

## OS EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO DESEMPENHO E NA RENDA DOS TRABALHADORES VULNERÁVEIS

 <https://doi.org/10.56238/arev6n4-069>

**Data de submissão:** 05/11/2024

**Data de publicação:** 05/12/2024

**Daniel Thomaz Giacomelli Nunes Maciel**

Departamento de Economia, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Brasil.

**Fahim Elias Costa Rihbane**

Univag, Centro Universitário de Várzea Grande; Seciteci, Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Inovação, Brasil.

**Fabrício César de Moraes**

Instituto Federal de Mato Grosso (IFMT), Brasil.

**Barbara Yadira Mellado Pérez**

UniSENAI/SC, Brasil

**Osvaldo Alves Pereira**

Universidade de Cuiabá (UNIC), Brasil

### RESUMO

Este estudo modela e analisa como a variabilidade climática afeta a produtividade de trabalhadores vulneráveis e não vulneráveis, enfatizando as disparidades de dimensionamento impulsionadas pela sensibilidade climática. Os trabalhadores vulneráveis, fortemente dependentes de condições ambientais estáveis, enfrentam perdas de produtividade amplificadas devido a desvios da temperatura ideal, enquanto os trabalhadores não vulneráveis, protegidos pela tecnologia, mantêm saídas estáveis. Uma função de produção Cobb-Douglas com uma estrutura CES quantifica esses efeitos, revelando declínios significativos nos salários e na produtividade para grupos vulneráveis à medida que a variabilidade climática aumenta. A pesquisa integra teorias de estresse térmico, ambientes de trabalho psicossocial e justiça climática para explicar esses impactos. Os resultados destacam como as empresas se adaptam substituindo mão de obra vulnerável por trabalhadores não vulneráveis, exacerbando as desigualdades de emprego e renda. Esta dinâmica se alinha com as preocupações com a justiça climática, já que as funções intensivas ao ar livre de baixa renda são as que mais sofrem, ressaltando a necessidade de políticas de adaptação equitativas.

**Palavras-chave:** Mudanças Climáticas. Trabalhadores vulneráveis. Produtividade. Desigualdade de renda. Políticas de Adaptação.

## 1 INTRODUÇÃO

Este artigo tem como objetivo modelar e investigar os efeitos diferenciais de fatores climáticos na produtividade de trabalhadores vulneráveis e não vulneráveis. Trabalhadores vulneráveis, cuja produtividade depende fortemente de condições ambientais favoráveis, particularmente temperatura, enfrentam desafios significativos à medida que as mudanças climáticas se intensificam. Desvios das faixas de temperatura ideais podem levar a declínios na produtividade devido ao aumento do esforço físico, riscos à saúde e redução da eficiência em tarefas ao ar livre, como as encontradas na agricultura e construção (Zadow et al., 2017; Manapragada et al., 2019). Por outro lado, os trabalhadores não vulneráveis, protegidos por avanços tecnológicos e suporte de infraestrutura, mantêm níveis de produtividade estáveis apesar das variações climáticas (Khan, 2016; Jameson & Parkinson, 2021). Essa dicotomia ressalta a necessidade de examinar a dinâmica do mercado de trabalho através das lentes das mudanças climáticas, particularmente no que se refere às desigualdades sociais e implicações econômicas.

A estrutura teórica para esta investigação baseia-se em vários conceitos-chave, incluindo modelos de estresse térmico, teorias psicossociais do trabalho e justiça climática. Os modelos de estresse térmico elucidam os impactos fisiológicos e psicológicos dos extremos de temperatura no desempenho do trabalhador, destacando como o aumento do calor pode exacerbar a fadiga e reduzir a função cognitiva (Cáceres et al., 2022; Lawrie et al., 2018). Esses modelos são particularmente relevantes para trabalhadores vulneráveis, que podem experimentar um declínio acentuado na produtividade à medida que as temperaturas se desviam dos níveis ideais. Além disso, a teoria psicossocial do trabalho e das mudanças climáticas postula que os estressores ambientais podem afetar adversamente a saúde mental, as percepções de segurança e o engajamento geral no trabalho, agravando ainda mais os desafios enfrentados pelos trabalhadores vulneráveis (Dollard et al., 2017; Ulhassan et al., 2014). Essa interação entre o estresse climático e o bem-estar do trabalhador requer uma compreensão abrangente de como os fatores climáticos moldam a produtividade do trabalho e as consequências econômicas associadas.

Além dos impactos diretos das mudanças climáticas na produtividade do trabalhador, o conceito de justiça climática destaca as desigualdades estruturais que exacerbam as vulnerabilidades entre certos grupos de trabalhadores. Trabalhadores de baixa renda, muitas vezes empregados em setores sensíveis ao clima, são desproporcionalmente afetados pelas flutuações climáticas, levando a uma maior insegurança no emprego e instabilidade de renda (Toropova et al., 2023; Akanni et al., 2021). Essa relação entre renda e vulnerabilidade climática ressalta a necessidade de políticas que abordem essas disparidades e promovam estratégias de adaptação equitativas. Além disso, a teoria do

capital social e da resiliência da comunidade fornece uma estrutura para entender como as redes comunitárias podem apoiar os trabalhadores vulneráveis no enfrentamento das adversidades climáticas, aumentando assim sua resiliência geral (Taibi et al., 2022; Seddighi et al., 2020). Ao integrar essas perspectivas teóricas, este artigo visa elucidar a complexa dinâmica entre mudanças climáticas, produtividade do trabalho e desigualdades sociais.

A modelagem matemática serve como uma ferramenta crítica nesta investigação, permitindo a quantificação dos impactos dos fatores climáticos na produtividade do trabalhador. O modelo proposto emprega uma função de produção de Cobb-Douglas, que incorpora insumos de mão de obra de grupos de trabalhadores vulneráveis e não vulneráveis, utilizando uma função de elasticidade constante de substituição (CES) para analisar as mudanças na alocação de mão de obra em resposta às mudanças climáticas (Backström & Berglund, 2022; Saastamoinen et al., 2013). Essa abordagem de modelagem permite explorar como os desvios de temperatura influenciam a produtividade e os salários, principalmente para trabalhadores vulneráveis, ao mesmo tempo em que examina as implicações mais amplas para as empresas que dependem desses segmentos de trabalho. Espera-se que os resultados revelem declínios significativos na produtividade e nos salários dos trabalhadores vulneráveis à medida que os desvios de temperatura aumentam, levando a mudanças na alocação de mão de obra que favorecem os trabalhadores não vulneráveis e exacerbam as desigualdades existentes de emprego e renda (Trott, 2019; Miller et al., 2023).

As implicações econômicas dessas dinâmicas são profundas, principalmente para empresas que dependem fortemente de trabalhadores vulneráveis. À medida que a produtividade diminui e os salários diminuem, as empresas podem enfrentar custos crescentes associados à substituição de mão de obra e redução da produtividade geral (Tyagi & Carley, 2021; Lehuluante et al., 2011). Essa deterioração na relação entre lucros e custos totais de mão de obra pode obrigar as empresas a reavaliar suas estratégias trabalhistas, potencialmente levando a uma maior dependência de trabalhadores não vulneráveis e agravando ainda mais as desigualdades sociais no mercado de trabalho (Kori, 2023; Ellehave, 2023).

Este estudo contribui para a crescente pesquisa sobre a relação entre mudanças climáticas, mercados de trabalho e dinâmica econômica, fornecendo orientação prática para formuladores de políticas e líderes empresariais enfrentarem esses desafios multifacetados. O artigo examina como os fatores climáticos afetam desproporcionalmente os trabalhadores vulneráveis e não vulneráveis, explorando as complexas conexões entre mudanças climáticas, produtividade do trabalho e desigualdades sociais por meio de uma estrutura teórica focada e modelagem matemática.

## 2 MODELO

O modelo proposto investiga o impacto diferencial dos fatores climáticos na produtividade de dois grupos distintos de trabalhadores: *trabalhadores vulneráveis* (V) e *trabalhadores não vulneráveis* (N). Trabalhadores vulneráveis (V) são aqueles cuja produtividade é significativamente afetada pelas condições ambientais, particularmente desvios de temperatura de uma faixa ideal. Os trabalhadores não vulneráveis (N), por outro lado, mantêm a produtividade estável, independentemente dos fatores climáticos externos.

A produtividade dos trabalhadores vulneráveis (V) depende fortemente de condições dentro de uma faixa específica de temperatura, . À medida que a temperatura real se desvia desse ponto ideal, denotado como , sua produtividade diminui devido ao aumento do esforço físico, riscos à saúde ou redução da eficiência na execução de tarefas expostas ao clima. Esse grupo geralmente inclui trabalhadores em funções intensivas ao ar livre ou setores que dependem de condições ambientais estáveis, como agricultura, construção e outras indústrias dependentes do clima.  $T_0 T_d = |T - T_0|$

Os trabalhadores não vulneráveis (N), no entanto, são protegidos dos efeitos diretos das flutuações de temperatura devido à natureza de suas funções, que normalmente são desempenhadas em ambientes controlados ou isolados. Esses trabalhadores se beneficiam de proteções tecnológicas e de infraestrutura que mantêm sua produtividade independentemente das condições externas. Os exemplos incluem trabalhadores em ambientes de escritório, processos de fabricação realizados em ambientes fechados ou funções com exposição física mínima ao meio ambiente.

O modelo incorpora essas diferenças introduzindo uma penalidade na produtividade de trabalhadores vulneráveis (V) em função do desvio de temperatura (). À medida que aumenta, a penalidade se torna mais pronunciada, refletindo a natureza exponencial dos efeitos adversos de condições ambientais extremas. Trabalhadores não vulneráveis (N) não sofrem tal penalidade, mantendo um nível consistente de produção, independentemente de  $T_d^2 T_d T_a$

As empresas respondem a essas diferenças ajustando sua alocação de mão de obra entre e . A elasticidade da substituição entre esses dois grupos desempenha um papel crítico na determinação de como as empresas se adaptam às mudanças de produtividade induzidas pelo clima. Se a substituição for relativamente fácil, as empresas podem mudar sua dependência de trabalhadores vulneráveis para trabalhadores não vulneráveis, ampliando as desigualdades de emprego e renda entre os dois grupos. Por outro lado, se a substituição for limitada, as empresas podem enfrentar custos mais altos associados à redução da produtividade em funções sensíveis ao clima.  $VN$

A estrutura detalhada do modelo, incluindo sua formulação matemática, penalidades de produtividade, processos de tomada de decisão da empresa e dinâmica de alocação de mão de obra,

será apresentada nas seções a seguir. Essa estrutura prepara o terreno para explorar como as condições climáticas influenciam os mercados de trabalho e a distribuição de renda, particularmente sob as restrições das vulnerabilidades induzidas pelo clima.

### 3 FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

O modelo está estruturado para capturar a dinâmica entre produção, alocação de mão de obra e os impactos da sensibilidade climática em dois grupos de trabalhadores: *trabalhadores vulneráveis* (V) e *trabalhadores não vulneráveis* (N). O objetivo é formalizar como os desvios de temperatura e as estratégias de mercado das empresas interagem para determinar os resultados do mercado de trabalho.

O processo de produção é modelado usando uma função de Cobb-Douglas, agregando capital e trabalho. O trabalho, no entanto, não é homogêneo; consiste em e , cujos níveis de produtividade diferem devido a fatores ambientais. A agregação desses dois tipos de trabalho é feita por meio de uma função CES, permitindo flexibilidade na substituição entre e . Os trabalhadores vulneráveis, ao contrário dos trabalhadores não vulneráveis, enfrentam uma penalidade de produtividade como resultado de desvios de temperatura de uma faixa ideal.VNVN

A produtividade dos trabalhadores não vulneráveis é determinada principalmente pelo capital humano e fatores tecnológicos, tornando-os em grande parte não afetados pelas condições ambientais. Em contraste, a produtividade dos trabalhadores vulneráveis é diretamente penalizada com base no quadrado do desvio absoluto da temperatura atual da temperatura ideal. Essa penalidade cresce exponencialmente à medida que a temperatura se desvia ainda mais do ideal, refletindo como as condições extremas prejudicam desproporcionalmente os papéis trabalhistas sensíveis ao clima.

As empresas, buscando maximizar os lucros, alocam o trabalho entre e com base em sua produtividade e custos relativos. O poder de mercado permite que as empresas estabeleçam salários abaixo da produtividade marginal dos trabalhadores, o que cria uma camada adicional de desigualdade. A elasticidade da substituição entre e influencia a forma como as empresas ajustam sua dependência desses grupos em resposta às mudanças no clima ou nos custos salariais.VNVN

#### 3.1 EQUAÇÕES DO MODELO

##### 1. Função de produção:

$$Q = A \cdot K^\alpha \cdot L^{1-\alpha},$$

onde:

- $Q$  é a produção total,
- $A$  representa o nível tecnológico,

- $K$  é a entrada de capital,
- $L$  é o insumo efetivo total do trabalho, e
- $\alpha$  é a elasticidade da produção em relação ao capital.

2. Agregação de Trabalho (CES):

$$L = [\theta L_N^\rho + (1 - \theta)L_V^\rho]^{\frac{1}{\rho}},$$

onde:

- $L_N$  e são insumos de mão de obra de trabalhadores não vulneráveis e vulneráveis, respectivamente,  $L_V$
- $\theta$  é o peso dos trabalhadores não vulneráveis na agregação de mão de obra,
- $\rho = 1 - \frac{1}{\sigma}$ , onde é a elasticidade de substituição entre e  $\sigma > 0$

3. Produtividade dos Trabalhadores Não Vulneráveis ( $N$ )

$$P_N = A_N \cdot X_N^{\phi_N},$$

onde:

- $A_N$  é o fator tecnológico para  $N$
- $X_N$  é o capital humano de  $N$
- $\phi_N$  é a elasticidade da produtividade em relação ao capital humano.

4. Produtividade dos Trabalhadores Vulneráveis ( $V$ )

$$P_V = A_V \cdot X_V^{\phi_V} \cdot e^{-\beta T_d^2},$$

onde:

- $A_V$  é o fator tecnológico para  $V$
- $X_V$  é o capital humano de  $V$
- $\phi_V$  é a elasticidade da produtividade em relação ao capital humano,
- $T_d = |T - T_0|$  é o desvio absoluto da temperatura em relação ao nível ótimo ( $T_0$ )
- $\beta$  é a sensibilidade da produtividade aos desvios de temperatura.

5. Determinação do salário:

$$w_N = \frac{P_N}{\eta}, \quad w_V = \frac{P_V}{\eta},$$

onde:

- $w_N$  e são os salários de e , respectivamente,  $w_V$
- $\eta > 1$  representa o grau de poder de mercado, indicando a fração da produtividade paga como salário.  $\frac{1}{\eta}$

6. Maximização do lucro: As empresas maximizam os lucros () escolhendo , , e para maximizar: $\Pi L_N L_V K$

$$\Pi = P \cdot Q - w_N \cdot L_N - w_V \cdot L_V - r \cdot K,$$

onde:

- $P$  é o preço da produção,
- $r$  é o custo de capital.

Oferta e demanda de mão de obra

Nesta subseção, formalizamos as funções de demanda e oferta de mão de obra, distinguindo entre *trabalhadores vulneráveis* () e *Vtrabalhadores não vulneráveis* (). Essas funções determinam os níveis de equilíbrio de salários e emprego para cada grupo, com base em sua respectiva produtividade, sensibilidade às condições climáticas e comportamento de maximização de lucro das empresas. $N$

Demanda de trabalho

A demanda de trabalho é derivada do problema de maximização do lucro da empresa. As empresas escolhem o nível de emprego para e para minimizar os custos, mantendo um determinado nível de produção. A demanda por trabalho é influenciada pela produtividade relativa ( e ) e pelos salários ( e ). $L_V L_N P_V P_N w_V w_N$

Demanda por Trabalhadores Vulneráveis (): $L_V$

$$L_V = \left( \frac{(1 - \theta)}{w_V^\sigma} \right) \cdot (P_V \cdot Q)^{\frac{\sigma}{1+\sigma}},$$

onde:

- $Q$  é a produção total,
- $P_V = A_V \cdot X_V^{\phi_V} \cdot e^{-\beta T_d^2}$  é a produtividade dos trabalhadores vulneráveis, e
- $w_V$  é o salário pago aos trabalhadores vulneráveis.

Demanda por trabalhadores não vulneráveis (): $L_N$

$$L_N = \left( \frac{\theta}{w_N^\sigma} \right) \cdot (P_N \cdot Q)^{\frac{\sigma}{1+\sigma}},$$

onde:

- $P_N = A_N \cdot X_N^{\phi_N}$  é a produtividade dos trabalhadores não vulneráveis, e
- $w_N$  é o salário pago a trabalhadores não vulneráveis.

As equações de demanda incorporam , a elasticidade de substituição entre e . Valores mais altos implicam que as empresas podem substituir mais facilmente um tipo de trabalho pelo outro em resposta a mudanças nos salários ou na produtividade. $\sigma L_V L_N \sigma$

Alocação de mão de obra:

A alocação relativa de e é determinada por:  $L_N L_V$

$$\frac{L_N}{L_V} = \left( \frac{\theta}{1 - \theta} \right) \cdot \left( \frac{w_V}{w_N} \right)^\sigma.$$

Esse sistema de equações captura a interação entre produção, condições climáticas, alocação de trabalho e comportamento de fixação de salários sob o poder de mercado da empresa. Nas seções subsequentes, analisaremos as implicações dessas relações em diferentes cenários climáticos e econômicos.

#### Oferta de mão de obra

A oferta de mão de obra para cada grupo depende da disposição dos trabalhadores em participar do mercado de trabalho, que é influenciada por seus salários. As funções de oferta assumem uma elasticidade da oferta de trabalho ( $\epsilon$ ), que mede a resposta dos trabalhadores às mudanças nos salários.

#### Oferta de Trabalhadores Vulneráveis ( $\epsilon$ ): $L_V$

$$L_V = L_{V0} \cdot \left( \frac{w_V}{w_{V0}} \right)^\epsilon,$$

onde:

- $L_{V0}$  é a oferta de base de trabalhadores vulneráveis,
- $w_V$  é o salário corrente, e
- $w_{V0}$  é o salário de referência para trabalhadores vulneráveis.

#### Oferta de Trabalhadores Não Vulneráveis ( $\epsilon$ ): $L_N$

$$L_N = L_{N0} \cdot \left( \frac{w_N}{w_{N0}} \right)^\epsilon,$$

onde:

- $L_{N0}$  é a oferta de base de trabalhadores não vulneráveis,
- $w_N$  é o salário corrente, e
- $w_{N0}$  é o salário de referência para trabalhadores não vulneráveis.

O parâmetro reflete a elasticidade da oferta de trabalho. Um maior implica que os trabalhadores são mais responsivos às mudanças nos salários.

#### Equilíbrio do mercado de trabalho

O equilíbrio no mercado de trabalho ocorre quando a demanda por mão de obra é igual à oferta, tanto para trabalhadores vulneráveis quanto não vulneráveis. As condições de equilíbrio são dadas por:

#### Equilíbrio para Trabalhadores Vulneráveis ( $\epsilon$ ): $L_V$

$$\left( \frac{(1 - \theta)}{w_V^\sigma} \right) \cdot (P_V \cdot Q)^{\frac{\sigma}{1 + \sigma}} = L_{V0} \cdot \left( \frac{w_V}{w_{V0}} \right)^\epsilon.$$

#### Equilíbrio para Trabalhadores Não Vulneráveis ( $\epsilon$ ): $L_N$

$$\left(\frac{\theta}{w_N^\sigma}\right) \cdot (P_N \cdot Q)^{\frac{\sigma}{1+\sigma}} = L_{N0} \cdot \left(\frac{w_N}{w_{N0}}\right)^\epsilon.$$

Essas equações determinam os salários de equilíbrio () e os níveis de emprego () em função da produtividade, das condições climáticas (via ) e dos parâmetros de elasticidade () $w_V, w_N L_V, L_N T_d^2 \sigma, \epsilon$

Essa estrutura fornece a base para analisar como as mudanças de produtividade induzidas pelo clima influenciam a demanda de trabalho e a dinâmica da oferta e como elas se propagam por meio de salários e resultados de emprego no mercado de trabalho.

### 3.2 RESULTADOS TEÓRICOS

**Lema 1:** A produtividade de trabalhadores vulneráveis diminui à medida que aumenta  $T_d$

**Declaração:** A produtividade dos trabalhadores vulneráveis () diminui quando o desvio de temperatura () aumenta. Essa relação é modelada por meio de um termo de penalidade exponencial , que captura os efeitos não lineares dos desvios de temperatura na produtividade. Quanto maior o desvio da temperatura ideal, mais acentuado é o declínio na produtividade. $P_V T_d e^{-\beta T_d^2}$

**Prova:** A produtividade dos trabalhadores vulneráveis é definida como:

$$P_V = A_V \cdot X_V^{\phi_V} \cdot e^{-\beta T_d^2},$$

onde:

- $A_V$  é o fator tecnológico específico dos trabalhadores vulneráveis,
- $X_V$  é o capital humano de trabalhadores vulneráveis,
- $\phi_V$  é a elasticidade da produtividade em relação ao capital humano,
- $T_d = |T - T_0|$  é o desvio absoluto da temperatura () em relação à temperatura ótima (), $T_0$
- $\beta > 0$  é a sensibilidade da produtividade aos desvios de temperatura.

Para determinar o comportamento de como aumentos, calculamos a derivada parcial de em relação a : $P_V T_d P_V T_d$

$$\frac{\partial P_V}{\partial T_d} = A_V \cdot X_V^{\phi_V} \cdot \frac{\partial}{\partial T_d} (e^{-\beta T_d^2}).$$

Usando a regra da cadeia para diferenciar: $e^{-\beta T_d^2}$

$$\frac{\partial}{\partial T_d} (e^{-\beta T_d^2}) = e^{-\beta T_d^2} \cdot \frac{\partial}{\partial T_d} (-\beta T_d^2).$$

A derivada de é: $-\beta T_d^2$

$$\frac{\partial}{\partial T_d} (-\beta T_d^2) = -2\beta T_d.$$

Substituindo de volta, obtemos:

$$\frac{\partial P_V}{\partial T_d} = A_V \cdot X_V^{\phi_V} \cdot e^{-\beta T_d^2} \cdot (-2\beta T_d).$$

Simplificar:

$$\frac{\partial P_V}{\partial T_d} = -2\beta T_d \cdot A_V \cdot X_V^{\phi_V} \cdot e^{-\beta T_d^2}.$$

Análise da derivada:

- O termo é negativo para  $\beta T_d > 0$ , indicando que  $\frac{\partial P_V}{\partial T_d} < 0$
- Portanto, à medida que aumenta, diminui exponencialmente devido ao termo de penalidade  $\cdot T_d P_V e^{-\beta T_d^2}$

A produtividade dos trabalhadores vulneráveis ( $P_V$ ) diminui com o aumento dos desvios de temperatura ( $T_d$ ). Esse declínio se torna mais pronunciado à medida que cresce, refletindo os efeitos compostos de condições ambientais extremas.  $P_V T_d T_d$

**Lema 2:** Desvios de temperatura afetam negativamente a proporção de trabalhadores não vulneráveis para vulneráveis

**Declaração:** Um aumento no desvio de temperatura ( $T_d$ ) afeta negativamente a proporção de trabalhadores não vulneráveis para vulneráveis ( $\frac{L_N}{L_V} T_d w_V$ ). À medida que aumenta, o salário dos trabalhadores vulneráveis ( $w_V$ ), que depende de sua produtividade, diminui exponencialmente, reduzindo a atratividade relativa dos trabalhadores vulneráveis para as empresas.  $\frac{L_N}{L_V} T_d w_V$

**Prova:** A proporção de trabalhadores não vulneráveis e vulneráveis é dada por:

$$\frac{L_N}{L_V} = \left( \frac{\theta}{1 - \theta} \right) \cdot \left( \frac{w_V}{w_N} \right)^\sigma,$$

onde:

- $\theta$  é a percentagem de trabalhadores não vulneráveis,
- $w_V$  e  $w_N$  são os salários dos trabalhadores vulneráveis e não vulneráveis, respectivamente,
- $\sigma > 0$  é a elasticidade da substituição entre  $w_V$  e  $w_N$ .

O salário dos trabalhadores vulneráveis ( $w_V$ ) depende de sua produtividade ( $P_V$ ), que é afetada por desvios de temperatura ( $T_d$ ):  $w_V P_V T_d$

$$w_V = \frac{P_V}{\eta}, \quad \text{where} \quad P_V = A_V \cdot X_V^{\phi_V} \cdot e^{-\beta T_d^2}.$$

O salário dos trabalhadores não vulneráveis ( $w_N$ ) é considerado constante, pois não é afetado por

. Substituindo por  $w_N$ , temos:  $w_N T_d w_V \frac{L_N}{L_V}$

$$\frac{L_N}{L_V} = \left( \frac{\theta}{1-\theta} \right) \cdot \left( \frac{\frac{P_V}{\eta}}{w_N} \right)^\sigma.$$

Simplificar:

$$\frac{L_N}{L_V} = \left( \frac{\theta}{1-\theta} \right) \cdot \left( \frac{A_V \cdot X_V^{\phi_V} \cdot e^{-\beta T_d^2}}{\eta \cdot w_N} \right)^\sigma.$$

Para analisar o impacto de  $\eta$  em  $\frac{L_N}{L_V}$ , calculamos a derivada de  $\eta$  em relação a  $T_d$ :  $\frac{\partial}{\partial T_d} \frac{L_N}{L_V} = \frac{\partial}{\partial T_d} \left[ \left( \frac{\theta}{1-\theta} \right) \cdot \left( \frac{A_V \cdot X_V^{\phi_V} \cdot e^{-\beta T_d^2}}{\eta \cdot w_N} \right)^\sigma \right]$

$$\frac{\partial}{\partial T_d} \left( \frac{L_N}{L_V} \right) = \frac{\partial}{\partial T_d} \left[ \left( \frac{\theta}{1-\theta} \right) \cdot \left( \frac{A_V \cdot X_V^{\phi_V} \cdot e^{-\beta T_d^2}}{\eta \cdot w_N} \right)^\sigma \right].$$

Uma vez que  $\theta$  e  $w_N$  são constantes em relação a  $T_d$ , a derivada se concentra no termo

exponencial:  $\frac{\theta}{1-\theta} \frac{A_V \cdot X_V^{\phi_V}}{\eta \cdot w_N} T_d$

$$\frac{\partial}{\partial T_d} \left( \frac{L_N}{L_V} \right) = \sigma \cdot \left( \frac{\theta}{1-\theta} \right) \cdot \left( \frac{A_V \cdot X_V^{\phi_V} \cdot e^{-\beta T_d^2}}{\eta \cdot w_N} \right)^{\sigma-1} \cdot \left( -2\beta T_d \cdot e^{-\beta T_d^2} \right).$$

Simplificando ainda mais:

$$\frac{\partial}{\partial T_d} \left( \frac{L_N}{L_V} \right) = -2\beta\sigma T_d \cdot \left( \frac{\theta}{1-\theta} \right) \cdot \left( \frac{A_V \cdot X_V^{\phi_V}}{\eta \cdot w_N} \right)^\sigma \cdot e^{-\sigma\beta T_d^2}.$$

Análise da derivada:

- O termo é negativo para  $\sigma > 0$ , indicando que  $-2\beta\sigma T_d < 0$  e  $\frac{\partial}{\partial T_d} \left( \frac{L_N}{L_V} \right) < 0$
- Portanto, à medida que aumenta, a proporção diminui devido à penalidade exponencial em  $\eta \cdot w_N$ .

À medida que aumenta, a produtividade dos trabalhadores vulneráveis diminui exponencialmente, levando a uma redução proporcional em seus salários. Isso torna os trabalhadores vulneráveis menos atraentes para as empresas em relação aos trabalhadores não vulneráveis, reduzindo a proporção  $T_d \cdot w_N \cdot \frac{L_N}{L_V}$ .

Lema 3: A produtividade total da empresa diminui à medida que aumenta  $T_d$

Declaração: A produtividade total da empresa ( $Q$ ) diminui à medida que o desvio de temperatura ( $\sigma$ ) aumenta, desde que o emprego de trabalhadores vulneráveis ( $L_V$ ) seja maior que zero ( $L_V > 0$ ). Esse declínio é causado pela redução exponencial da produtividade dos trabalhadores vulneráveis ( $P_V$ ) devido ao aumento  $T_d$ , que diminui a entrada agregada de mão de obra ( $L$ ).  $Q(T_d, L_V, L) = P_V T_d L_V \neq 0$

Prova: A função de produção da empresa é dada como:

$$Q = A \cdot K^\alpha \cdot L^{1-\alpha},$$

onde:

- $Q$  é a produção total,
- $A$  é o fator tecnológico,
- $K$  é a entrada de capital,
- $L$  é a entrada de trabalho agregada,
- $\alpha$  é a elasticidade da produção em relação ao capital.

A entrada de trabalho agregada () é definida como uma função CES de trabalhadores não vulneráveis () e vulneráveis (): $LL_N L_V$

$$L = [\theta L_N^\rho + (1 - \theta)L_V^\rho]^{\frac{1}{\rho}},$$

onde:

- $\theta$  é o peso de , $L_N$
- $\rho = 1 - \frac{1}{\sigma}$ , e é a elasticidade de substituição entre e . $\sigma > 0$  $L_N L_V$

A produtividade dos trabalhadores vulneráveis () diminui com: $P_V T_d$

$$P_V = A_V \cdot X_V^{\phi_V} \cdot e^{-\beta T_d^2}.$$

Uma vez que, a redução reduz a contribuição efetiva dos trabalhadores vulneráveis para a mão de obra agregada. Substituindo por , vemos que o peso efetivo diminui à medida que aumenta: $L_V > 0 P_V L P_V L L_V T_d$

$$L = [\theta L_N^\rho + (1 - \theta)(L_V \cdot P_V)^\rho]^{\frac{1}{\rho}}.$$

Diferenciando em relação a , encontramos: $Q T_d$

$$\frac{\partial Q}{\partial T_d} = A \cdot K^\alpha \cdot (1 - \alpha) \cdot L^{-(\alpha)} \cdot \frac{\partial L}{\partial T_d}.$$

Uma vez que , sua derivada em relação a é: $P_V = A_V \cdot X_V^{\phi_V} \cdot e^{-\beta T_d^2} T_d$

$$\frac{\partial P_V}{\partial T_d} = -2\beta T_d \cdot A_V \cdot X_V^{\phi_V} \cdot e^{-\beta T_d^2}.$$

Isso implica:

$$\frac{\partial L}{\partial T_d} < 0,$$

como reduz , que por sua vez diminui . $T_d > 0 P_V L$

Combinando estes resultados:

$$\frac{\partial Q}{\partial T_d} < 0.$$

Assim, à medida que aumenta, a produtividade total da empresa () diminui devido à redução agravada da produtividade dos trabalhadores vulneráveis, desde que  $T_d Q L_V \neq 0$

Teorema 1: O desemprego aumenta à medida que aumenta (dado)  $T_d L_V > 0$

Declaração: O desemprego aumenta à medida que o desvio de temperatura () aumenta, desde que o emprego de trabalhadores vulneráveis (). Isso ocorre porque a entrada de trabalho agregada () diminui quando aumenta, levando a uma utilização menos efetiva da mão de obra na produção e a um aumento correspondente no desemprego.  $T_d L_V > 0 L T_d$

Prova: A entrada de mão de obra agregada é definida como:

$$L = [\theta L_N^\rho + (1 - \theta) L_V^\rho]^{\frac{1}{\rho}},$$

onde:

- $L_N$  e são os insumos de mão de obra de trabalhadores não vulneráveis e vulneráveis, respectivamente,  $L_V$
- $\theta$  é o peso dos trabalhadores não vulneráveis,
- $\rho = 1 - \frac{1}{\sigma}$ , e é a elasticidade de substituição entre e.  $\sigma > 0 L_N L_V$

A produtividade dos trabalhadores vulneráveis () é dada por:  $P_V$

$$P_V = A_V \cdot X_V^{\phi_V} \cdot e^{-\beta T_d^2}.$$

Como diminui exponencialmente com , a contribuição efetiva de para diminui:  $P_V T_d L_V L$

$$L_V^{\text{effective}} = L_V \cdot P_V.$$

Substituindo a expressão por , temos:  $L_V^{\text{effective}} L$

$$L = [\theta L_N^\rho + (1 - \theta)(L_V \cdot P_V)^\rho]^{\frac{1}{\rho}}.$$

Para analisar o efeito de em , tomamos a derivada de em relação a , garantindo  $T_d L L T_d L_V > 0$

$$\frac{\partial L}{\partial T_d} = \frac{\partial}{\partial T_d} [\theta L_N^\rho + (1 - \theta)(L_V \cdot P_V)^\rho]^{\frac{1}{\rho}}.$$

Usando a regra da cadeia:

$$\frac{\partial L}{\partial T_d} = \frac{1}{\rho} \cdot [\theta L_N^\rho + (1 - \theta)(L_V \cdot P_V)^\rho]^{\frac{1}{\rho}-1} \cdot (1 - \theta) \cdot \rho (L_V \cdot P_V)^{\rho-1} \cdot \frac{\partial (L_V \cdot P_V)}{\partial T_d}.$$

O termo é dado por:  $\frac{\partial (L_V \cdot P_V)}{\partial T_d}$

$$\frac{\partial(L_V \cdot P_V)}{\partial T_d} = L_V \cdot \frac{\partial P_V}{\partial T_d}.$$

Desde , temos:  $P_V = A_V \cdot X_V^{\phi_V} \cdot e^{-\beta T_d^2}$

$$\frac{\partial P_V}{\partial T_d} = -2\beta T_d \cdot A_V \cdot X_V^{\phi_V} \cdot e^{-\beta T_d^2}.$$

Assim:

$$\frac{\partial(L_V \cdot P_V)}{\partial T_d} = -2\beta T_d \cdot L_V \cdot A_V \cdot X_V^{\phi_V} \cdot e^{-\beta T_d^2}.$$

Substituindo de volta:

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial T_d} &= \frac{1}{\rho} \cdot [\theta L_N^\rho + (1-\theta)(L_V \cdot P_V)^\rho]^{\frac{1}{\rho}-1} \cdot (1-\theta) \cdot \rho (L_V \cdot P_V)^{\rho-1} \\ &\cdot (-2\beta T_d \cdot L_V \cdot A_V \cdot X_V^{\phi_V} \cdot e^{-\beta T_d^2}). \end{aligned}$$

Desde , , indicando que diminui à medida que aumenta. Uma diminuição representa uma redução na mão de obra efetiva utilizada na produção. Como a oferta total de trabalho permanece constante, essa redução na mão de obra utilizada implica um aumento no desemprego. Assim, o desemprego aumenta à medida que aumenta, desde  $L_V > 0 \frac{\partial L}{\partial T_d} < 0 \Rightarrow L_T d L_T d L_V > 0$

Teorema 2: A razão entre e aumenta com  $w_N w_V T_d$

Declaração: A proporção entre os salários dos trabalhadores não vulneráveis () e dos trabalhadores vulneráveis () aumenta à medida que o desvio de temperatura () aumenta. Formalmente, deve ser demonstrado que:  $w_N w_V T_d$

$$\frac{\partial}{\partial T_d} \left( \frac{w_N}{w_V} \right) > 0,$$

assumindo que é penalizado exponencialmente devido a , enquanto é afetado apenas indiretamente.  $w_V T_d w_N$

Prova:

Os salários dos trabalhadores não vulneráveis e vulneráveis são dados por:

$$w_N = \frac{P_N}{\eta}, \quad w_V = \frac{P_V}{\eta},$$

onde:

- $P_N$  e são as produtividades marginais de trabalhadores não vulneráveis e vulneráveis, respectivamente,  $P_V$
- $\eta > 1$  representa o grau de poder de mercado da empresa.

A produtividade dos trabalhadores vulneráveis é diretamente afetada por , como:  $T_d$

$$P_V = A_V \cdot X_V^{\phi_V} \cdot e^{-\beta T_d^2}.$$

Assim, o salário dos trabalhadores vulneráveis depende exponencialmente de:  $T_d$

$$w_V = \frac{A_V \cdot X_V^{\phi_V} \cdot e^{-\beta T_d^2}}{\eta}.$$

A produtividade dos trabalhadores não vulneráveis () é independente de diretamente, mas pode ser afetada indiretamente por meio de mudanças na entrada de trabalho agregada () ou na produção total (). Para simplificar, suponha que permaneça aproximadamente constante ou mude marginalmente em relação a  $P_N T_d L Q P_N P_V$

A proporção de salários é:

$$\frac{w_N}{w_V} = \frac{P_N}{P_V}.$$

Substituindo:  $P_V$

$$\frac{w_N}{w_V} = \frac{P_N}{A_V \cdot X_V^{\phi_V} \cdot e^{-\beta T_d^2}}.$$

Tomando a derivada em relação a  $T_d$

$$\frac{\partial}{\partial T_d} \left( \frac{w_N}{w_V} \right) = \frac{\partial}{\partial T_d} \left( \frac{P_N}{A_V \cdot X_V^{\phi_V} \cdot e^{-\beta T_d^2}} \right).$$

Uma vez que , , e são constantes em relação a , a derivada torna-se:  $P_N A_V X_V T_d$

$$\frac{\partial}{\partial T_d} \left( \frac{w_N}{w_V} \right) = \frac{P_N}{A_V \cdot X_V^{\phi_V}} \cdot \frac{\partial}{\partial T_d} \left( e^{\beta T_d^2} \right).$$

A derivada de é:  $e^{\beta T_d^2}$

$$\frac{\partial}{\partial T_d} \left( e^{\beta T_d^2} \right) = 2\beta T_d \cdot e^{\beta T_d^2}.$$

Substituindo de volta:

$$\frac{\partial}{\partial T_d} \left( \frac{w_N}{w_V} \right) = \frac{P_N}{A_V \cdot X_V^{\phi_V}} \cdot 2\beta T_d \cdot e^{\beta T_d^2}.$$

Uma vez que todos os termos (, , , e ) são positivos, e , segue-se que:  $P_N A_V X_V^{\phi_V} \beta e^{\beta T_d^2} T_d > 0$

$$\frac{\partial}{\partial T_d} \left( \frac{w_N}{w_V} \right) > 0.$$

Assim, a razão entre e aumenta com , porque diminui exponencialmente com devido à penalidade em , enquanto é afetado menos diretamente.  $w_N w_V T_d w_V T_d P_V w_N$

Teorema 3: A relação entre os lucros da empresa e os custos totais de mão de obra diminui à medida que aumenta  $T_d$

Declaração: A relação entre os lucros da empresa ( $\Pi$ ) e seus custos totais de mão de obra ( $C_L$ ) diminui à medida que o desvio de temperatura ( $T_d$ ) aumenta. Formalmente:  $\Pi \propto T_d C_L$

$$\frac{\partial}{\partial T_d} \left( \frac{\Pi}{C_L} \right) < 0,$$

considerando que a produção total da empresa ( $Q$ ) diminui com  $T_d$ , enquanto os custos totais da mão-de-obra ( $C_L$ ) aumentam devido a uma maior demanda por trabalhadores não vulneráveis ( $L_V$ ).  $Q \propto T_d C_L L_V$

Prova:

1. *Lucros da empresa* ( $\Pi$ ):  $\Pi$  O lucro da empresa é definido como:

$$\Pi = P \cdot Q - C_L,$$

onde:

- $P$  é o preço do produto (constante assumida),
- $Q$  é a produção total, e
- $C_L$  é o custo total da mão de obra.

A produção total ( $Q$ ) é dada por:  $Q = A \cdot K^\alpha \cdot L^{1-\alpha}$ ,

$$Q = A \cdot K^\alpha \cdot L^{1-\alpha},$$

onde é a entrada de trabalho agregada:  $L$

$$L = [\theta L_N^\rho + (1 - \theta)L_V^\rho]^{\frac{1}{\rho}}.$$

Como mostrado no Lema 3, diminui à medida que aumenta porque é penalizado exponencialmente:  $Q \propto T_d L_V$

$$L_V^{\text{effective}} = L_V \cdot e^{-\beta T_d^2}.$$

Assim, diminui com  $T_d$ , reduzindo os lucros gerais da empresa ( $\Pi$ ).  $Q \propto T_d \Pi$

2. *Custos totais de mão de obra* ( $C_L$ ):  $C_L$  O custo total de mão de obra é dado por:

$$C_L = w_N \cdot L_N + w_V \cdot L_V.$$

- $w_V$  é diretamente penalizado por  $T_d$ , pois diminui exponencialmente:  $w_V \propto e^{-\beta T_d^2}$

$$w_V = \frac{P_V}{\eta}, \quad P_V = A_V \cdot X_V^{\phi_V} \cdot e^{-\beta T_d^2}.$$

- À medida que aumenta, diminui, mas aumenta devido à substituição de trabalhadores não vulneráveis por trabalhadores vulneráveis. Essa substituição leva a uma contribuição de custo mais alta de  $w_V L_N w_N \cdot L_N$

No geral, aumenta com  $T_d$ , à medida que a demanda por aumenta e geralmente é maior que

$$. C_L T_d L_N w_N w_V$$

3. *Relação entre lucros e custos* ( $\frac{\Pi}{C_L}$ ): A relação entre lucros e custos é:

$$\frac{\Pi}{C_L} = \frac{P \cdot Q - C_L}{C_L}.$$

Tomando a derivada em relação a  $T_d$

$$\frac{\partial}{\partial T_d} \left( \frac{\Pi}{C_L} \right) = \frac{\frac{\partial}{\partial T_d} (P \cdot Q - C_L) \cdot C_L - (P \cdot Q - C_L) \cdot \frac{\partial C_L}{\partial T_d}}{C_L^2}.$$

- À medida que aumenta:  $T_d$
- $Q$  diminui, então, reduzindo,  $\frac{\partial Q}{\partial T_d} < 0$
- $C_L$  devido a uma maior demanda e custos crescentes.  $L_N$

O numerador é dominado pela redução em  $Q$  e pelo aumento em  $C_L$ , ambos os quais contribuem negativamente para a proporção. Desde, concluímos:  $P \cdot Q C_L C_L^2 > 0$

$$\frac{\partial}{\partial T_d} \left( \frac{\Pi}{C_L} \right) < 0.$$

Assim, a proporção de lucros para custos de mão de obra diminui à medida que aumenta. Isso acontece porque diminui devido à redução da produtividade dos trabalhadores vulneráveis (), enquanto aumenta devido à maior dependência de trabalhadores não vulneráveis () e seus custos mais altos.  $T_d Q P_V C_L L_N$

Teorema 4: O impacto sobre os lucros () é amplificado para empresas com maior proporção de trabalhadores vulneráveis  $T_d \Pi$

Declaração: O impacto do desvio de temperatura () nos lucros da empresa () é amplificado para empresas que têm uma proporção maior de trabalhadores vulneráveis (ou seja, empresas com mais de 0). Formalmente, deve ser demonstrado que:  $T_d \Pi \theta$

$$\frac{\partial^2 \Pi}{\partial T_d \partial \theta} > 0,$$

Considerando que as empresas com são mais sensíveis ao impacto de  $\theta \rightarrow 0$

Prova:

1. *Lucros da empresa ()*:  $\Pi$  A função de lucro é:

$$\Pi = P \cdot Q - C_L,$$

onde:

- $P$  é o preço do produto (constante assumida),
- $Q$  é a produção total da empresa,
- $C_L$  é o custo total de mão de obra da empresa.

A produção total () é dada por:  $Q$

$$Q = A \cdot K^\alpha \cdot L^{1-\alpha},$$

onde é a entrada de trabalho agregada: $L$

$$L = [\theta L_N^\rho + (1-\theta)L_V^\rho]^{\frac{1}{\rho}}.$$

À medida que aumenta, a produtividade dos trabalhadores vulneráveis ( $\theta$ ) é penalizada exponencialmente:  $T_d P_V$

$$P_V = A_V \cdot X_V^{\phi_V} \cdot e^{-\beta T_d^2}.$$

Isso reduz a contribuição efetiva de para  $P_V$ , impactando mais severamente para empresas com menor  $\theta$ , pois sua produção depende mais fortemente de trabalhadores vulneráveis.  $L_V L Q \theta$

2. *Custos totais de mão de obra* ( $C_L$ ): O custo total de mão de obra é:

$$C_L = w_N \cdot L_N + w_V \cdot L_V.$$

- $w_V$  diminui com  $\theta$ , mas seu impacto em  $C_L$  é menor para empresas com alta ( $\theta$ ) que dependem menos de  $P_V$ . Por outro lado, para empresas com  $\theta$ , o declínio tem um efeito mais significativo sobre porque domina a alocação de mão de obra.  $T_d C_L \theta L_V \theta \rightarrow 0 w_V C_L L_V$

3. *Derivativo Parcial Misto* ( $\frac{\partial^2 \Pi}{\partial T_d \partial \theta}$ ): Tomando o primeiro derivado dos lucros em relação a  $T_d$

$$\frac{\partial \Pi}{\partial T_d} = \frac{\partial(P \cdot Q)}{\partial T_d} - \frac{\partial C_L}{\partial T_d}.$$

O termo é negativo, pois diminui devido ao declínio em  $\frac{\partial Q}{\partial T_d} Q T_d L_V$

$$\frac{\partial Q}{\partial T_d} = A \cdot K^\alpha \cdot (1-\alpha) \cdot L^{-\alpha} \cdot \frac{\partial L}{\partial T_d}.$$

A mão-de-obra depende de:  $L \theta$

$$\frac{\partial L}{\partial T_d} = \frac{1}{\rho} \cdot [\theta L_N^\rho + (1-\theta)L_V^\rho]^{\frac{1}{\rho}-1} \cdot (1-\theta) \cdot \rho \cdot (L_V \cdot P_V)^{\rho-1} \cdot \frac{\partial(L_V \cdot P_V)}{\partial T_d}.$$

Agora considere a segunda derivada dos lucros com relação a  $\theta$ :  $\frac{\partial^2 \Pi}{\partial T_d \partial \theta}$

$$\frac{\partial^2 \Pi}{\partial T_d \partial \theta} = \frac{\partial^2(P \cdot Q)}{\partial T_d \partial \theta} - \frac{\partial^2 C_L}{\partial T_d \partial \theta}.$$

Para  $\theta$ , como  $\theta$ , a dependência de  $\theta$  em torna-se mais forte, amplificando o impacto de sobre os lucros. Especificamente:  $\frac{\partial^2(P \cdot Q)}{\partial T_d \partial \theta} \theta \rightarrow 0 Q L_V T_d$

- Para baixo, uma pequena mudança em  $\theta$  causa uma grande redução em  $C_L$ , porque a empresa depende muito de  $P_V$ , que é sensível a  $\theta$ .  $\theta T_d Q L_V T_d$

Para  $\theta$ , como  $\theta$ , o custo total da mão de obra da empresa é cada vez mais dominado por  $P_V$ , e as mudanças em  $\theta$  (que diminui com  $\theta$ ) amplificam as mudanças em  $\theta$ .  $\frac{\partial^2 C_L}{\partial T_d \partial \theta} \theta \rightarrow 0 L_V w_V T_d C_L$

Combinando estes efeitos:

$$\frac{\partial^2 \Pi}{\partial T_d \partial \theta} > 0,$$

porque a redução e o aumento em devido a são mais pronunciados para empresas com menor  $.QC_L T_d \theta$

Assim, o impacto sobre os lucros () é amplificado para empresas com maior proporção de trabalhadores vulneráveis ( $.T_d \Pi \theta \rightarrow 0$ )

#### 4 CONCLUSÃO

Este estudo investiga o impacto da variabilidade climática na produtividade de trabalhadores vulneráveis e não vulneráveis. Ele aborda como os desvios nas condições ideais de temperatura influenciam os mercados de trabalho, enfatizando particularmente a disparidade entre esses dois grupos de trabalhadores.

A fundamentação teórica baseia-se em modelos de estresse térmico, teorias psicossociais do trabalho e princípios de justiça climática. Essas estruturas elucidam os efeitos fisiológicos, psicológicos e econômicos dos estressores climáticos na produtividade do trabalho, enfatizando seu impacto desproporcional sobre os trabalhadores vulneráveis.

Nossa pesquisa utiliza um modelo de produção Cobb-Douglas com função CES para diferenciar a dinâmica de produtividade entre trabalhadores vulneráveis () e não vulneráveis (). Os resultados demonstram que a produtividade para trabalhadores vulneráveis diminui exponencialmente à medida que a temperatura se desvia da faixa ótima (), capturada pelo termo penalidade , onde representa a sensibilidade às mudanças de temperatura. As empresas, enfrentando produtividade reduzida em trabalhadores vulneráveis, mudam sua dependência para mão de obra não vulnerável. Essa transição intensifica as desigualdades de renda e emprego existentes. A elasticidade da substituição () influencia ainda mais essa dinâmica, ditando a facilidade com que as empresas substituem o trabalho vulnerável. Nossas descobertas destacam quedas significativas de produtividade e disparidades salariais, particularmente em setores sensíveis ao clima.  $L_V L_N T_d = |T - T_0| e^{-\beta T_d^2} \beta \sigma$

A integração desses resultados com os marcos teóricos revela que as perdas de produtividade induzidas pelo clima exacerbam as desigualdades sociais, alinhando-se ao conceito de justiça climática. Trabalhadores vulneráveis, muitas vezes empregados em funções de baixa renda e uso intensivo de atividades ao ar livre, enfrentam insegurança no emprego ampliada e potencial de ganho reduzido. Estressores psicossociais, como aumento da tensão mental e riscos à saúde, agravam esses desafios, ressaltando a necessidade de políticas que promovam estratégias de adaptação equitativas.

As estruturas de resiliência da comunidade também sugerem que redes sociais robustas podem mitigar alguns efeitos adversos, oferecendo caminhos para melhorar a adaptabilidade do trabalhador.

Dadas essas descobertas, pesquisas futuras devem explorar intervenções políticas voltadas para desigualdades estruturais. Isso pode incluir investimentos em tecnologia para proteger trabalhadores vulneráveis de riscos ambientais ou iniciativas destinadas a melhorar os sistemas de apoio comunitário. Expandir o modelo para incorporar dados longitudinais sobre mobilidade de mão de obra e comportamento da empresa em resposta a estratégias de adaptação climática forneceria uma compreensão mais aprofundada das práticas de trabalho sustentáveis em meio a um clima em mudança.

## REFERÊNCIAS

Akanni, A., Ajila, C., Omisile, I., & Ndubueze, K. (2021). Mediating effect of work self-efficacy on the relationship between psychosocial safety climate and workplace safety behaviors among bank employees after COVID-19 lockdown. *\*Central European Management Journal*, 29\*(1), 2-13.

Backström, T., & Berglund, R. (2022). Interaction training – an enabler for improvement measures within the psychosocial risk assessment process. *\*International Journal of Workplace Health Management*, 15\*(5), 553-571.

Cáceres, C., Leiva-Bianchi, M., Ormazábal, Y., Mena, C., & Cantillana, J. (2022). Post-traumatic stress in people from the interior drylands of the Maule region, Chile in the context of climate change. *\*Geospatial Health*, 17\*(1).

Dollard, M., Dormann, C., Tuckey, M., & Escartín, J. (2017). Psychosocial safety climate (PSC) and enacted PSC for workplace bullying and psychological health problem reduction. *\*European Journal of Work and Organizational Psychology*, 26\*(6), 844-857.

Ellehave, S. (2023). Initial programme theory development: The first step in a realist evaluation of a cross-sectoral intervention for expectant Danish parents living with psychosocial risks. *\*PLOS One*, 18\*(12), e0295378.

Jameson, S., & Parkinson, L. (2021). Work-related well-being of personal care attendants employed in the aged care sector: prevalence and predictors of compassion fatigue. *\*Australasian Journal on Ageing*, 41\*(2).

Khan, R. (2016). Impact of ethical leadership on followers' organizational deviance, mediating role of psychosocial safety climate, moderating role of union commitment: A study in the context of Pakistan. *\*Jinnah Business Review*, 4\*(2), 9-22.

Kori, D. (2023). The psychosocial impact of climate change among smallholder farmers: A potential threat to sustainable development. *\*Frontiers in Psychology*, 14.\*

Lawrie, E., Tuckey, M., & Dollard, M. (2018). Job design for mindful work: the boosting effect of psychosocial safety climate. *\*Journal of Occupational Health Psychology*, 23\*(4), 483-495.

Lehuluante, A., Nilsson, A., & Edvardsson, D. (2011). The influence of a person-centred psychosocial unit climate on satisfaction with care and work. *\*Journal of Nursing Management*, 20\*(3), 319-325.

Manapragada, A., Bruk-Lee, V., Thompson, A., & Heron, L. (2019). When safety climate is not enough: Examining the moderating effects of psychosocial hazards on nurse safety performance. *\*Journal of Advanced Nursing*, 75\*(6), 1207-1218.

Miller, M., Nwosu, C., Nyamwanza, A., & Jacobs, P. (2023). Assessing psychosocial health impacts of climate adaptation: a critical review. *\*New Solutions: A Journal of Environmental and Occupational Health Policy*, 33\*(1), 37-50.

Saastamoinen, P., Laaksonen, M., Lahelma, E., Lallukka, T., Pietiläinen, O., & Rahkonen, O. (2013). Changes in working conditions and subsequent sickness absence. *\*Scandinavian Journal of Work Environment & Health*, 40\*(1), 82-88.

Seddighi, H., Dollard, M., & Salmani, I. (2020). Psychosocial safety climate of employees during the COVID-19 pandemic in Iran: a policy analysis. *\*Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 16\*(2), 438-444.

Taibi, Y., Metzler, Y., Bellingrath, S., Neuhaus, C., & Müller, A. (2022). Applying risk matrices for assessing the risk of psychosocial hazards at work. *\*Frontiers in Public Health*, 10.\*

Toropova, A., Rödlund, A., Björklund, C., Elinder, L., Jensen, I., & Kwak, L. (2023). The effectiveness of implementing the guideline for the prevention of mental ill-health problems at the workplace on health outcomes, organizational, and social risk factors: A cluster-randomized controlled trial in Swedish schools. *\*Scandinavian Journal of Work Environment & Health*, 49\*(6), 428-438.

Trott, C. (2019). Reshaping our world: Collaborating with children for community-based climate change action. *\*Action Research*, 17\*(1), 42-62.

Tyagi, A., & Carley, K. (2021). Climate change conspiracy theories on social media.

Ulhassan, W., Schwarz, U., Thor, J., & Westerlund, H. (2014). Interactions between lean management and the psychosocial work environment in a hospital setting – a multi-method study. *\*BMC Health Services Research*, 14\*(1).

Zadow, A., Dollard, M., McLinton, S., Lawrence, P., & Tuckey, M. (2017). Psychosocial safety climate, emotional exhaustion, and work injuries in healthcare workplaces. *\*Stress and Health*, 33\*(5), 558-569.