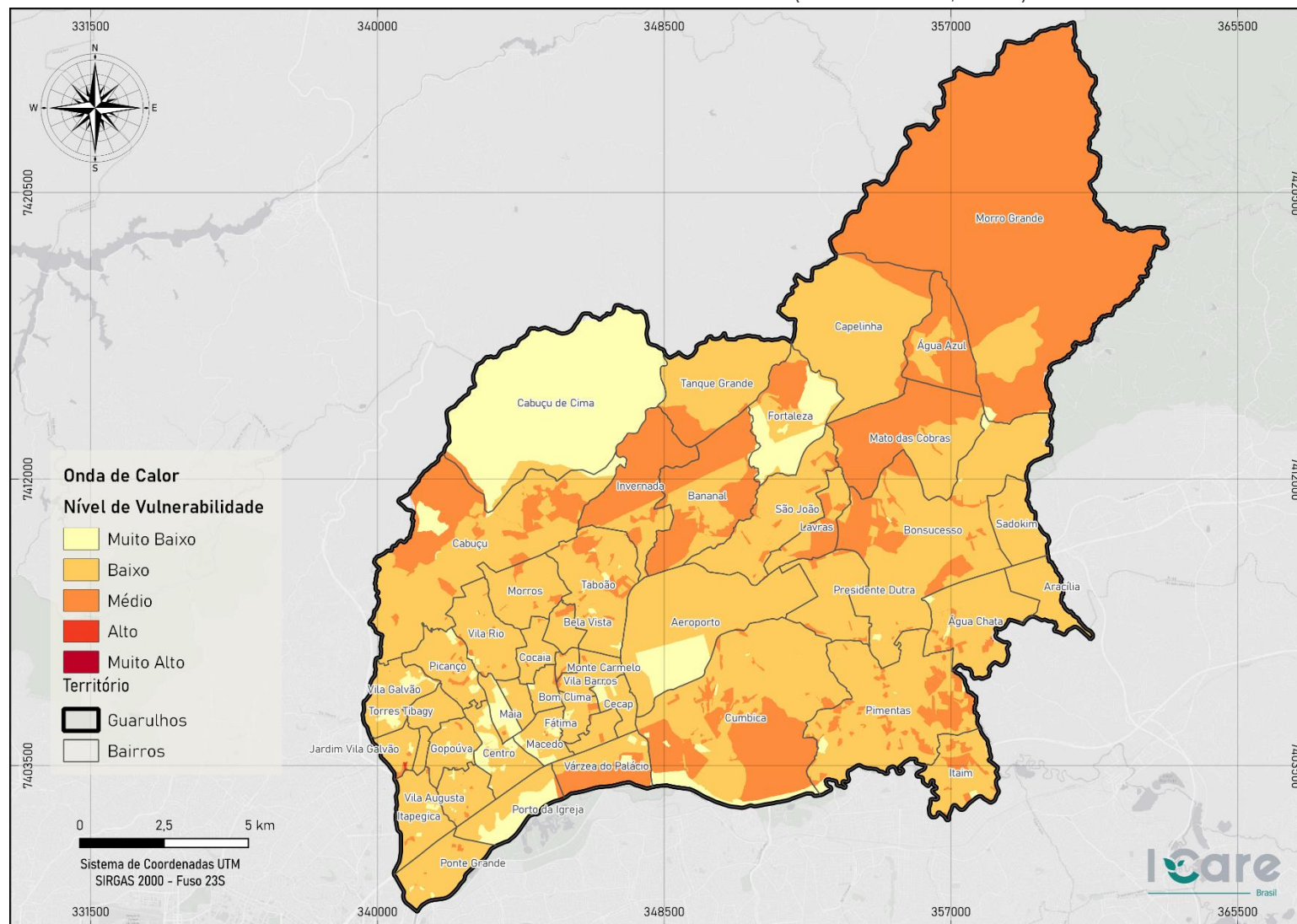
Figura 69 - Vulnerabilidade atrelada à ocorrência de inundações em Guarulhos (Fonte: I Care, 2024)





Ondas de calor

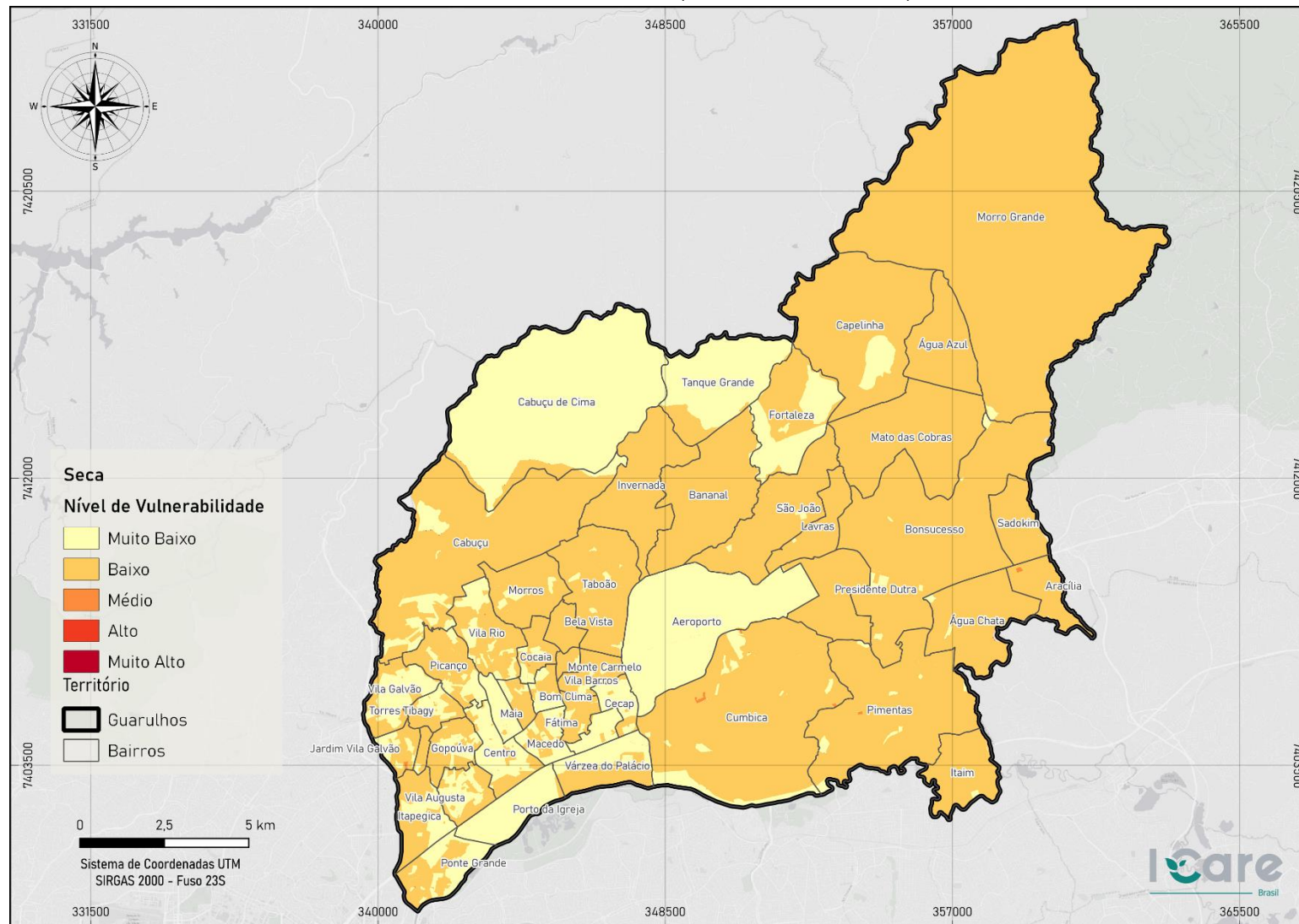
Figura 70 - Vulnerabilidade atrelada à ocorrência de ondas de calor em Guarulhos (Fonte: I Care, 2024)





Secas

Figura 71 - Vulnerabilidade atrelada à ocorrência de secas em Guarulhos (Fonte: I Care, 2024)





Ameaça

Ameaça climática é a ocorrência potencial de um evento climático que pode causar perdas em vidas, impactos na saúde pública, danos em propriedades, infraestruturas, meios de subsistência, prestação de serviços e ecossistemas (IPCC, 2023). Para o estudo, foram consideradas as ameaças:

- alagamentos;
- arboviroses;
- deslizamentos de terra;
- inundações fluviais;
- ondas de calor e
- secas.

Cada ameaça foi associada a determinantes espaciais, como aspectos sociais, econômicos, geológicos e meteorológicos. Os índices climáticos selecionados para cada ameaça foram projetados utilizando modelos climáticos globais para o cenário RCP 8.5 nos horizontes temporais:

- curto prazo: até 2040;
- médio prazo: até 2070 e
- longo prazo: até 2100.

Os mapas representam graficamente a disposição territorial das ameaças no município em cada período projetado.

Alagamentos

Figura 72 – Ameaça atrelada à ocorrência de alagamentos até 2040 (Fonte: I Care, 2024)

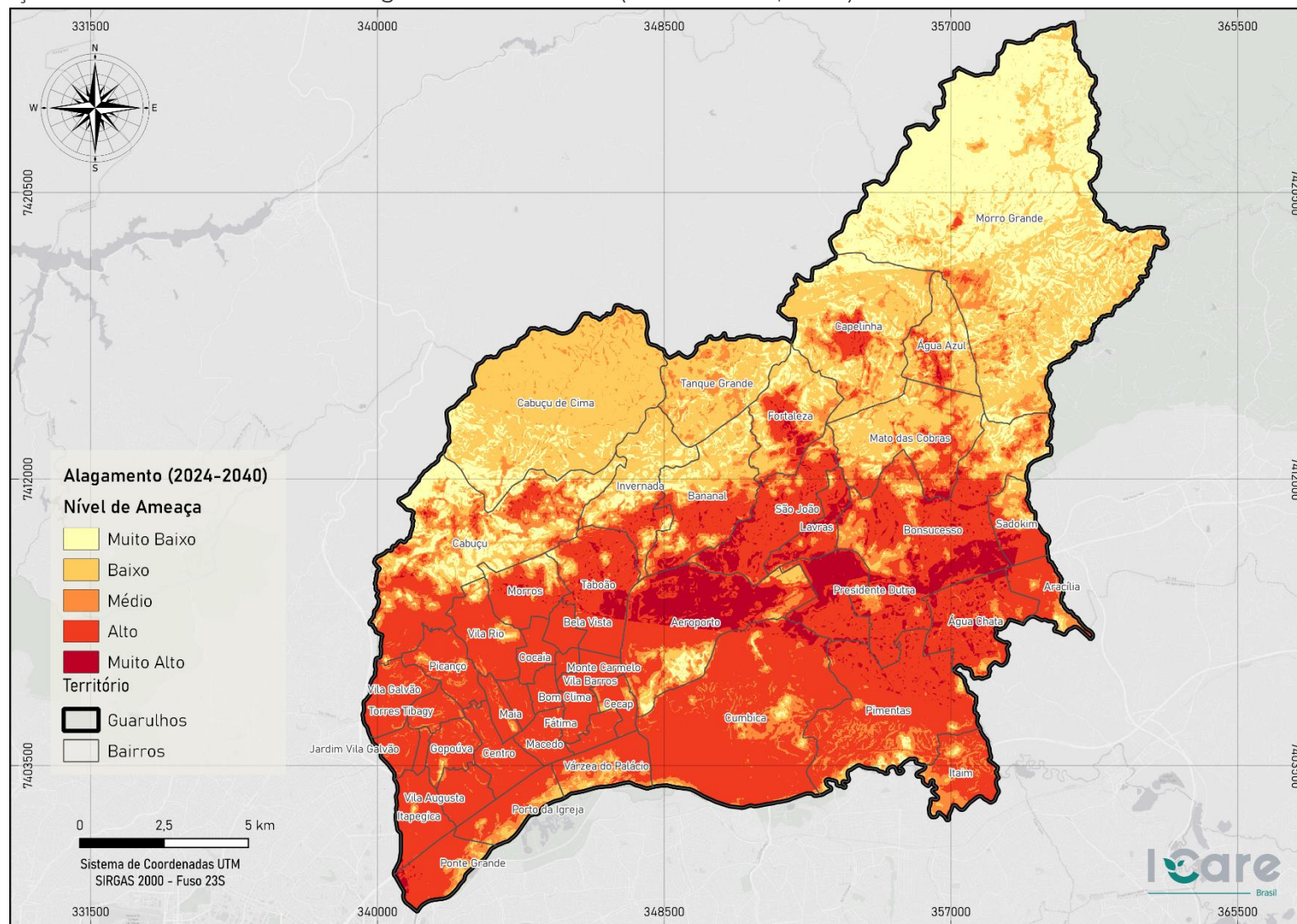




Figura 73 – Ameaça atrelada à ocorrência de alagamentos até 2070 (Fonte: I Care, 2024)

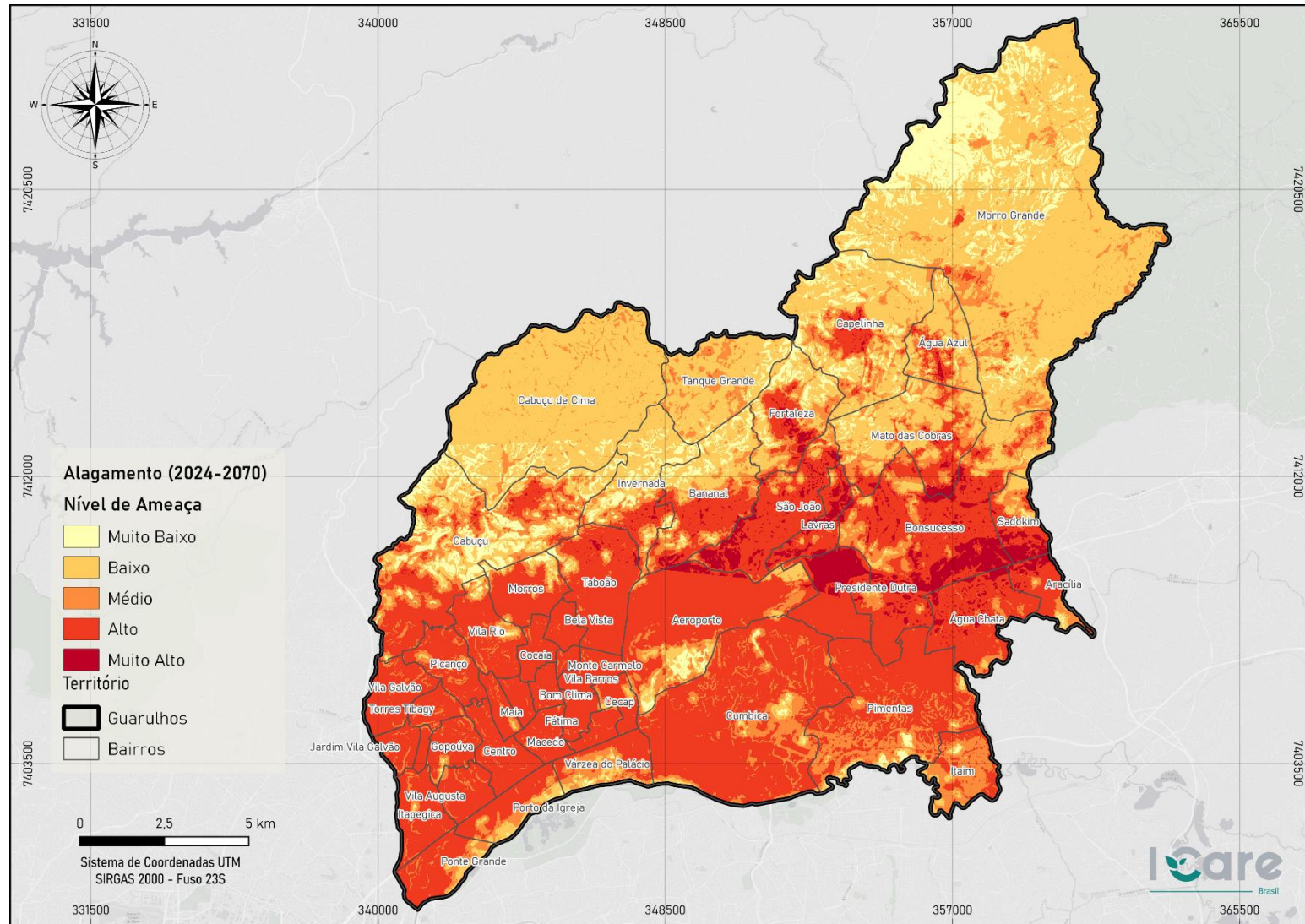
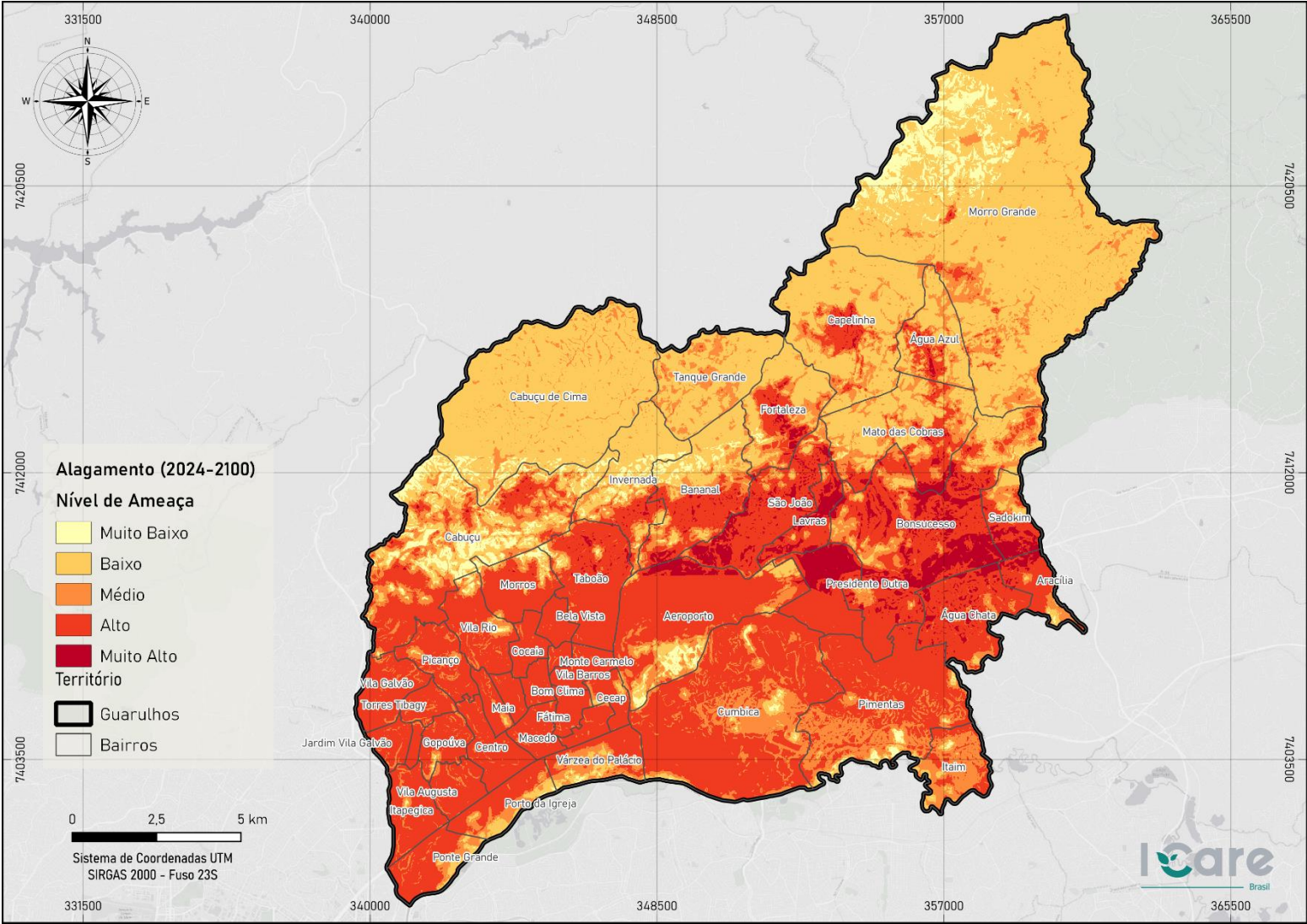




Figura 74 – Ameaça atrelada à ocorrência de alagamentos até 2100 (Fonte: I Care, 2024)



Arboviroses

Figura 75 – Ameaça atrelada a arboviroses até 2040 (Fonte: I Care, 2024)

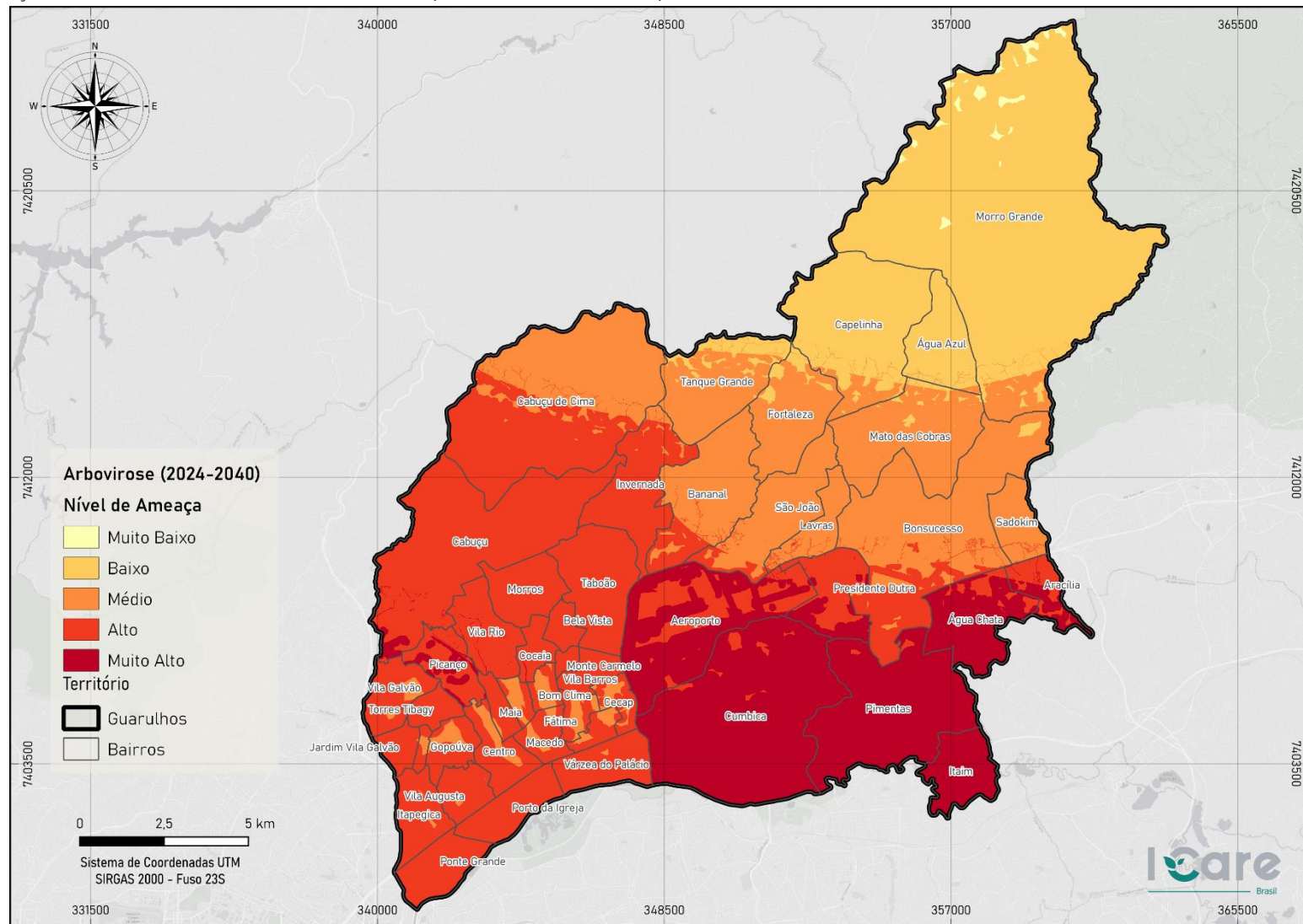




Figura 76 – Ameaça atrelada a arboviroses até 2070 (Fonte: I Care, 2024)

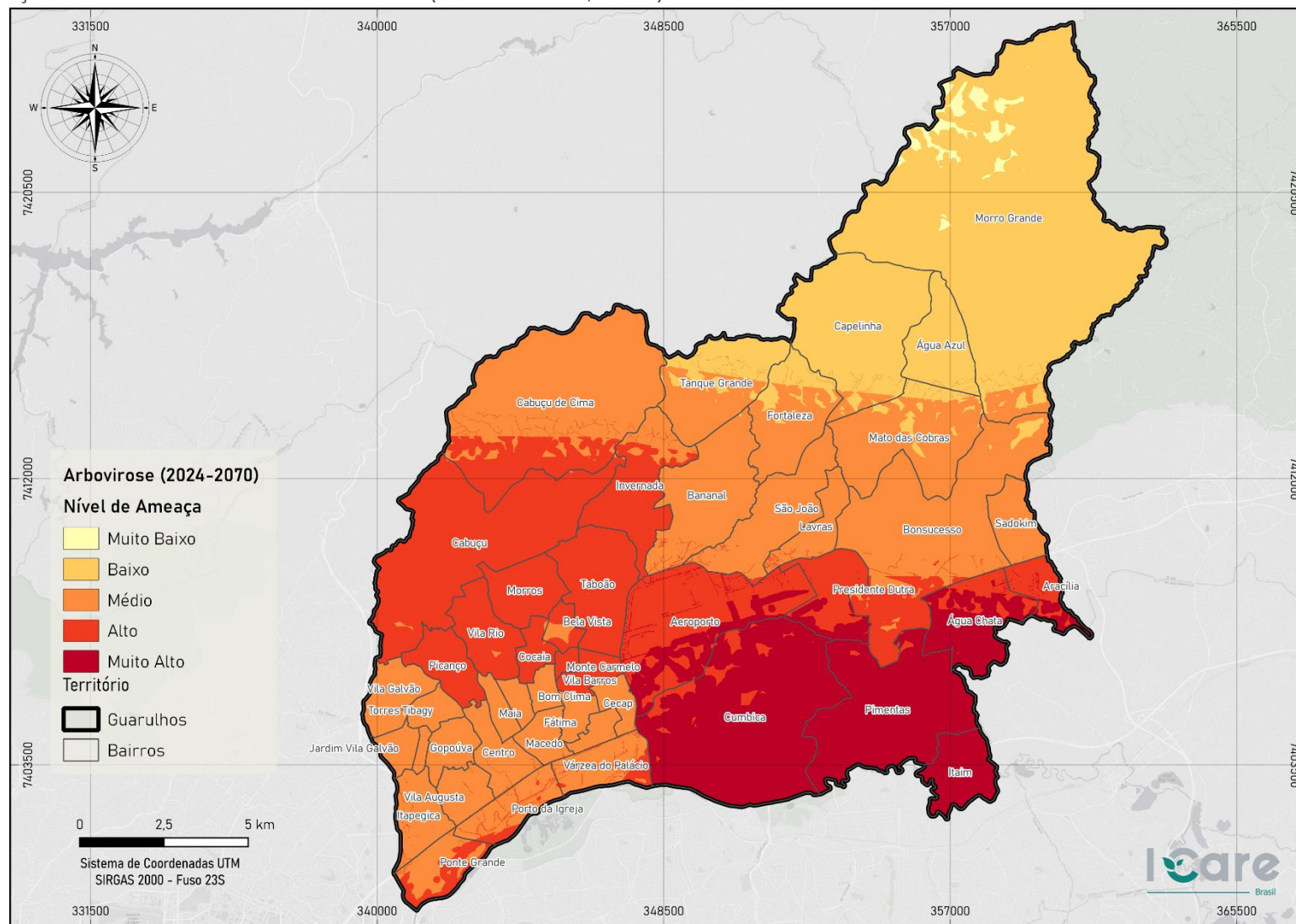
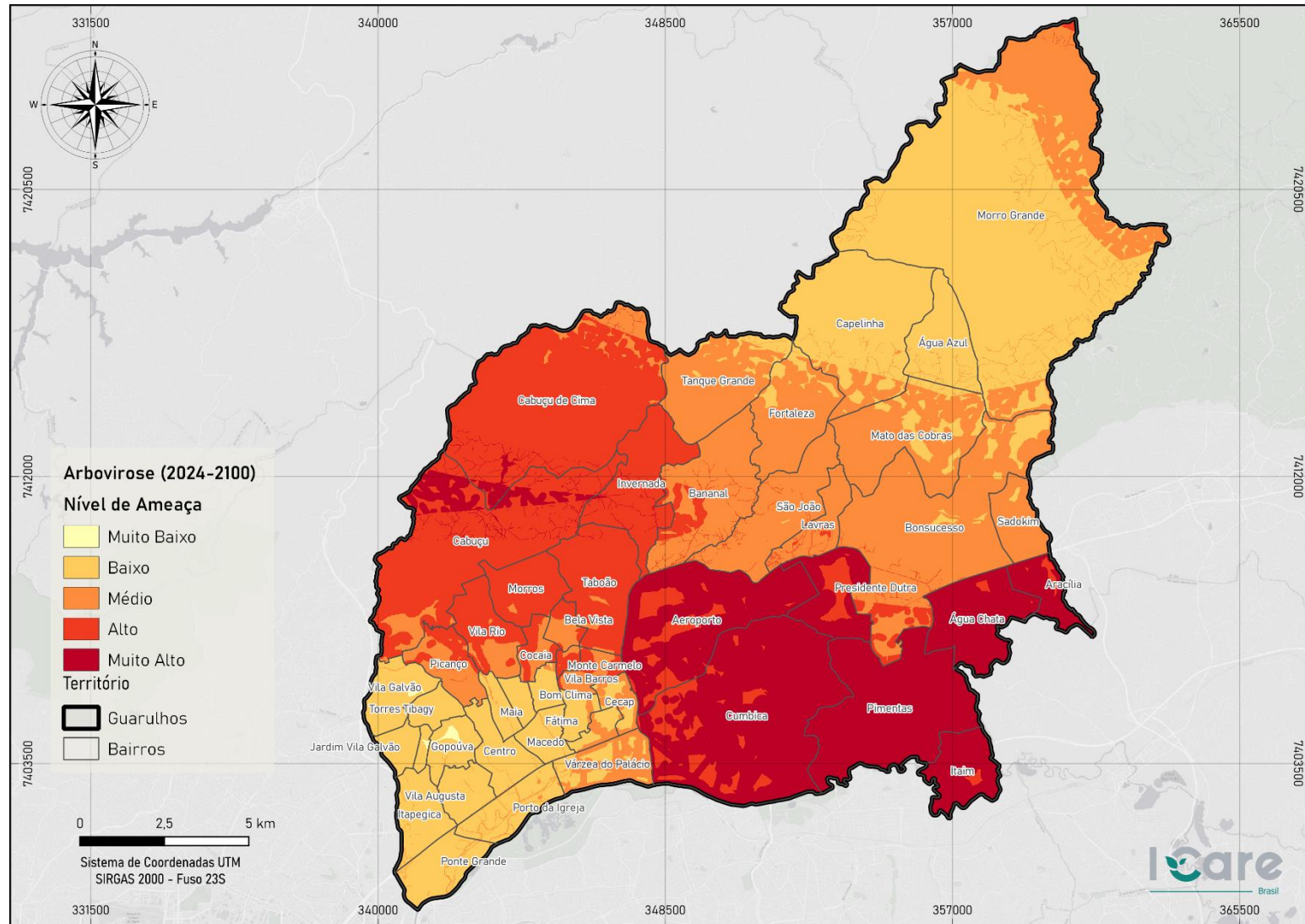




Figura 77 – Ameaça atrelada a arboviroses até 2100 (Fonte: I Care, 2024)





Deslizamentos de terra

Figura 78 – Ameaça atrelada à ocorrência de deslizamentos até 2040 (Fonte: I Care, 2024)

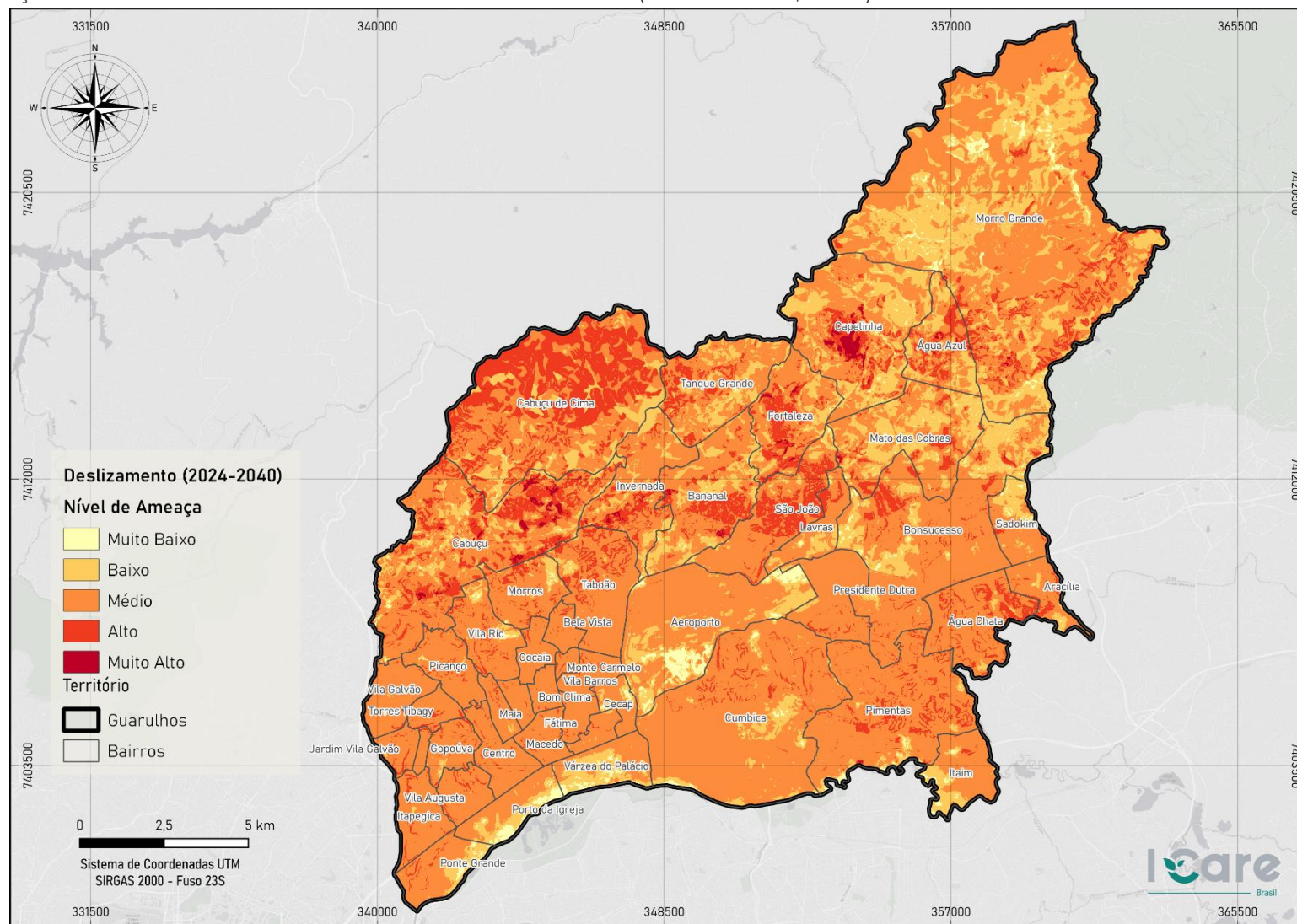




Figura 79 – Ameaça atrelada à ocorrência de deslizamentos até 2070 (Fonte: I Care, 2024)

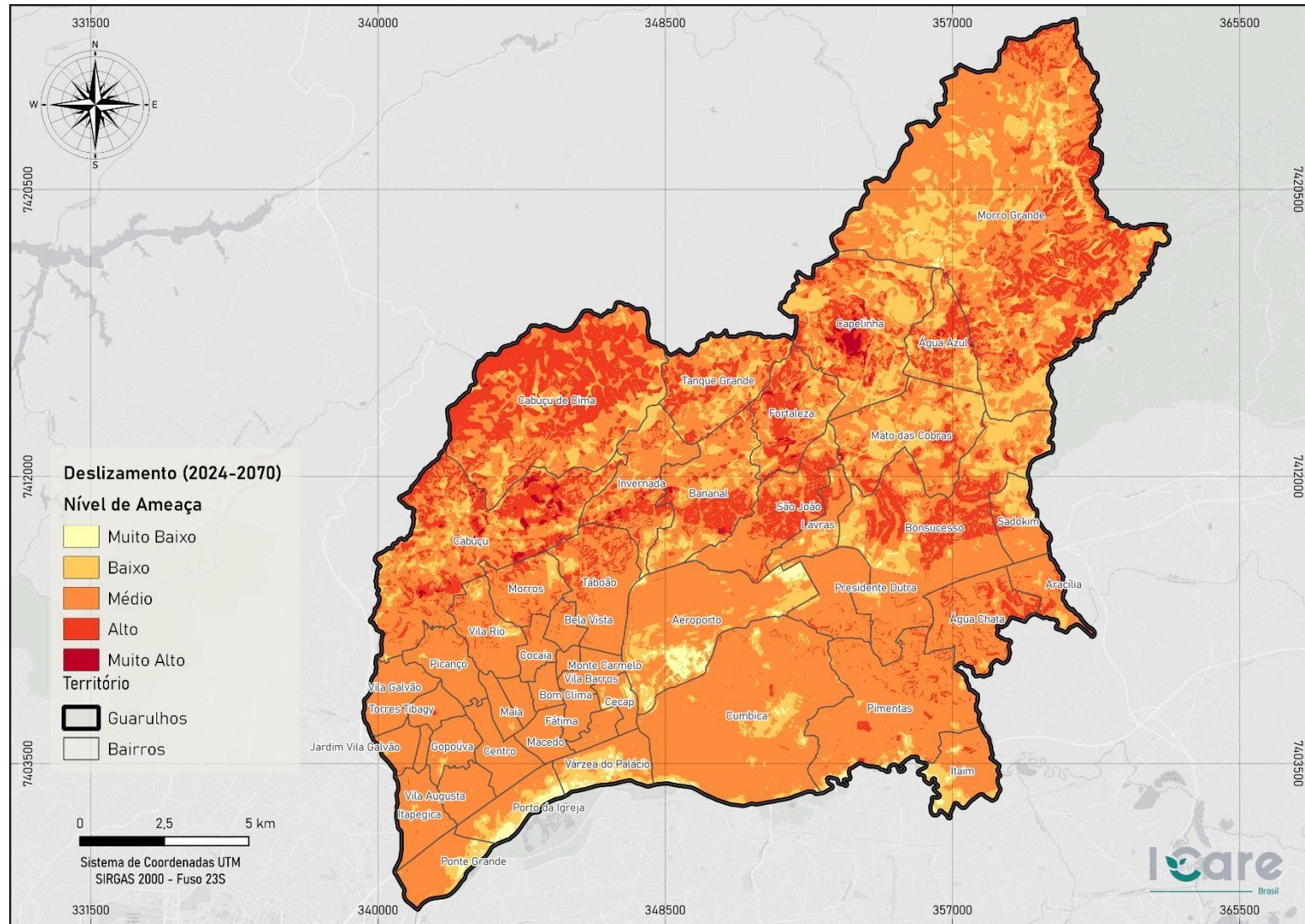
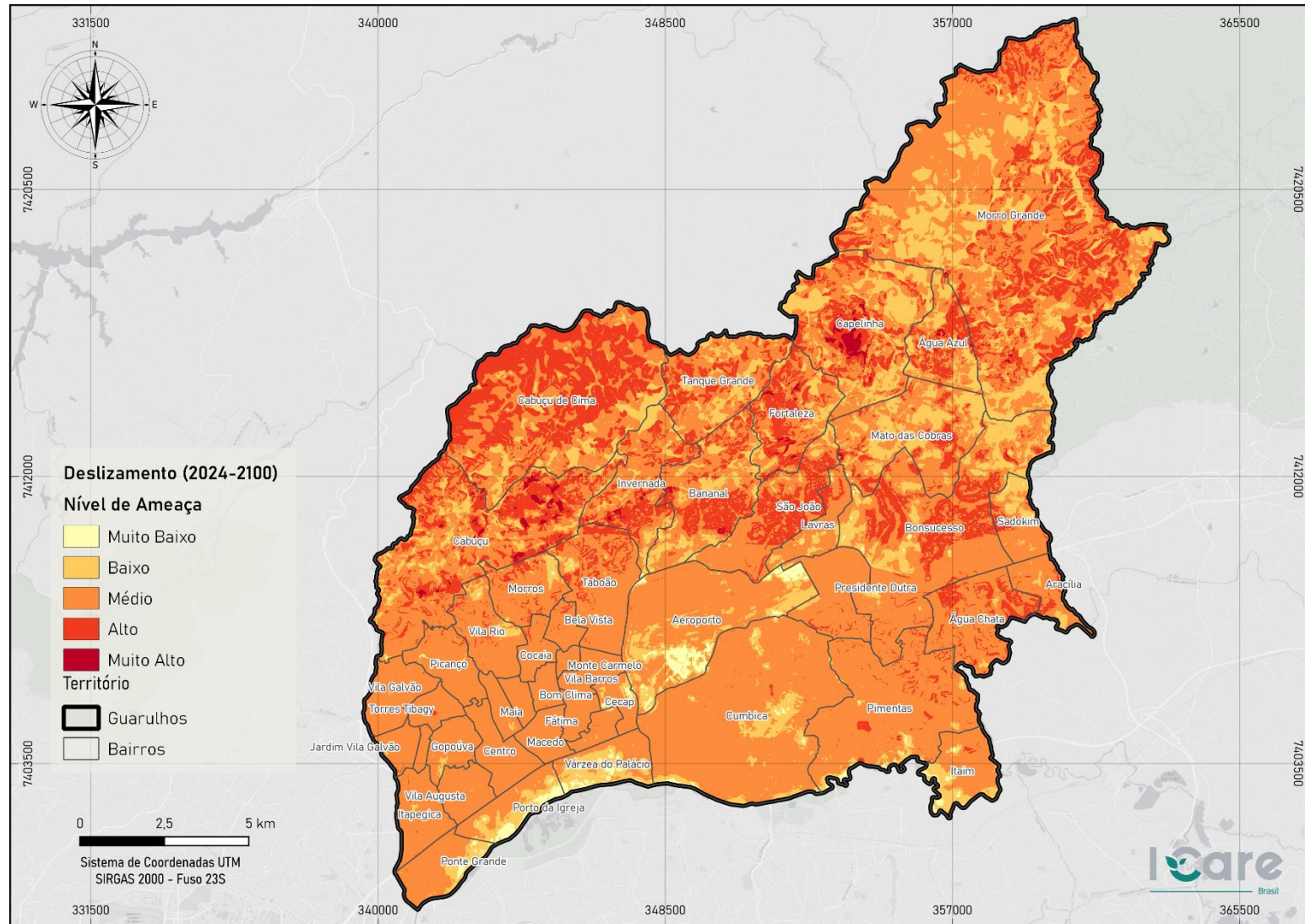




Figura 80 – Ameaça atrelada à ocorrência de deslizamentos até 2100 (Fonte: I Care, 2024)



Inundações fluviais

Figura 81 – Ameaça atrelada à ocorrência de inundações fluviais até 2040 (Fonte: I Care, 2024)

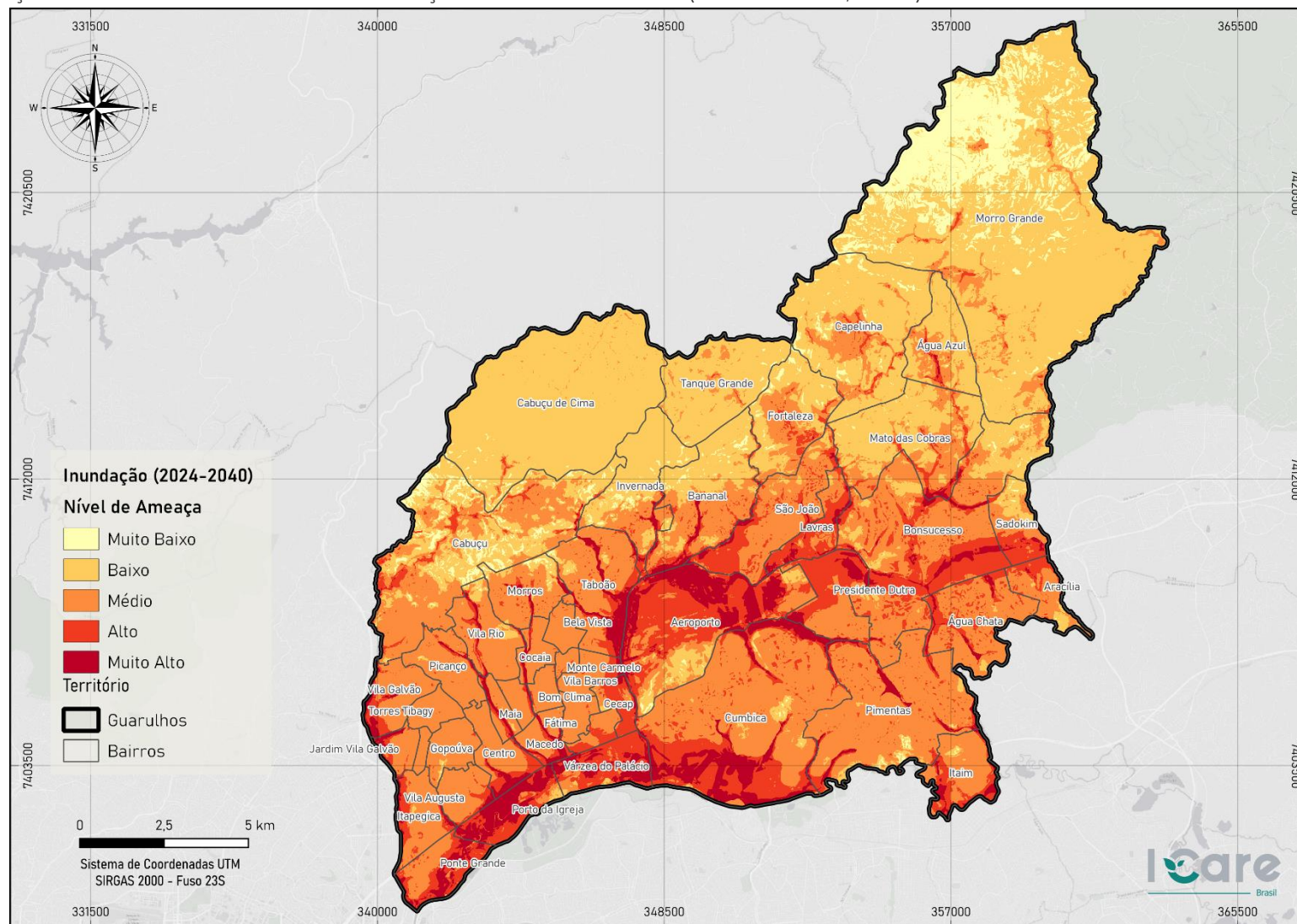




Figura 82 – Ameaça atrelada à ocorrência de inundações fluviais até 2070 (Fonte: I Care, 2024)

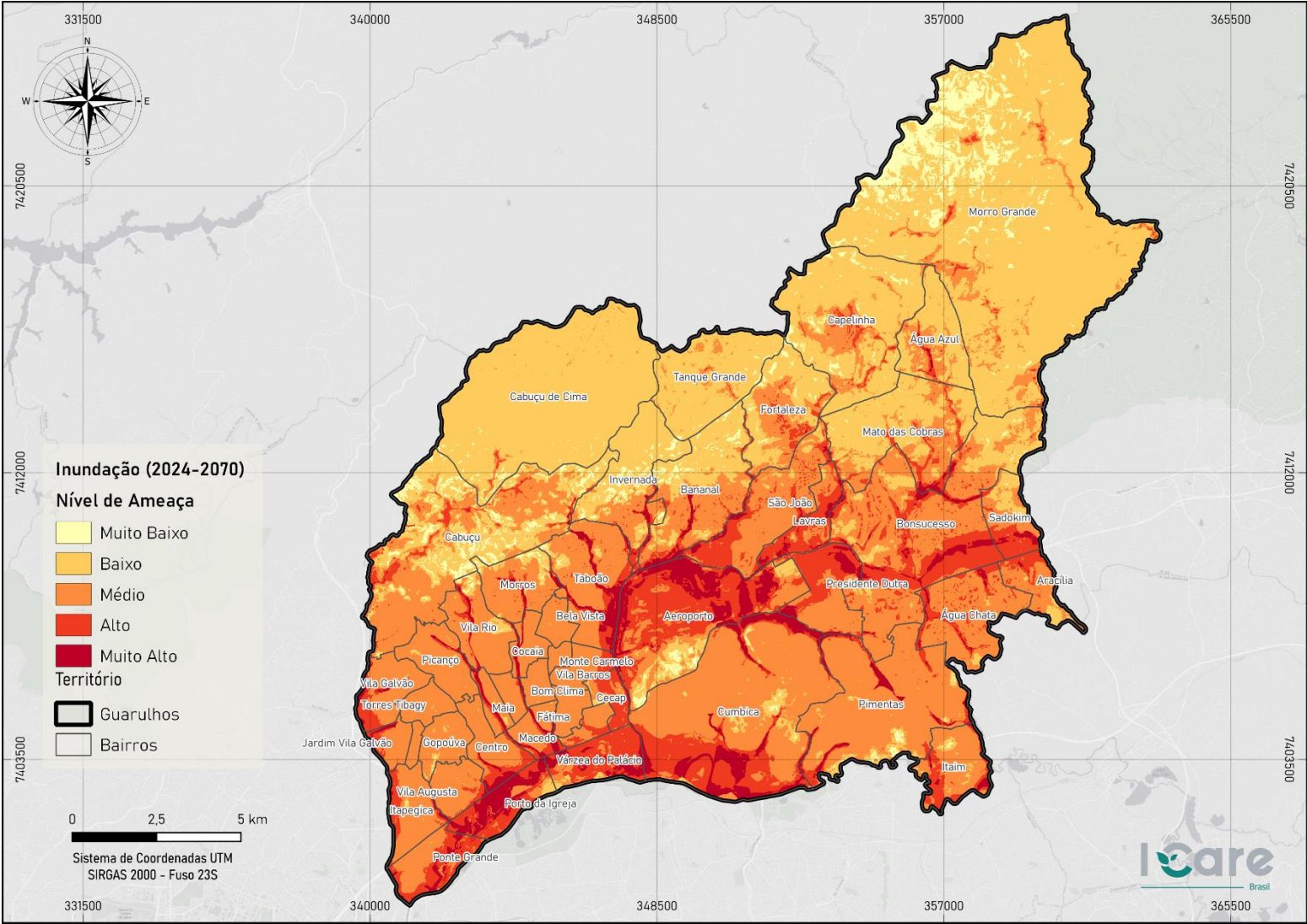
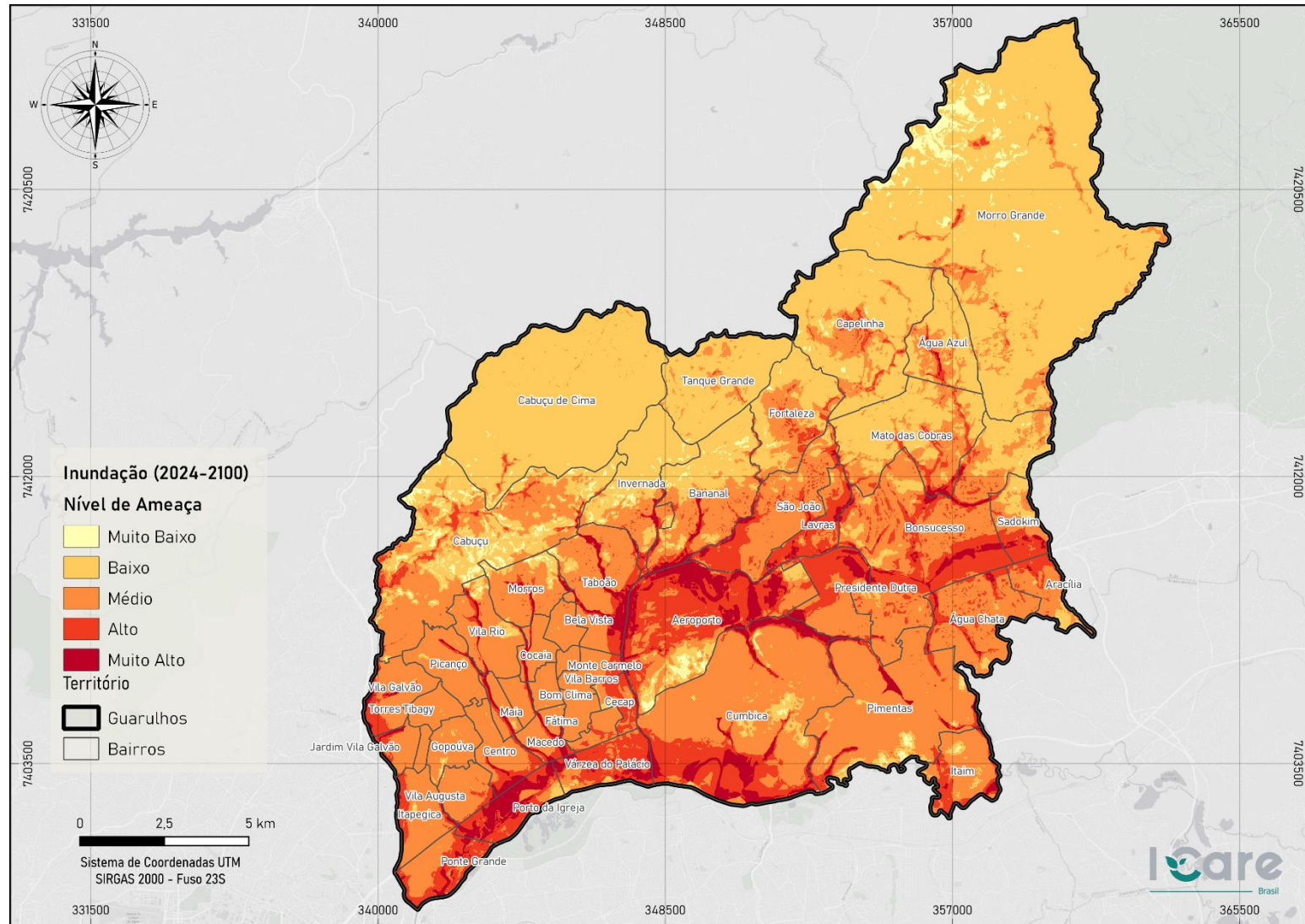




Figura 83 – Ameaça atrelada à ocorrência de inundações fluviais até 2100 (Fonte: I Care, 2024)



Ondas de calor

Figura 84 – Ameaça atrelada à ocorrência de ondas de calor até 2040 (Fonte: I Care, 2024)

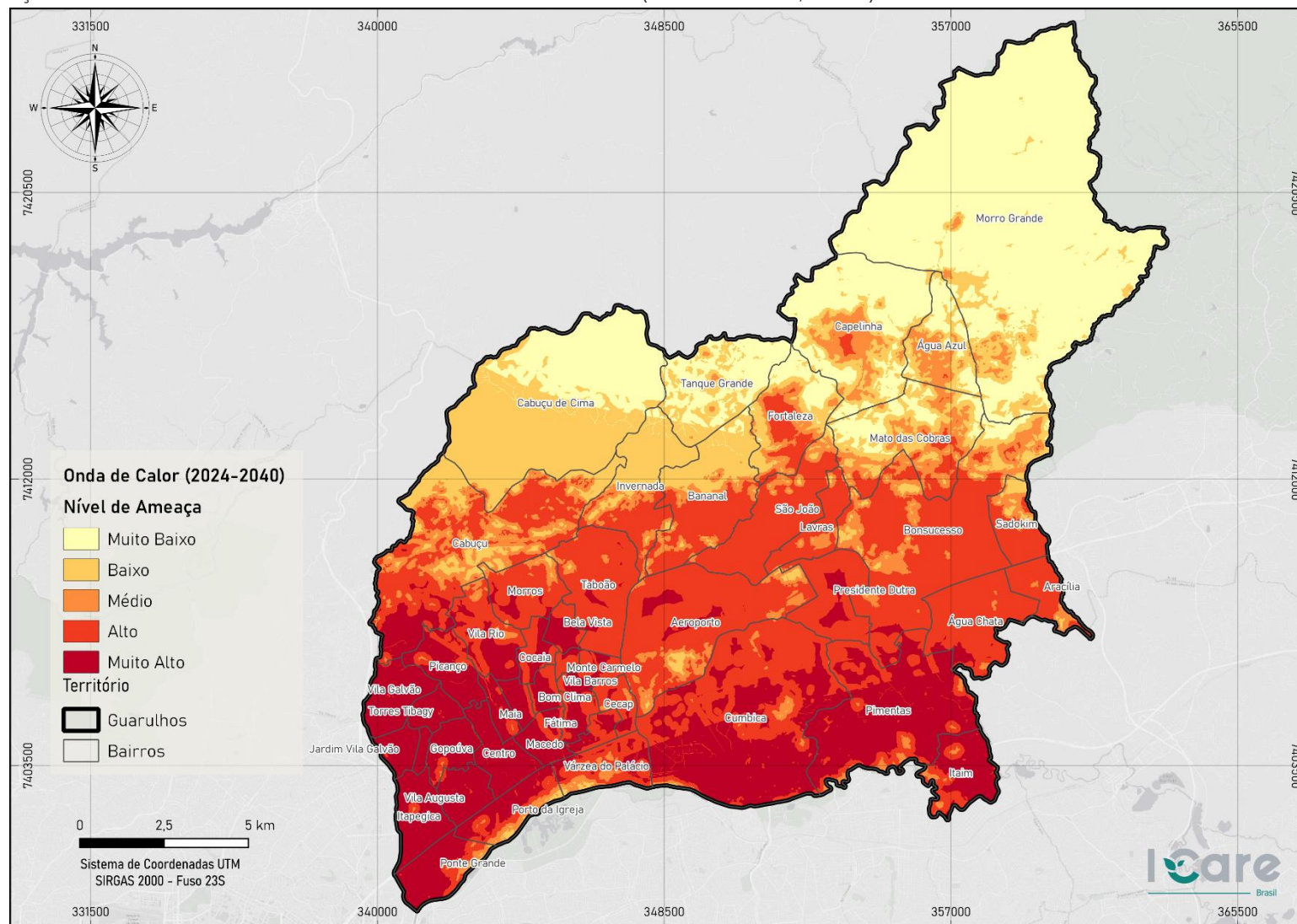




Figura 85 – Ameaça atrelada à ocorrência de ondas de calor até 2070 (Fonte: I Care, 2024)

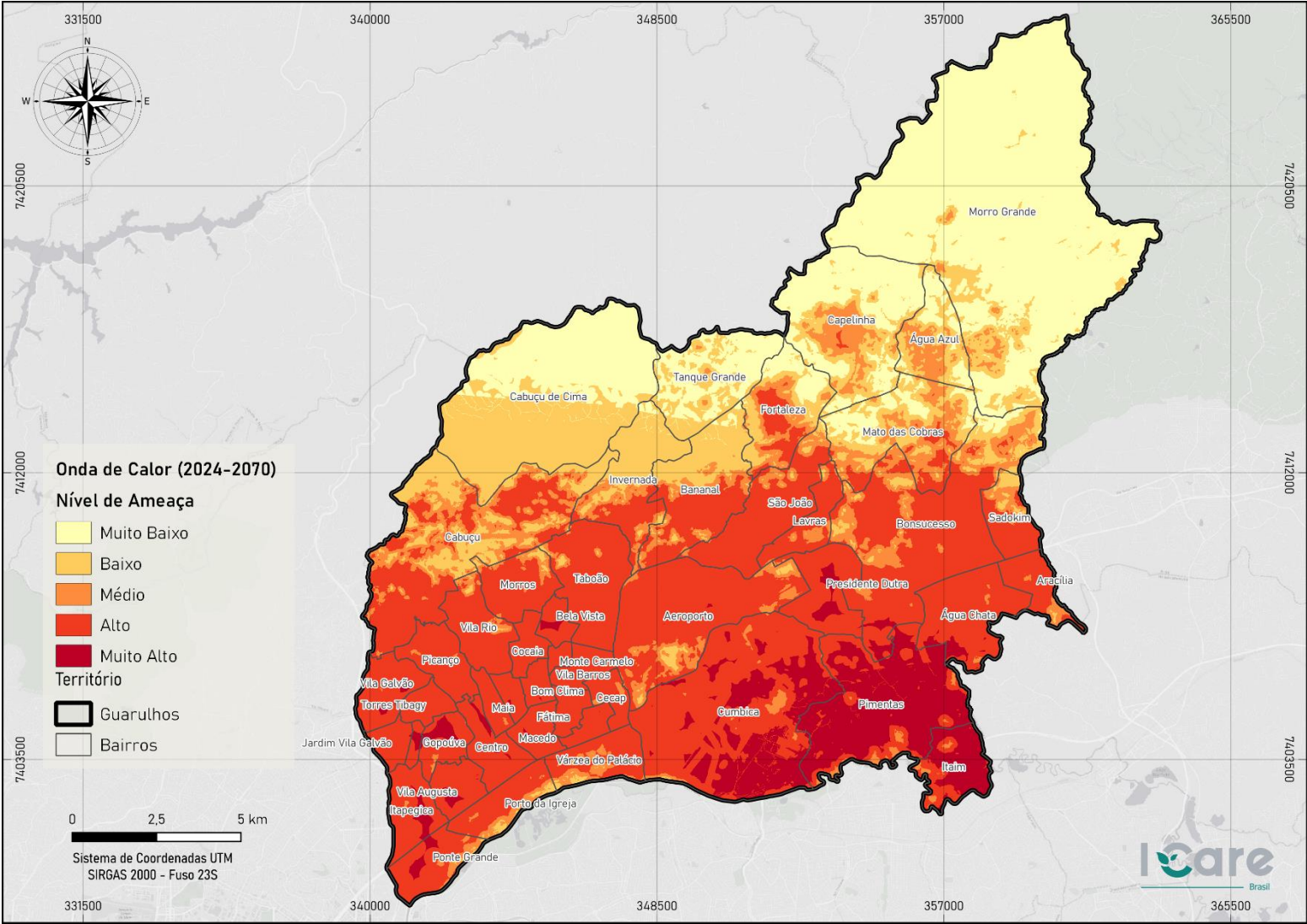
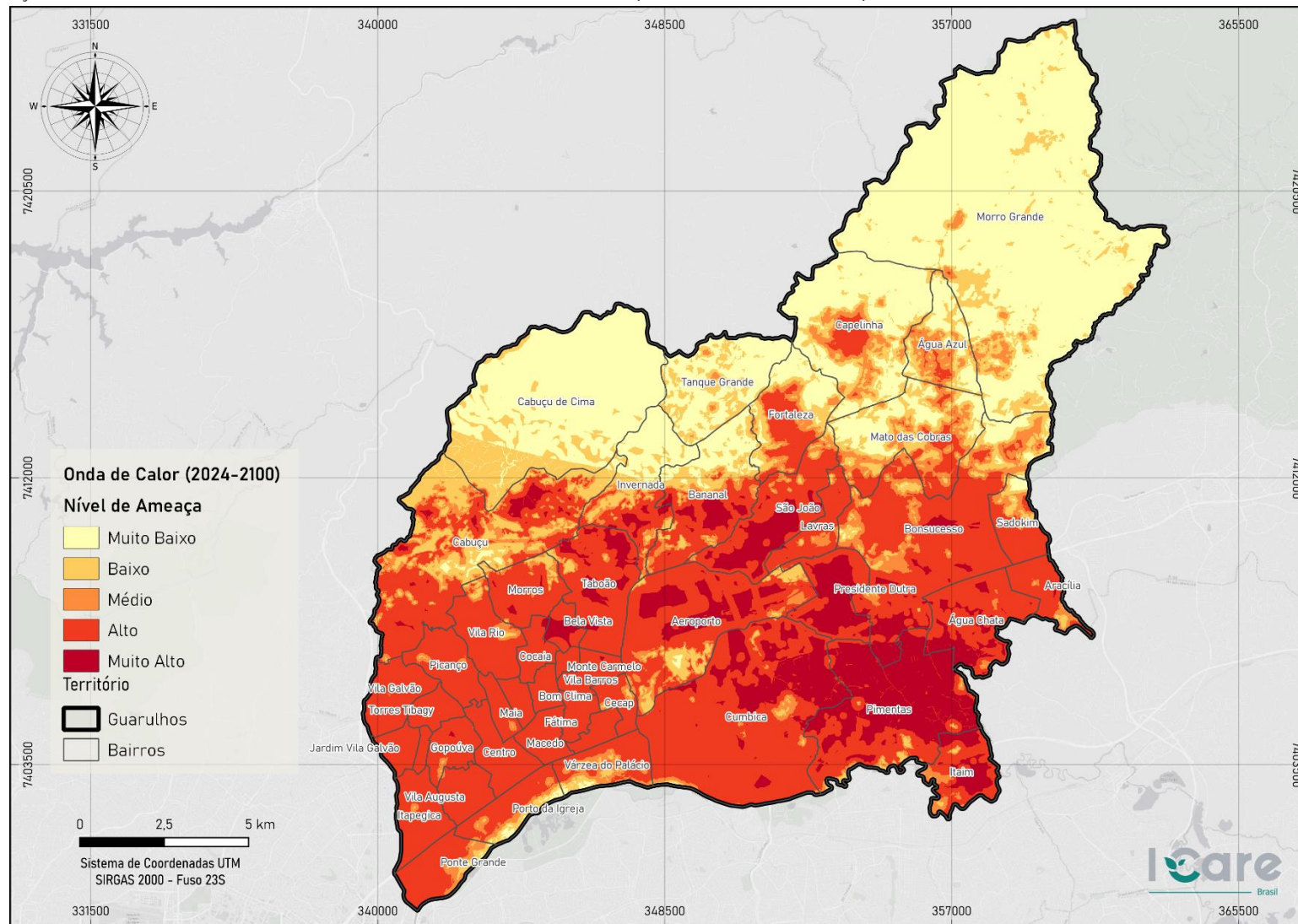




Figura 86 – Ameaça atrelada à ocorrência de ondas de calor até 2100 (Fonte: I Care, 2024)



Secas

Figura 87 – Ameaça atrelada à ocorrência de secas até 2040 (Fonte: I Care, 2024)

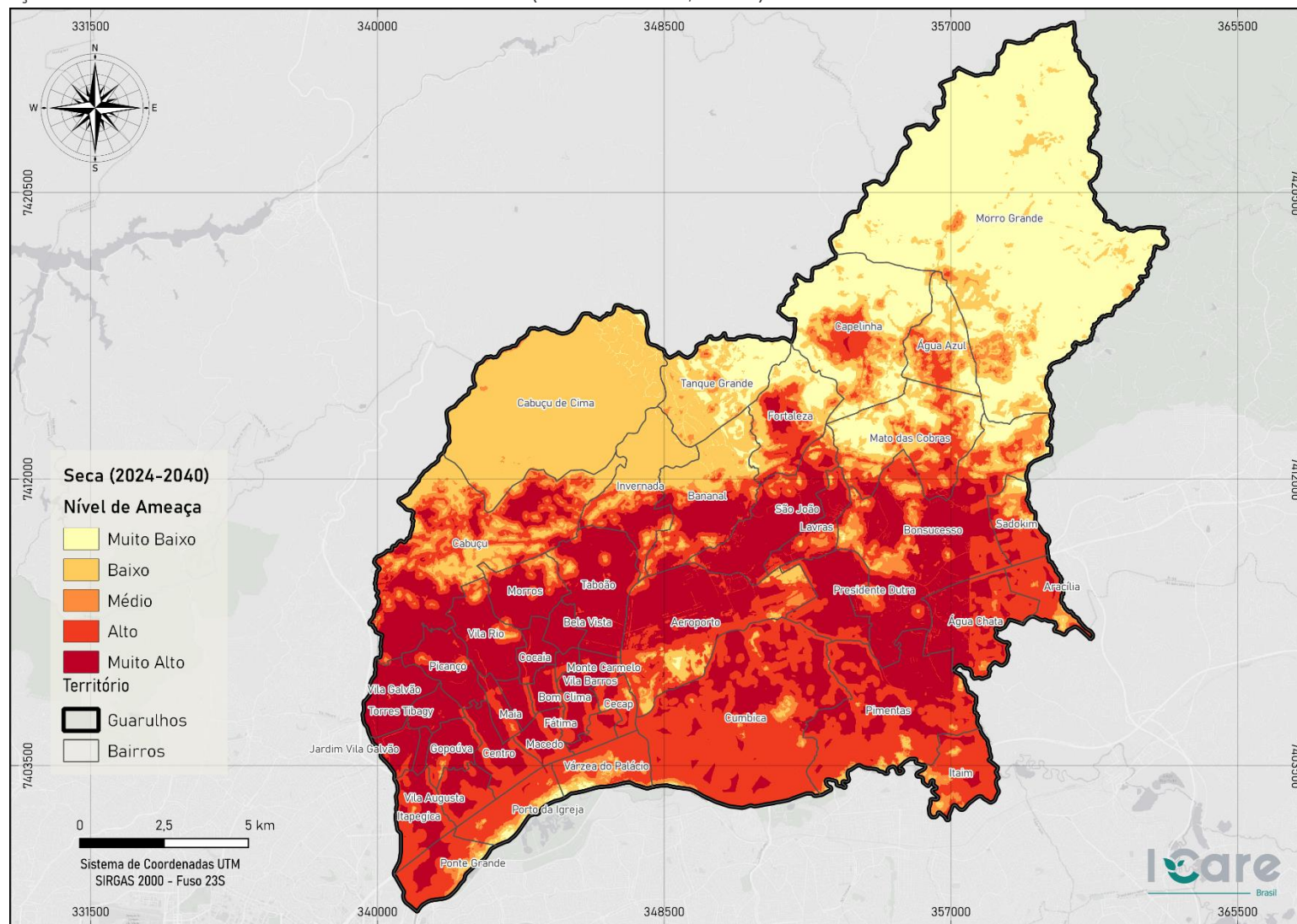




Figura 88 – Ameaça atrelada à ocorrência de secas até 2070 (Fonte: I Care, 2024)

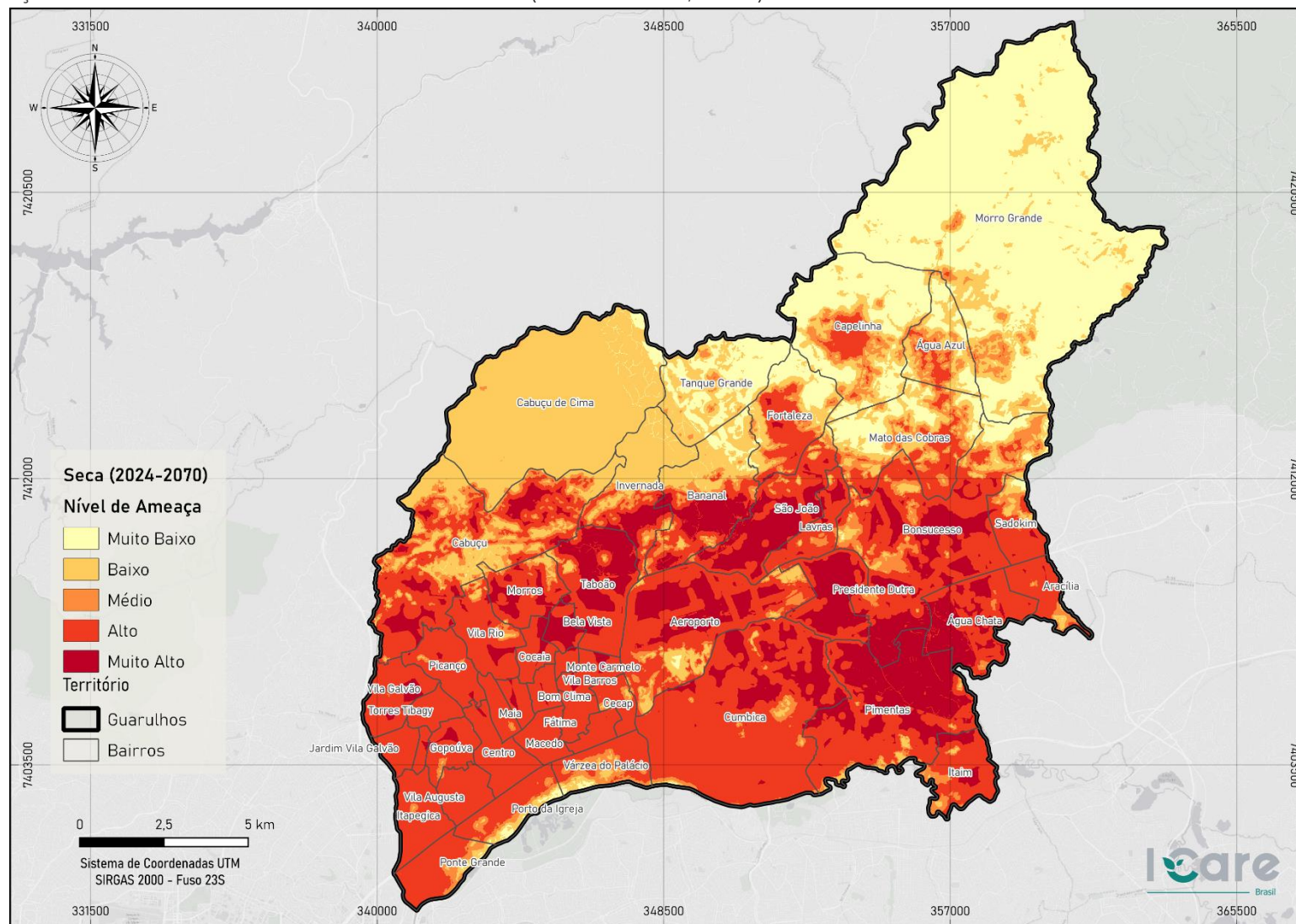
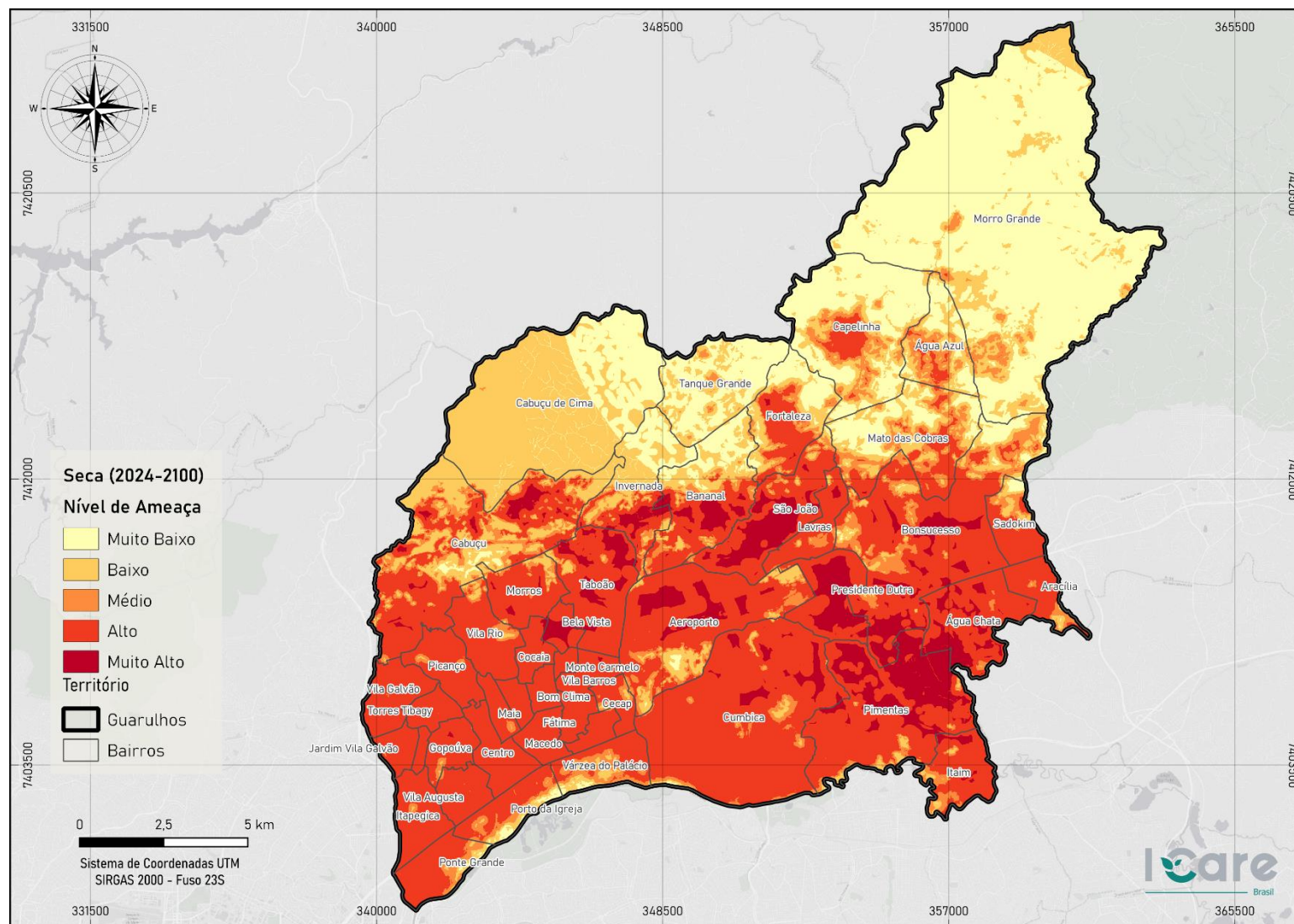




Figura 89 – Ameaça atrelada à ocorrência de secas até 2100 (Fonte: I Care, 2024)





Se precisar de mais informações, entre
em contato conosco pelo e-mail abaixo:

contato@icarebrasil.com

www.icarebrasil.com

Belo Horizonte – Paris - Lyon