ANÁLISE DE DADOS DE ACIDENTES DE TRABALHO E ESTRESSE TÉRMICO UTILIZANDO TÉCNICAS DE ASSOCIAÇÃO

Manuela Vieira Silva Montanhez (PIBIC/CNPq/UEM), Guilherme Neto Ferrari (Coorientador), Gislaine Camila Lapasini Leal (Orientadora). E-mail: gcleal@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia de Produção, Maringá, PR.

Área e subárea do conhecimento: Engenharia de Produção/Gerência de Produção.

Palavras-chave: estresse térmico; acidentes de trabalho; regras de associação.

RESUMO

Este trabalho buscou identificar padrões de associação entre índices de estresse térmico e acidentes de trabalho no Brasil entre 2006 e 2023. Foram integrados 511.149 registros do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN) aos dados climáticos de 564 estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), calculando quatro índices térmicos: Temperatura Efetiva (ET), Índice de Desconforto Térmico (DI), Humidex (HX) e Índice de Desconforto Modificado (MDI). O algoritmo Apriori gerou 49.322 regras de associação. Os resultados indicaram concordância entre os índices nas faixas de menor severidade e associação entre condições térmicas elevadas e desfechos mais graves, principalmente no Norte e Nordeste, onde óbito e estresse térmico alto apresentaram forte associação, reforçando a necessidade de políticas preventivas diante das mudanças climáticas.

INTRODUÇÃO

Os acidentes de trabalho são um problema de saúde pública no Brasil, em que o clima tropical e o calor excessivo afetam trabalhadores de setores como a agricultura, a construção civil, a mineração e a indústria (VARGHESE et al., 2018). As mudanças climáticas intensificam essa exposição ao estresse térmico, regulamentada no país pela NR-15 (BRASIL, 2022). No entanto, revisões recentes apontam que o uso de mineração de dados para investigar os efeitos do clima sobre a saúde ocupacional a partir de bases secundárias ainda é limitado, concentrando-se majoritariamente na seleção de variáveis e na classificação (FERRARI *et al.*, 2025b).

O estresse térmico ocorre quando o organismo não consegue equilibrar a produção e a troca de calor, podendo causar desde desidratação até óbito. Sua avaliação pode ser realizada por diferentes índices térmicos, como o Índice de Desconforto Térmico (THOM, 1959), que apresentam resultados semelhantes em bases nacionais de acidentes de trabalho (FERRARI *et al.*, 2025a). Assim, este trabalho

busca identificar, por meio do algoritmo Apriori, associações entre estresse térmico e acidentes registrados no SINAN entre 2006 e 2023.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em três etapas. Na primeira, cerca de 2 milhões de registros de acidentes de trabalho do SINAN (2006-2023) foram filtrados quanto à completude da variável "parte do corpo atingida", ausente em 53,6% dos casos; optou-se por mantê-la, por ser relevante à análise, mesmo reduzindo a base de dados. Os registros foram integrados às informações climáticas diárias do INMET, associando cada acidente à estação mais próxima pelo método de Haversine, com limite de 500 km, e à data de ocorrência, resultando em 511.149 registros com correspondência climática. Na segunda etapa, calcularam-se em Python quatro índices de estresse térmico (ET, DI, HX e MDI), classificados em cinco faixas de severidade: mínimo, baixo, moderado, alto e crítico. Na terceira etapa, aplicou-se o algoritmo Apriori no R 4.6.1, com suporte mínimo de 1% e confiança mínima de 50%, considerando sexo, tipo de acidente, região, parte do corpo, faixa etária, evolução e faixas térmicas. As regras foram ordenadas pelo lift, que mede o quanto a associação supera o esperado ao acaso.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A base integrada, composta por 511.149 registros, apresentou predominância de homens (82,2%) e de acidentes típicos (88,7%). A região Sudeste concentrou a maior parte das ocorrências (46,4%), seguida pelo Sul (28,4%). Quanto à evolução dos casos, 58,1% resultaram em sequelas, 37,6% em cura e 4,2% em óbito. A Tabela 1 apresenta a distribuição das principais variáveis analisadas.

Tabela 1 - Distribuição das variáveis nos acidentes de trabalho (2006-2023)

Variavél	Categoria	Frequência	%
Sexo	Masculino	420.018	82,2%
Sexo	Feminino	91.131	17,8%
Tipo de acidente	Típico	453.630	88,7%
Tipo de acidente	Trajeto	57.519	11,3%
Região	Sudeste	237.039	46,4%
Região	Sul	145.115	28,4%
Região	Nordeste	53.881	10,5%
Região	Centro-Oeste	53.255	10,4%
Região	Norte	21.859	4,3%
Evolução	Sequela	297.200	58,1%

Evolução	Curado	192.436	37,6%
Evolução	Óbito	21.513	4,2%

A aplicação do algoritmo Apriori gerou 49.322 regras, identificando padrões entre características dos acidentes e condições térmicas, considerando sexo, tipo de acidente, região, parte do corpo, faixa etária e evolução, com o lift como medida de associação. O cruzamento entre faixas térmicas e evolução mostrou que Temperatura Efetiva (ET) alta, sequela e região Norte apresentaram lift de 6,44, sugerindo relação entre calor extremo e desfechos mais graves. O Humidex (HX) apresentou comportamento distinto, com lifts menores nas faixas mais altas.

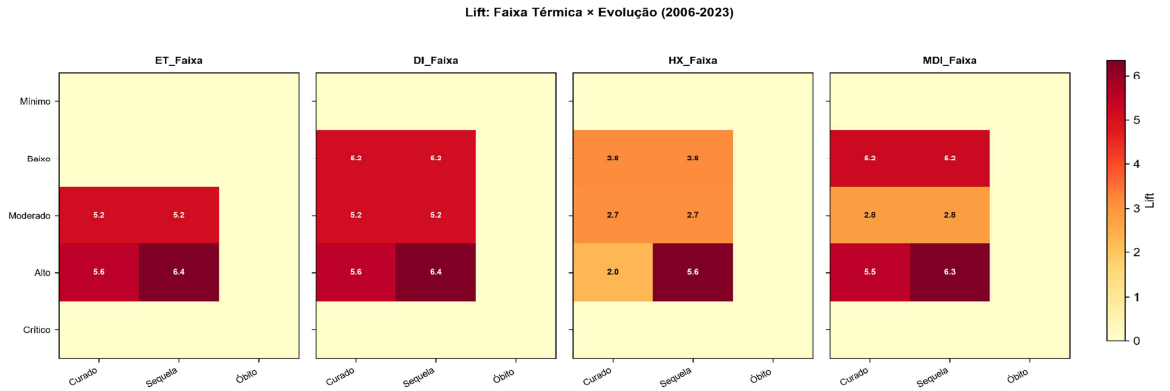


Figura 1 - Lift entre faixas de estresse térmico e evolução clínica (SINAN-INMET, 2006-2023)

As regras relacionadas a desfechos fatais apontaram consistentemente o Nordeste como principal região, com lift entre 5,71 e 5,87. A regra de maior lift mostrou que 61,9% dos acidentes fatais sob estresse térmico alto ocorreram no Nordeste, uma proporção quase 6x superior à esperada. Esse padrão é consistente com estudos que associam o aumento de indicadores térmicos a determinados padrões de acidentes em regiões de clima mais quente (FERRARI *et al.*, 2023), reforçando a necessidade de protocolos preventivos específicos para o Nordeste, em contraste com o perfil mais favorável observado na região Sul, onde faixas térmicas baixas predominam.

Tabela 2 - Top 10 regras de associação envolvendo óbito e região Nordeste

Regra (LHS ⇒ RHS)	Suporte	Confiança	Lift
{Sexo=Masculino, Tipo=Típico, Evolução=Óbito, MDI=Alto} ⇒ {Nordeste}	1,58%	61,9%	5,87
{Tipo=Típico, Evolução=Óbito, MDI=Alto} ⇒ {Nordeste}	1,68%	61,4%	5,82
{Tipo=Típico, Evolução=Óbito, DI=Alto, MDI=Alto} ⇒ {Nordeste}	1,68%	61,4%	5,82
{Tipo=Típico, Evolução=Óbito, ET=Alto, MDI=Alto} ⇒ {Nordeste}	1,68%	61,4%	5,82
{Sexo=Masculino, Evolução=Óbito, MDI=Alto} ⇒ {Nordeste}	1,63%	60,9%	5,78
{Sexo=Masculino, Evolução=Óbito, DI=Alto, MDI=Alto} ⇒ {Nordeste}	1,63%	60,9%	5,78

{Sexo=Masculino, Evolução=Óbito, ET=Alto, MDI=Alto} ⇒ {Nordeste}	1,63%	60,9%	5,78
{Evolução=Óbito, MDI=Alto} ⇒ {Nordeste}	1,75%	60,2%	5,71
{Evolução=Óbito, DI=Alto, MDI=Alto} ⇒ {Nordeste}	1,75%	60,2%	5,71
{Evolução=Óbito, ET=Alto, MDI=Alto} ⇒ {Nordeste}	1,75%	60,2%	5,71

CONCLUSÃO

As mudanças climáticas e o aumento de eventos de calor extremo ampliam a exposição dos trabalhadores ao estresse térmico, elevando os riscos à saúde ocupacional. Nesse contexto, os acidentes de trabalho associados às condições climáticas tornam-se uma preocupação crescente. Os resultados indicam que o estresse térmico é relevante para a gravidade dos acidentes no Brasil entre 2006 e 2023. O algoritmo Apriori identificou associações entre calor intenso, desfechos mais graves e as regiões Norte e Nordeste, em contraste com o Sul.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Estadual de Maringá e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro à pesquisa por meio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. Norma Regulamentadora nº 15 (NR-15): atividades e operações insalubres. Brasília, DF: Ministério do Trabalho e Previdência, 2022.

FERRARI, G. N. et al. Impact of rising temperatures on occupational accidents in Brazil in the period 2006 to 2019: a multiple correspondence analysis. Safety Science, v. 161, p. 106078, 2023.

FERRARI, G. N.; dos SANTOS, G. C.; OSSANI, P. C.; LEAL, G. C. L.; GALDAMEZ, E. V. C. Analysis of the climate impact on occupational health and safety using heat stress indexes. International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 22, n. 1, p. 130, 2025a.

FERRARI, G. N.; LEAL, G. C. L.; OSSANI, P. C.; GALDAMEZ, E. V. C. Investigation of the usage of machine learning to explore the impacts of climate change on occupational health: a systematic review and research agenda. Frontiers in Public Health, v. 13, p. 1578558, 2025b.

THOM, E. C. The discomfort index. Weatherwise, Philadelphia, v. 12, n. 2, p. 57-60, 1959.

VARGHESE, B. M. et al. Are workers at risk of occupational injuries due to heat exposure? A comprehensive literature review. Safety Science, v. 110, p. 380-392, 2018.