PREFEITURA DE FORTALEZA

Definição dos níveis de alerta de calor e saúde de Fortaleza

Relatório metodológico, análise de sensibilidade e diagnóstico revisado (UTCI)

Fortaleza
Novembro de 2026

Equipe

Evandro Sá Barreto Leitão
Prefeito de Fortaleza

Artur José Vieira Bruno
Presidente do Instituto de Pesquisa e Planejamento de Fortaleza (IPPLAN)

Lia de Souza Parente
Vice-presidente do Instituto de Pesquisa e Planejamento de Fortaleza (IPPLAN)

Haroldo Jorge Aragão Gondim
Coordenador de Proteção e Defesa Civil de Fortaleza

Diretoria de Sistemas da Informação (IPPLAN)

Francisca Dalila Menezes Vasconcelos
Diretora de Sistemas da Informação
Analista de Planejamento e Gestão – Engenheira Ambiental

Matheus Castelo Branco de Araújo
Apoio administrativo - Geógrafo

Tainah Frota Carvalho
Analista de sistemas - Arquiteta e Urbanista

Defesa Civil Municipal (DCFor)

Francisco Elineldo Maia Pinheiro
Agente de defesa civil - Físico

Universidade Federal do Ceará (UFC)

António Ferreira Lima Júnior
Coordenador do Laboratório de Climatologia e Estudos Ambientais (CLIMAS/UFC) - Geógrafo

Síntese da decisão

Esta revisão substitui o Índice de Calor pelo Universal Thermal Climate Index (UTCI) como indicador térmico principal do diagnóstico e a classificação meteorológica do Protocolo de Calor e Saúde de Fortaleza. O UTCI integra temperatura do ar, umidade, vento e temperatura radiante média (Tmrt), permitindo representar a carga térmica de uma condição externa aberta. A série municipal analisada compreende 96.360 registros horários de onze estações da Defesa Civil entre 1º de setembro de 2025 e 31 de agosto de 2026.

O cenário-base avaliado mantém cinco níveis. O primeiro gatilho é UTCI ≥ 38 °C por pelo menos quatro horas acumuladas no dia; NC3 acrescenta persistência de três dias válidos consecutivos; NC4 exige UTCI ≥ 40 °C por pelo menos quatro horas no dia atual e dois dias válidos anteriores com o primeiro gatilho; NC5 exige UTCI > 46 °C por pelo menos duas horas no dia atual e a mesma persistência anterior. A consolidação municipal requer confirmação por pelo menos duas estações elegíveis no mesmo nível ou acima.

Com essa configuração, 181 de 362 dias municipais válidos (50.0%) alcançaram NC2 ou superior, 78 (21.5%) alcançaram NC3 ou superior e 3 dias alcançaram NC4; não houve NC5. Quando se aplica a regra administrativa de manutenção da resposta até dois dias completos em NC1, 240 dias (66.3%) permaneceram sob resposta NC2 ou superior. A frequência é substancialmente maior que na classificação anterior baseada no Índice de Calor, que havia produzido 56 dias meteorológicos NC2+ e 83 dias sob resposta.

A análise de sensibilidade mostra que a frequência operacional depende fortemente do primeiro corte e da duração. Com quatro horas diárias, UTCI ≥ 38,5 °C produziria 132 dias municipais NC2+ (36,5%) e UTCI ≥ 39 °C produziria 73 dias (20,2%); mantendo 38 °C e elevando a duração para seis horas, seriam 56 dias (15,5%). Esses cenários são apresentados como alternativas de calibração e não são tratados como equivalentes. A escolha institucional do corte definitivo deve considerar capacidade de resposta, fadiga de alerta, desempenho prospectivo e evidência epidemiológica acumulada.

Na análise de saúde do cenário-base, 16.202 óbitos não fetais de residentes de Fortaleza foram pareados a 362 dias municipais válidos. Houve associações nominais em alguns modelos, mas nenhuma permaneceu estatisticamente significativa após correção de Benjamini-Hochberg (menor p ajustado = 0.102). Portanto, os resultados de mortalidade são sinais exploratórios e não validam isoladamente o corte de 38 °C.

Nível	Denominação	Critério-base avaliado
NC1	Monitoramento	Nenhum critério integral de NC2–NC5 satisfeito.
NC2	Atenção	UTCI ≥38 °C por ≥4 h/dia em 1 ou 2 dias válidos consecutivos.
NC3	Alerta	UTCI ≥38 °C por ≥4 h/dia em ≥3 dias válidos consecutivos.
NC4	Emergência	UTCI ≥40 °C por ≥4 h no dia atual + três dias válidos anteriores com UTCI ≥38 °C por ≥4 h/dia.
NC5	Resposta Ampliada	UTCI >46 °C por ≥2 h no dia atual + um dia válido anterior com UTCI ≥40 °C por ≥4 h/dia ou validação ou COE.

Nota de calibração. O relatório descreve o cenário-base de 38 °C/4 h e, em paralelo, documenta cenários mais restritivos. A análise disponível não identifica um limiar único como biologicamente ótimo; o sistema deve ser tratado como piloto e recalibrado após novas séries e avaliação operacional.

1 Metodologia aplicada para definição dos níveis

A definição combina intensidade térmica, duração diária, persistência entre dias e abrangência territorial. A classificação meteorológica de cada dia é separada do estado de resposta administrativa: a primeira registra o maior critério integralmente observado; a segunda determina por quanto tempo determinadas ações permanecem ativas após a redução da exposição. Essa separação evita que regras de gestão alterem retroativamente a série meteorológica.

1.1 Indicador térmico UTCI

O UTCI é definido como a temperatura equivalente de um ambiente externo de referência que produziria resposta fisiológica semelhante à condição observada. O cálculo utiliza temperatura do ar, umidade, velocidade do vento e temperatura radiante média. A escala de estresse térmico utilizada considera 26–32 °C como estresse moderado, 32–38 °C como forte, 38–46 °C como muito forte e valores acima de 46 °C como estresse térmico extremo.

Na rede municipal, a Tmrt é estimada para condição externa aberta. A irradiância solar global horizontal (GHI) segue a hierarquia documentada no DCCALOR: radiação global explícita, quando disponível; UV × 100; lux/126,58; e fallback senoidal quando as fontes locais estão ausentes. A GHI é decomposta em componentes direta e difusa e integrada ao cálculo de Tmrt. Na ausência de fluxos de onda longa observados, utiliza-se uma referência equivalente à temperatura do ar, de modo que, sem carga solar, a Tmrt tende a Ta.

Limitação de interpretação. O UTCI calculado representa exposição externa aberta e não reproduz automaticamente sombra de árvores, marquises, fachadas, cânions urbanos ou condições internas. O valor deve ser interpretado como indicador biometeorológico da exposição atmosférica/radiante disponível na rede, não como temperatura do ar.

1.2 Regras temporais e territoriais

Um dia é elegível para uma estação quando contém pelo menos 18 horas válidas de UTCI. As horas acima do limiar são acumuladas dentro do dia no cenário-base. A confirmação municipal requer pelo menos duas estações elegíveis no mesmo nível ou acima. Cobertura mensal inferior a 80% impede o uso daquela estação em produtos mensais agregados e espaciais, mas não elimina automaticamente dias individuais que cumprem a elegibilidade diária.

A análise alternativa com horas consecutivas alterou 1,82% dos 3.798 dias-estação válidos. A interpretação da persistência por janela, em vez de dias anteriores estritos, alterou 0,35%. A diferença é pequena em proporção, mas produz mudança mensurável nas contagens de NC3 e NC4 e deve permanecer registrada no protocolo.

1.3 Fundamentação dos cortes do cenário-base

O primeiro corte de 38 °C coincide com a entrada na categoria de estresse térmico muito forte do UTCI. O valor de 40 °C não é uma fronteira padronizada da escala UTCI; é um escalonamento operacional intermediário dentro da faixa de estresse muito forte. O limite de 46 °C corresponde à transição para estresse térmico extremo e, nesta série, não foi observado como critério municipal de NC5.

A duração de quatro horas e a persistência de três dias foram mantidas no cenário-base para preservar comparabilidade com a arquitetura operacional já testada. Entretanto, a nova análise demonstra que o par limiar–duração é determinante para a frequência de ativação e deve ser avaliado como conjunto, e não como dois parâmetros independentes.

1.4 Etapas de validação

- controle de qualidade, padronização temporal, reconstrução da GHI, cálculo de Tmrt e cálculo horário do UTCI;
- classificação diária por estação e consolidação municipal por pelo menos duas estações elegíveis;
- teste de sensibilidade dos cortes de 37 a 40 °C, duração de 2 a 6 horas e persistência de 2 a 4 dias;
- comparação com o Índice de Calor legado, UTCI de referência com Tmrt = Ta, temperatura do ar e exposição noturna;
- validação espacial exploratória por IDW e comparação com temperatura de superfície Landsat;
- contextualização histórica pelo INMET sem transpor automaticamente os níveis operacionais;
- análise epidemiológica com SIM em defasagens de zero a três dias, tratada como exploratória.

2 Substituição do Índice de Calor pelo UTCI

A mudança de indicador é metodologicamente substantiva. O Índice de Calor legado utiliza temperatura e umidade, enquanto o UTCI acrescenta vento e carga radiante por meio da Tmrt. Em 91.349 horas pareadas, a correlação de Spearman entre os dois índices foi 0,871 e a de Pearson 0,808. A diferença mediana UTCI − IC foi 0,61 °C, mas o percentil 95 dessa diferença alcançou 4,87 °C, mostrando que a divergência aumenta justamente em condições de maior exposição radiante ou de ventilação distinta.

A substituição altera a classificação municipal de forma importante. O sistema anterior registrava 56 dias meteorológicos NC2+, 15 dias NC3+ e nenhum NC4; o cenário-base UTCI produz 181 dias NC2+, 78 dias NC3+ e três dias NC4. O nível meteorológico diário muda em 142 dias da série comum. O estado de resposta NC2+ passa de 83 para 240 dias quando se mantém a mesma regra de encerramento após dois dias completos em NC1.

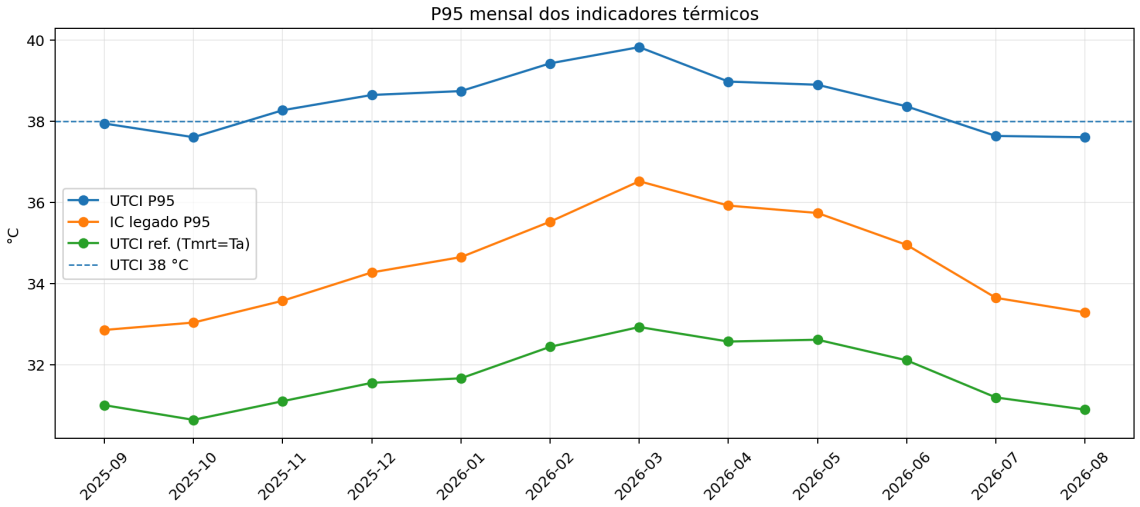


Figura 1. Comparação mensal entre UTCI, UTCI de referência com Tmrt = Ta e Índice de Calor legado.

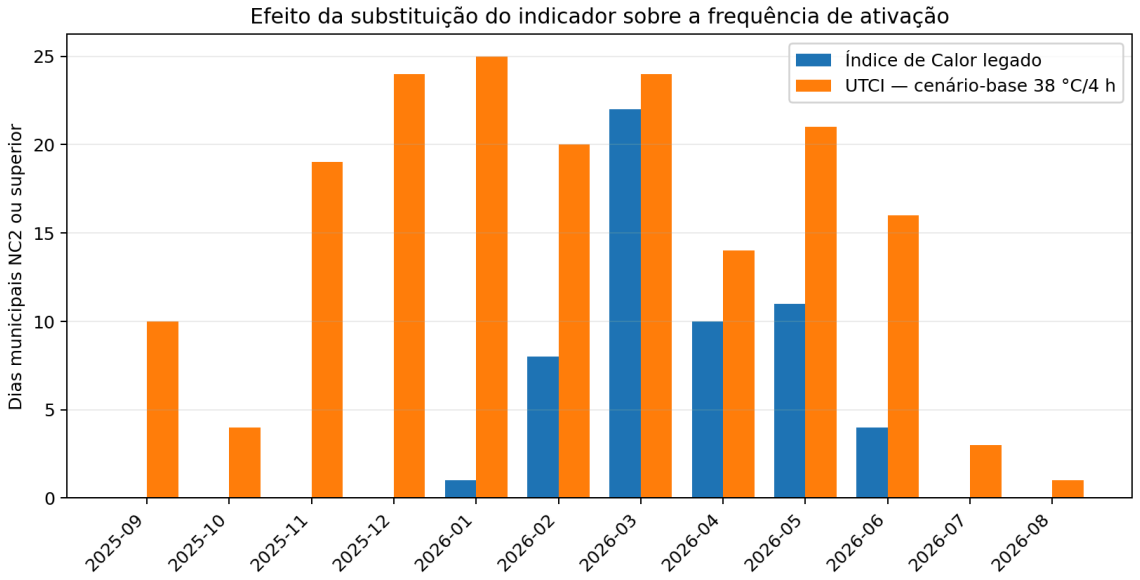


Figura 2. Frequência mensal de dias municipais NC2+ no Índice de Calor legado e no cenário-base UTCI de 38 °C por quatro horas.

O aumento de ativações não significa, por si só, melhora ou piora do protocolo. Ele resulta da mudança do fenômeno representado: o UTCI é sensível à radiação e ao vento e, portanto, classifica como exposição térmica relevante situações que o Índice de Calor não incorporava diretamente. A consequência operacional, contudo, é concreta: o cenário-base gera resposta em aproximadamente dois terços dos dias válidos e exige avaliação explícita de carga institucional e fadiga de alerta.

3 Referências e influência nas definições

A metodologia combina quatro grupos de referência. A escala UTCI fornece as categorias fisiológicas de estresse térmico. O DCCALOR fornece a reconstrução local da irradiância utilizada na Tmrt. A arquitetura de cinco níveis preserva a lógica escalonada previamente adotada como referência externa, sem transportar automaticamente os antigos cortes de Índice de Calor. As orientações da OMS e da WMO sustentam a necessidade de explicitar indicador, limiares, cobertura, regras de início e

encerramento, medidas associadas e revisão periódica baseada em monitoramento e aprendizagem operacional.

Referência	Uso na metodologia	Limitação
Bröde et al. / UTCI	Procedimento operacional e categorias de estresse térmico	Não define, sozinho, duração, persistência ou níveis municipais
DCCALOR v4.0	Reconstrução local da GHI por telemetria	Não fornece sozinho limiares de saúde
Rio de Janeiro 2024	Referência externa para arquitetura escalonada	Cortes antigos não são transpostos para UTCI
OMS / WMO	Princípios de sistemas de alerta calor–saúde	Exige adaptação e calibração local
Rede municipal 2025–2026	Frequência, persistência, cobertura e sensibilidade	Um ciclo anual não constitui climatologia
SIM	Sinais epidemiológicos exploratórios	Não define limiar biológico universal

4 Tratamento dos dados das estações meteorológicas

A análise principal utiliza onze estações: Benfica, Centro, Conjunto Esperança, Dom Lustosa, Granja Lisboa, Guararapes, Jangurussu, Messejana, Montese, Mucuripe e Vila Velha. A base contém 96.360 horários, equivalentes a 8.760 posições temporais por estação entre setembro de 2025 e agosto de 2026.

4.1 Padronização e controle de qualidade

Não foram identificadas datas inválidas nem duplicidades horárias na entrada. Temperatura, umidade e vento apresentam 5.011 ausências cada, equivalentes a 5,20% da base. O UTCI foi calculado em 91.349 horas, correspondentes a 94,80% do conjunto. A cobertura anual de dez estações ficou acima de 85%; Messejana apresentou 78,66% e deve permanecer como prioridade de manutenção, embora possa participar da classificação em dias com pelo menos 18 horas válidas.

A GHI final foi obtida por UV × 100 em 89.608 horas (92,99%), por lux/126,58 em 1.741 horas (1,81%) e por fallback em 5.011 horas (5,20%). Foram identificadas 433 horas de provável dropout do UV em situação diurna. Nas horas avaliáveis, UV e lux ficaram dentro de 25% de diferença em 57,9% dos casos. A divergência permanece registrada como indicador de qualidade e não elimina automaticamente a hora.

Estação	Cobertura UTCI	UTCI máximo (°C)
BENFICA	99.0%	41.13
CENTRO	99.2%	41.09
CJ ESPERANÇA	95.5%	42.18
DOM LUSTOSA	85.7%	41.40
GRANJA LISBOA	96.7%	41.27
JANGURUSSU	95.4%	40.50
MESSEJANA	78.7%	40.40
MONTESE	99.2%	41.10
MUCURIPE	95.1%	41.49
VILA VELHA	98.9%	41.95
GUARARAPES	99.2%	40.24

4.2 Série histórica do INMET

A série histórica do INMET foi mantida como contextualização climatológica, e não como extensão direta dos níveis municipais. O arquivo contém 103.032 registros horários de 29 de dezembro de 2013 a 31 de dezembro de 2025 e resultou em 3.309 dias válidos. Como a série não reproduz a mesma Tmrt e a mesma reconstrução local de GHI utilizada na rede municipal, calcula-se apenas UTCI de referência com Tmrt = Ta; NC1–NC5 não são aplicados ao histórico.

Na climatologia mensal do UTCI de referência, os maiores P95 do máximo diário ocorreram em abril (33,05 °C), março (32,90 °C) e fevereiro (32,27 °C). Esses valores são inferiores aos do UTCI radiativo da rede municipal e evidenciam que os dois produtos não são diretamente intercambiáveis.

Mês	Dias válidos	P95 Tmax (°C)	P95 UTCIref máx. (°C)
Janeiro	316	32.50	31.99
Fevereiro	238	32.40	32.27
Março	260	32.20	32.90
Abril	217	32.40	33.05
Maio	236	32.00	32.18
Junho	268	31.86	31.41
Julho	278	31.90	30.90
Agosto	309	32.60	30.89
Setembro	300	32.60	30.68
Outubro	298	32.70	30.94
Novembro	277	32.80	31.53
Dezembro	312	32.80	31.93

4.3 Landsat, IDW e análises complementares

A temperatura de superfície Landsat foi pareada ao UTCI horário em 260 observações. A correlação de Spearman foi praticamente nula entre LST e UTCI (ρ = 0,039), moderada entre LST e Tmrt (ρ = 0,416) e fraca entre LST e temperatura do ar (ρ = 0,318). O resultado reforça que a temperatura de superfície e o UTCI representam dimensões distintas da exposição: o Landsat caracteriza superfícies e cobertura do solo; o UTCI integra a resposta biometeorológica atmosférica e radiante.

A validação leave-one-out da interpolação IDW do P95 mensal do UTCI produziu MAE entre 0.37 e 1.01 °C e RMSE entre 0.54 e 1.27 °C, com viés mensal próximo de zero. Diferentemente da versão anterior, a validação agora retorna valores finitos; ainda assim, os mapas devem ser interpretados como campos interpolados de uma rede de onze pontos, e não como resolução microclimática de quadra.

5 Resultados meteorológicos e análise de sensibilidade

A intensidade mensal apresenta máximo no período úmido. Entre as estações elegíveis, o P95 mediano do UTCI foi 39,64 °C em março de 2026, 39,43 °C em fevereiro e 38,83 °C em abril. Janeiro, dezembro e maio permaneceram próximos de 38,6 °C. A Tmrt P95 mediana ficou aproximadamente entre 59 e 62 °C, evidenciando a importância da carga radiante na condição externa aberta.

Mês	Estações	UTCI P95 (°C)	UTCIref P95 (°C)	Dias ≥4h em 38 °C	Cobertura mediana
2025-09	6	37.82	30.74	2	91.1%
2025-10	11	37.62	30.52	0	99.5%

2025-11	11	38.07	30.92	7	100.0%
2025-12	11	38.64	31.41	13	100.0%
2026-01	11	38.65	31.60	9	100.0%
2026-02	9	39.43	32.43	15	100.0%
2026-03	9	39.64	32.86	19	100.0%
2026-04	9	38.83	32.69	8	100.0%
2026-05	11	38.63	32.63	10	100.0%
2026-06	11	37.91	31.98	1	100.0%
2026-07	11	37.56	31.12	2	100.0%
2026-08	11	37.62	30.78	0	100.0%

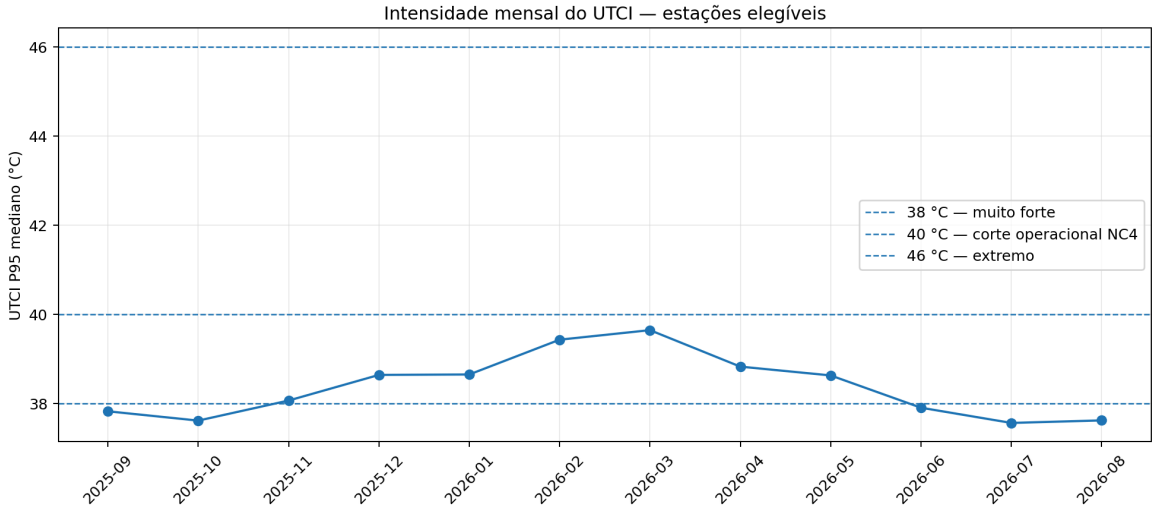


Figura 3. P95 mensal mediano do UTCI entre estações elegíveis no cenário-base.

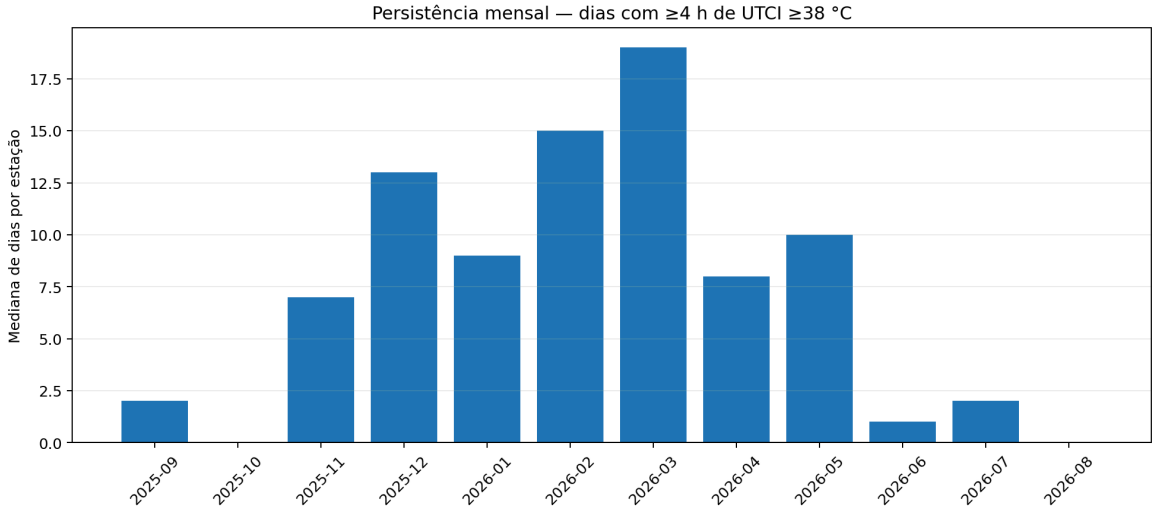


Figura 4. Mediana mensal de dias com pelo menos quatro horas de UTCI ≥ 38 °C.

O maior UTCI horário da rede foi 42.18 °C na estação CJ ESPERANÇA. No cenário-base, houve três dias municipais NC4 e nenhum NC5. As ativações NC2+ concentraram-se de novembro a junho, com maior frequência em março (24 dias), janeiro (25), dezembro (24), maio (21) e fevereiro (20).

5.1 Sensibilidade dos limiares

O primeiro gatilho é o parâmetro que mais altera a frequência municipal. Com quatro horas diárias, 38 °C classifica 181 dias (50,0%) como NC2+, 38,5 °C classifica 132 dias (36,5%) e 39 °C classifica 73 dias (20,2%). Mantendo 38 °C e alterando apenas a duração, três horas geram 235 dias (64,9%), cinco horas 121 dias (33,4%) e seis horas 56 dias (15,5%).

Cenário	NC2+ (dias)	NC2+ (%)	NC3+	NC4+
38 °C / 4 h / 3 dias	181	50.0%	78	3
38,5 °C / 4 h / 3 dias	132	36.5%	29	2
39 °C / 4 h / 3 dias	73	20.2%	16	2
38 °C / 5 h / 3 dias	121	33.4%	31	1
38 °C / 6 h / 3 dias	56	15.5%	4	1
38 °C / 4 h consecutivas	177	48.9%	70	1
38 °C / 4 h / 4 dias	181	50.0%	53	3

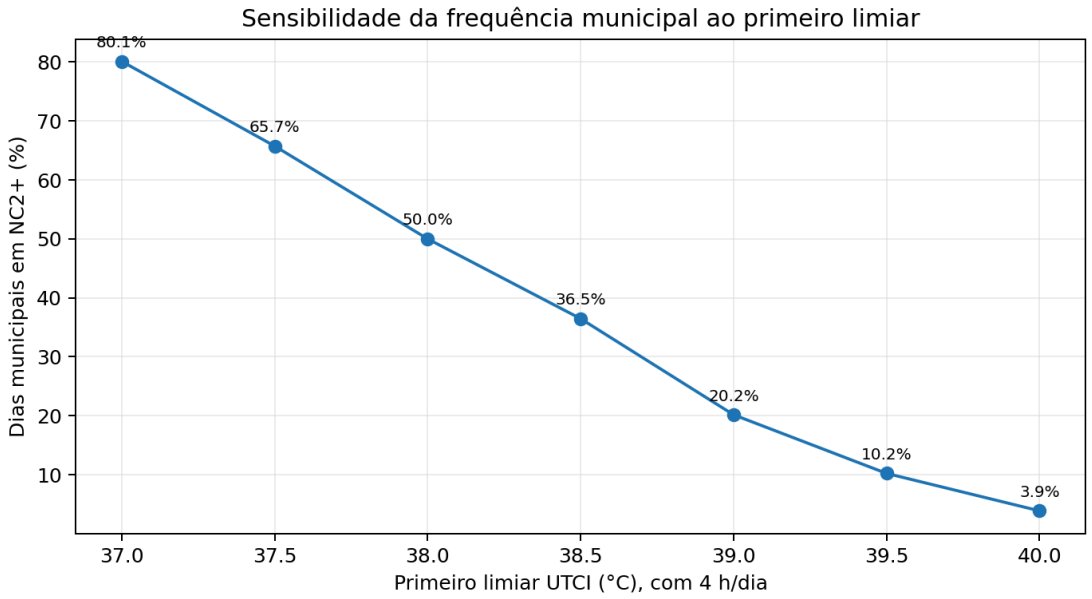


Figura 5. Sensibilidade da frequência municipal ao primeiro corte do UTCI mantendo quatro horas diárias.

Implicação operacional. A configuração de 38 °C/4 h é fisiologicamente interpretável, mas produz NC2+ em metade dos dias válidos e mantém resposta em 66,3% deles. A análise, portanto, documenta explicitamente cenários mais restritivos para decisão na fase piloto. A série de um ano e os modelos de saúde atuais não identificam um ponto de corte único como ótimo.

5.2 Exposição noturna

A análise noturna não mostrou UTCI ≥ 32 °C de forma persistente nas métricas mensais agregadas. A mediana da temperatura mínima noturna entre estações variou aproximadamente de 24,7 a 26,8 °C, enquanto o P95 do UTCI máximo noturno mediano ficou entre 29,3 e 31,7 °C. Assim, a recuperação noturna permanece relevante como variável complementar, mas não reproduz os mesmos níveis de estresse térmico observados na exposição diurna aberta.

6 Tratamento dos dados de saúde

A análise epidemiológica utilizou registros do Sistema de Informações sobre Mortalidade no período comum entre a rede meteorológica e o SIM, de 1º de setembro de 2025 a 31 de agosto de 2026. Após consolidação e remoção de duplicatas exatas, foram identificados 16.202 óbitos não fetais de residentes de Fortaleza e 15.675 óbitos ocorridos no município.

As causas básicas foram agrupadas em todas as causas, doenças circulatórias, cardiovasculares agudas, respiratórias, renais e urinárias, diabetes e causas diretamente relacionadas ao calor. As contagens foram agregadas diariamente, incluindo dias com zero óbito. A exposição térmica foi associada aos desfechos no mesmo dia e em defasagens de um a três dias.

6.1 Comparação com a rede municipal

A descrição por nível utiliza o cenário-base UTCI de 38 °C/4 h. Entre residentes, no mesmo dia, a média de óbitos por todas as causas foi 20,8% maior em NC2 e 27,4% maior em NC3 do que em NC1. Para cardiovasculares agudos, as razões brutas foram 1,28 em NC2 e 1,26 em NC3; para doenças respiratórias, 1,27 e 1,23. Apenas três dias foram classificados como NC4, impedindo interpretação estável desse estrato. Essas razões são descritivas e estão sujeitas a sazonalidade, tendência e demais confundidores.

6.2 Modelos exploratórios

Foram ajustados modelos diários de Poisson com erros-padrão robustos, controlando mês, dia da semana e tendência temporal. Duas exposições foram testadas: ocorrência de NC2 ou superior e excesso do P95 municipal do UTCI acima de 38 °C. As comparações foram repetidas para lags de zero a três dias e os valores de p foram corrigidos pelo método de Benjamini-Hochberg.

Algumas associações foram nominais antes da correção. No mesmo dia, por exemplo, o excesso do UTCI acima de 38 °C apresentou RR de 1,054 por 1 °C para todas as causas (p = 0,002) e RR de 1,143 para doenças respiratórias (p = 0,010). Entretanto, nenhuma associação permaneceu significativa após a correção de múltiplas comparações; o menor p ajustado foi 0.102. A dispersão de Pearson dos modelos de todas as causas ficou em torno de 2,1, indicando sobredispersão relevante e necessidade de especificações mais robustas em etapas futuras.

A análise não controla integralmente poluição do ar, chuva, epidemias, feriados, mudanças populacionais ou autocorrelação temporal. Os registros de causas diretamente relacionadas ao calor foram insuficientes para modelagem. Por essas razões, os resultados de mortalidade não devem ser interpretados como validação causal do limiar do protocolo.

7 Resultados de saúde preliminares e implicações

Evidência	Resultado	Interpretação
Descritiva por níveis	Médias mais altas em NC2/NC3 para vários desfechos	Sinal exploratório; não causal
Modelos Poisson	Associações nominais em algumas exposições	Nenhuma permaneceu após FDR
Todas as causas	Sobredispersão de Pearson ≈ 2,1	Requer modelo alternativo/robusto
Causas X30/T67	Eventos insuficientes	Não permite modelagem específica
Limiares	Saúde não identifica corte único	Manter avaliação prospectiva e recalibração

A evidência de saúde disponível é compatível com o uso do UTCI como variável de vigilância, mas não resolve a escolha entre os cenários operacionais de 38, 38,5 ou 39 °C, nem entre quatro, cinco ou seis horas de duração. A calibração final requer série maior, auditoria de completude do SIM e inclusão de morbidade, urgência, internações e pressão assistencial.

8 Conclusão e descrição dos níveis

A revisão metodológica estabelece o UTCI como indicador biometeorológico principal para a classificação de exposição externa na rede municipal. A substituição é coerente com a disponibilidade local de vento e radiação, mas altera substancialmente a frequência dos níveis. Por isso, os resultados devem ser interpretados como uma fase de calibração operacional, e não como demonstração de um limiar biológico universal.

No cenário-base de 38 °C/4 h, 181 dias (50.0%) alcançam NC2+, 78 (21.5%) alcançam NC3+ e 3 alcançam NC4. A regra administrativa amplia o estado de resposta NC2+ para 240 dias (66.3%). O teste de sensibilidade demonstra que pequenas alterações no primeiro limiar ou na duração reduzem expressivamente a frequência, enquanto a análise epidemiológica ainda não diferencia de forma definitiva essas alternativas.

A arquitetura de cinco níveis pode ser mantida como estrutura de teste, com publicação separada do nível meteorológico observado e do estado de resposta administrativa. Durante a fase piloto, cada ciclo anual deve revisar frequência, duração dos episódios, carga institucional, desempenho das previsões, cobertura territorial, concordância entre sensores, eventos de saúde e comunicação pública. Alterações de corte devem ser documentadas como recalibração da regra e não como mudança retroativa da série histórica.

Nível	Critério térmico do cenário-base	Finalidade operacional
NC1 — Monitoramento	Nenhuma condição de NC2–NC5 integralmente satisfeita	Rotina permanente, QC e observação de indicadores
NC2 — Atenção	UTCI ≥ 38 °C por ≥ 4 h/dia em 1 ou 2 dias válidos consecutivos ou ativação pela coordenação	Preparar vigilância diária, comunicação e rede notificadora
NC3 — Alerta	UTCI ≥ 38 °C por ≥ 4 h/dia em ≥ 3 dias válidos consecutivos ou ativação pela coordenação	Intensificar análise territorial e alerta epidemiológico
NC4 — EmergÊncia	UTCI ≥ 40 °C por ≥ 4 h no dia + 2 dias anteriores com UTCI ≥ 38 °C por ≥ 4 h/dia ou ativação pela coordenação	Ampliar frequência das análises e mobilizar resposta
NC5 — Resposta Ampliada	UTCI > 46 °C por ≥ 2 h no dia + 2 dias anteriores com UTCI ≥ 38 °C por ≥ 4 h/dia ou ativação pela coordenação	Sustentar resposta ampliada e monitorar impactos

Os níveis formam escala hierárquica. Em cada dia, o nível meteorológico municipal é o maior nível cujo critério integral tenha sido satisfeito por pelo menos duas estações elegíveis. Ultrapassagem breve de 40 °C ou 46 °C que não cumpra a duração correspondente não elimina a classificação inferior: aplica-se o maior nível integralmente atendido. Dias com menos de 18 horas válidas são insuficientes para aquela estação.

Previsões podem antecipar medidas preparatórias, mas não substituem a confirmação observacional na série meteorológica publicada. O nível observado é recalculado diariamente. Ações administrativas podem permanecer ativas após rebaixamento meteorológico, devendo ser registradas em variável separada. No cenário de gestão testado, o episódio é encerrado após dois dias municipais completos, válidos e consecutivos em NC1.

Ponto de decisão para a fase piloto. O cenário-base 38 °C/4 h é o que foi integralmente reprocessado neste relatório, inclusive na análise epidemiológica. A sensibilidade mostra que 39 °C/4 h ou 38 °C/6 h reduzem substancialmente a frequência de ativação. O documento não trata essas alternativas como já escolhidas; elas devem ser comparadas prospectivamente quanto a eventos detectados, carga operacional e desfechos de saúde.

9 Referências

BRASIL. Ministério da Saúde. Nota Técnica nº 18/2023. Recomendações para atuação diante de eventos de calor extremo e ondas de calor. Brasília, DF, 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Plano Setorial de Adaptação à Mudança do Clima para a Saúde – AdaptaSUS. Brasília, DF.

BRÖDE, Peter; FIALA, Dusan; BŁAŻEJCZYK, Krzysztof; HOLMÉR, Ingvar; JENDRITZKY, Gerd; KAMPMANN, Bernhard; TINZ, Birger; HAVENITH, George. Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). International Journal of Biometeorology, v. 56, p. 481–494, 2012. DOI: 10.1007/s00484-011-0454-1.

ECMWF – EUROPEAN CENTRE FOR MEDIUM-RANGE WEATHER FORECASTS. Forecast User Guide: Thermal parameters – Universal Thermal Climate Index. 2026.

ERBS, D. G.; KLEIN, S. A.; DUFFIE, J. A. Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly-average global radiation. Solar Energy, v. 28, n. 4, p. 293–302, 1982.

RIO DE JANEIRO. Decreto Rio nº 54.740, de 28 de junho de 2024. Dispõe sobre o protocolo de calor do Município do Rio de Janeiro.

RIO DE JANEIRO. Centro de Operações e Resiliência. Portaria N nº 03, de 28 de junho de 2024. Estabelece os níveis de calor e os respectivos critérios operacionais.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Heat–health action plans: guidance. Second edition. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2026.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION; WORLD HEALTH ORGANIZATION. Heatwaves and health: guidance on warning-system development. Geneva: WMO; WHO, 2015/2016.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Landsat 8 and Landsat 9 Collection 2 Level 2 Science Products. Reston: USGS.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Série histórica horária da estação meteorológica de Fortaleza. Dados utilizados no estudo, 2013–2025.