



II CIGELUBRA

Congresso Internacional de Gestão e Engenharia Luso-Brasileiro

03 a 05 de dezembro de 2025

As Engenharias na Transformação Digital das PMEs

Inteligência Geográfica para a Resiliência a Desastres: Clusterização para Apoiar o Planejamento Estratégico da Defesa Civil do Paraná

Felipe Carvalho da Silva

Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas - UFSC

Ricardo Villarroel Dávalos

Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas – UFSC

Daniel Lorenzetto

Centro de Estudos e Pesquisas sobre Desastres – CEPED/PR

Fabiana Santos Lima

Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica - UFSC

Resumo: O estado de Paraná apresenta uma vulnerabilidade significativa de eventos climáticos extremos, como enchentes, deslizamentos de terra e tempestades severas. A Logística Humanitária é uma área importante que apoia a gestão de desastres, exigindo um planejamento proativo que supere os desafios de coordenação e alocação de recursos. Este estudo foca na aplicação da análise de dados para o planejamento da Coordenadoria Estadual da Defesa Civil do Paraná (CEDEC-PR), partindo do problema de que políticas uniformes são ineficientes por não considerarem as distintas vulnerabilidades de cada região. O objetivo do artigo é propor a aplicação de técnicas de clusterização para segmentar o estado em microrregiões com perfis de risco de desastres semelhantes, visando otimizar a preparação e a resposta a emergências. Para isso, foi utilizado o algoritmo k-means em uma série histórica de 15 anos de ocorrências de desastres. A pesquisa resultou na identificação de quatro clusters distintos, cada um com características predominantes: um com risco concentrado em enxurradas e granizo; um com risco predominante de estiagem e alto impacto no agronegócio; um com perfil hidrometeorológico severo e componente biológico; e um cluster mais abrangente com risco diversificado. Os resultados oferecem subsídios estratégicos para políticas públicas regionais e planos de contingência da Defesa Civil.

Palavras-chave: Logística Humanitária, Análise de Cluster, Gestão de Desastres, Planejamento Regional.

Geographic Intelligence for Disaster Resilience: Clustering for the Strategic Planning of Civil Defense in Paraná

Abstract: The state of Paraná faces significant vulnerability to extreme weather events such as floods, landslides, and severe storms. Humanitarian Logistics is a key field that supports disaster management, requiring proactive planning to overcome challenges of coordination and resource allocation. This study focuses on the application of data analysis for the planning of the State Civil Defense Coordination of Paraná (CEDEC-PR), addressing the problem that uniform policies are inefficient because they fail to account for the distinct vulnerabilities of each region. The objective of this article is to propose the application of clustering techniques to segment the state into micro-regions with similar disaster risk profiles, aiming to optimize preparedness and emergency response. To achieve this, the k-means algorithm was applied to a 15-year historical series of disaster

occurrences. The research identified four distinct clusters, each with predominant characteristics: one with risk concentrated in flash floods and hailstorms; one with a predominant risk of drought and high impact on agribusiness; one with a severe hydrometeorological profile combined with a biological component; and a broader cluster with diversified risk. The results provide strategic inputs for regional public policies and contingency plans for Civil Defense.

Keywords: Humanitarian Logistics, Cluster Analysis, Disaster Management, Regional Planning.

1. Introdução

As mudanças climáticas extremas, que acontecem principalmente pelo aquecimento global, podem ser um dos primeiros fatores a revelar esse aumento dos eventos adversos na Região Sul do Brasil.

É importante destacar que 2023 foi o ano mais quente da história já registrado no país. Dados divulgados pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - CEMADEN confirmam que o número de desastres naturais chega a 608 e bate recorde no estado de Paraná neste ano (CEMADEN, 2024).

Os eventos climáticos extremos do estado do Paraná incluem: secas, inundações, enxurradas, deslizamento de terra, incêndios florestais, tempestades fortes e outros. Eles são influenciados por fatores climáticos regionais, como a topografia, e globais, como os fenômenos El Niño, La Niña, ENOS entre outros (INMET, 2024).

A crescente incidência de desastres naturais extremos no Brasil exige uma mudança de paradigma na gestão de emergências, migrando de um modelo puramente reativo para uma abordagem proativa, focada na preparação e no planejamento. Nesse contexto, a Logística Humanitária (LH) surge como uma área importante da Engenharia de Produção, responsável por garantir que a ajuda chegue de forma rápida e eficiente às populações afetadas (COSTA et al., 2015). A eficácia da resposta humanitária está intrinsecamente ligada à capacidade de coordenação entre múltiplos atores e à gestão otimizada de recursos escassos em um ambiente caótico (JAHRE; JENSEN, 2010). Afunilando para o escopo deste trabalho, uma das estratégias mais promissoras para superar tais desafios é a formação de clusters logísticos, que consistem na criação de agrupamentos — seja de municípios, recursos ou centros de distribuição — com base em critérios como similaridade de risco e vulnerabilidade, permitindo o desenvolvimento de planos de contingência regionalizados (LIMA et al., 2014).

O problema central que aborda esta pesquisa é a aplicação de técnicas de clusterização no planejamento de operações humanitárias no Brasil, que apesar de seus benefícios evidentes, a aplicação destas ainda é incipiente. No estado do Paraná, por exemplo, as estratégias de resposta são centralizadas e para isto nem sempre contam com uma análise prévia que considere as particularidades de cada região, podendo resultar em possíveis conflitos quando um desastre ocorre. A literatura aponta a necessidade de modelos que possam identificar regiões com características de desastre semelhantes para padronizar e aprimorar os processos de tomada de decisão (LIMA et al., 2014), constituindo uma lacuna de pesquisa relevante. Apesar dos avanços metodológicos, poucos estudos aplicam técnicas de clusterização em escala estadual para subsidiar políticas públicas de defesa civil.

Diante desta problemática, o objetivo deste artigo é propor e aplicar técnicas para apoiar a formação de clusters de municípios nas microrregiões do estado do Paraná, com base em seu histórico de desastres naturais extremos.

Para atingir tal objetivo, considera-se uma base de dados secundários históricos, fornecidos pela Coordenadoria Estadual da Defesa Civil (CEDEC-PR), sobre ocorrências de desastres.

Este artigo está dividido em cinco seções. A primeira, esta introdução, contextualiza a Logística Humanitária, descreve o problema da falta de planejamento regionalizado e aponta o objetivo da pesquisa. A segunda seção apresenta a revisão teórica sobre os conceitos de cadeia de suprimentos humanitária, coordenação e a abordagem de clusters. A terceira seção detalha a metodologia de pesquisa, incluindo as etapas de coleta, tratamento e análise dos dados. A quarta seção apresenta e discute os resultados da clusterização dos municípios do Paraná. Por fim, a quinta seção traz as conclusões do trabalho, suas limitações e sugestões para pesquisas futuras.

2. Referencial Teórico

Nesta seção, são apresentados os conceitos fundamentais que embasam este trabalho. A abordagem parte dos desafios gerais da Cadeia de Suprimentos Humanitária (CSH), afunila para a importância da coordenação em desastres e, por fim, detalha a clusterização geográfica como ferramenta estratégica para o planejamento de operações.

2.1. A Cadeia de Suprimentos Humanitária e os Desafios da Resposta a Desastres

A LH é definida como o processo de planejar, implementar e controlar o fluxo de bens, serviços e informações de forma eficiente, desde o ponto de origem até o de consumo, com o propósito de aliviar o sofrimento de populações vulneráveis (COSTA et al., 2015).

Diferentemente da logística comercial, a CSH opera em um ambiente de extrema incerteza e urgência, onde o sucesso é medido pela rapidez e eficácia da resposta. A análise de grandes desastres revela que, apesar dos avanços, as operações humanitárias ainda enfrentam desafios recorrentes, como falhas na avaliação de necessidades, distribuição ineficiente de recursos e a dificuldade em gerir a chegada massiva de doações não solicitadas (COSTA et al., 2015).

A fase de preparação é, portanto, crucial e envolve atividades como mapeamento de riscos e planejamento de contingência para mitigar esses desafios (AQUINO, 2024).

2.2. A Coordenação como Fator Crítico de Sucesso em Operações Humanitárias

A falta de coordenação é apontada pela literatura como um dos principais entraves para a eficácia da resposta humanitária. O cenário pós-desastre é caracterizado pela atuação simultânea de múltiplos atores — agências da ONU, ONGs, governos, militares e sociedade civil — com diferentes culturas organizacionais, mandatos e procedimentos (JAHRE; JENSEN, 2010). Essa diversidade, se não for bem gerenciada, pode levar à sobreposição de esforços em algumas áreas e à negligência de outras, resultando no que alguns autores chamam de "segundo desastre".

Para endereçar esse problema, a comunidade internacional instituiu a "Abordagem de Cluster" (Cluster Approach), um sistema liderado pela ONU que organiza os atores humanitários em setores funcionais (Logística, Saúde, Abrigo). O objetivo é melhorar a coordenação dentro de cada especialidade (JAHRE; JENSEN, 2010). Embora essa abordagem organize a resposta em nível funcional, ela inspira a busca por outras formas de agrupamento que possam otimizar o planejamento em nível territorial antes mesmo que o desastre ocorra.

2.3. A Clusterização Geográfica como Ferramenta para o Planejamento

A clusterização é amplamente utilizada em diversas áreas, e consiste na extração do conhecimento de bases de dados que tem o objetivo de encontrar o conhecimento a partir de um conjunto de dados para ser utilizado no processo decisório. Sua característica principal é multidisciplinar e engloba o desenvolvimento de modelos aplicáveis a fenômenos em engenharia nas diversas escalas: espacial, temporal e multivariada.

É uma técnica de aprendizado de máquina (*machine learning*) não supervisionada e que concentra as técnicas: K-means; Hierarchical Clustering, DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise), Redes Neurais, Inteligência Artificial, dentre outras (GIORDANI et al.; 2020).

Assim por exemplo o algoritmo *k-means* realiza uma sequência de procedimentos iterativos que formam *k clusters* esféricos compactos com o objetivo de minimizar a Equação 1.

$$J = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K \mu_{kj} D^2(z_k, x_j) \quad (1)$$

Onde μ_{kj} é o cluster central e $D^2(z_k, x_j)$, representa a distância euclidiana de x_j para z_k , e $z_1, z_2, \dots, z_k$ são os centroides dos *clusters*.

Este algoritmo é inicializado aleatoriamente com os *k* centroides. Esses são utilizados para dividir os dados, atribuindo cada ponto para o seu centro mais próximo. Sucessivamente, para cada *cluster*, o valor médio de todos os pontos de dados que lhe foram atribuídas é calculado, e isto é considerado como o novo centro. Isso completa uma iteração do *k-means clustering*. Em seguida, a iteração usa os centros recém-calculados para reatribuição dos pontos de dados aos *k clusters* e o processo continua até que a medida de *J* cai abaixo de um determinado limite ou um número máximo de iterações já foram executados.

Transpondo o conceito de agrupamento para a análise de dados, a clusterização geográfica surge como uma importante ferramenta de Engenharia de Produção para apoiar a fase de preparação. O estudo de caso consiste em agrupar municípios ou regiões com base em características semelhantes, como o tipo, a frequência e a magnitude dos desastres que historicamente os afetam, utilizando técnicas de mineração de dados (LIMA et al., 2014). A premissa é que, ao identificar regiões com perfis de risco similares, é possível padronizar e aprimorar os métodos de prevenção e resposta. Lima et al. (2014) demonstraram a viabilidade dessa abordagem ao aplicá-la no estado de Santa Catarina, identificando, por exemplo, um cluster de municípios propenso a estiagens e outro com alta incidência de enxurradas.

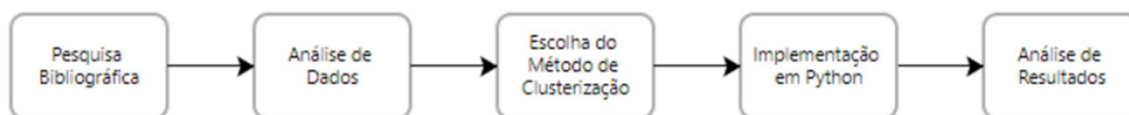
O conhecimento gerado pela análise dos clusters permite extrair informações valiosas para auxiliar os processos de tomada de decisão, como definir os tipos de suprimentos a serem pré-posicionados em cada região e compartilhar experiências entre municípios com vulnerabilidades comuns (LIMA et al., 2014).

Este tipo de estudo se insere diretamente no campo de pesquisa de "preparação para desastres", identificado por Patil e Madaan (2022) como um dos principais clusters de pesquisa na literatura de CSH, reforçando sua relevância acadêmica e prática. Estudos recentes indicam a crescente utilização de algoritmos de *machine learning* em logística humanitária, ampliando o potencial preditivo e a capacidade de planejamento (PATEL et al., 2024).

3. Metodologia

A metodologia adotada neste artigo pode ser considerada, de acordo com Miguel (2007), como um estudo de caso empírico, em que um determinado fenômeno é investigado dentro de um contexto real da vida, quando as fronteiras entre o fenômeno e o seu contexto são indefinidas. O desenvolvimento desta pesquisa seguiu um roteiro metodológico estruturado em cinco etapas principais, que se iniciam na fundamentação teórica e culminam na análise dos resultados práticos, conforme Figura 1.

Figura 1 - Etapas metodológicas utilizadas neste artigo.



Fonte: Autores (2025).

3.1. Pesquisa Bibliográfica

A primeira etapa consiste em uma revisão da literatura sobre Logística Humanitária e Cadeias de Suprimentos Humanitárias. O objetivo foi compreender o estado da arte, identificar os principais desafios, como a coordenação em desastres. Essa pesquisa fundamentou a escolha da análise de cluster como uma abordagem relevante e com potencial de contribuição para a fase de preparação de desastres, posicionando o presente trabalho em relação a estudos anteriores, como os de Jahre e Jensen (2010) e de Patil e Madaan (2022).

3.2. Análise de Dados

A base da análise quantitativa foi o banco de dados de ocorrências de desastres naturais, compilado e fornecido pela CEDEC-PR, abrangendo o período de 2010 a 2024. O objeto de estudo foram os 399 municípios paranaenses. A partir deste banco, foram extraídas as frequências dos oito desastres mais recorrentes e com maior impacto logístico no estado: Alagamentos, Deslizamentos, Enxurradas, Estiagem, Granizo, Inundações, Vendavais e Tempestades. O tratamento dos dados resultou em uma matriz consolidada, servindo como insumo para a etapa seguinte.

3.3. Escolha do Método de Formação de Clusters

Com os dados tratados, a etapa seguinte foi a seleção da técnica de clusterização. Optou-se pelo método de particionamento não-hierárquico *k-means*, devido à sua robustez, eficiência computacional e ampla utilização em estudos similares na literatura para agrupamento de dados geográficos (LIMA et al., 2014). Para definir o número ideal de agrupamentos (*k*), foi empregado o método do cotovelo (*Elbow Method*), uma técnica que analisa a inércia dos clusters e identifica o ponto ótimo de equilíbrio.

3.4. Implementação em Python

A execução da análise de cluster foi realizada em ambiente Python, utilizando a plataforma Google Colab. Foram empregadas bibliotecas computacionais padrão para análise de dados, como Pandas para a manipulação da matriz de dados e *Scikit-learn* para a aplicação do algoritmo *k-means*. Como etapa de pré-processamento, os dados de frequência de desastres foram normalizados com a função *StandardScaler* para garantir que todas as variáveis tivessem a mesma escala e peso na definição dos clusters.

3.5. Análise de Resultados

Após a execução do algoritmo e a segmentação dos 399 municípios nos clusters, a etapa final consistiu na análise e interpretação dos grupos formados. Para cada cluster, foram analisados os seus centroides, que representam a média de ocorrência de cada tipo de desastre. A partir da análise desses valores, foi possível caracterizar o perfil de risco predominante de cada cluster, permitindo nomeá-los e descrevê-los, conforme apresentado na próxima seção.

4. Resultados

Esta seção apresenta os resultados obtidos com a aplicação da clusterização e discute suas implicações para o planejamento da LH no estado do Paraná. A análise está dividida em duas partes: primeiramente, a definição do número ideal de clusters e, em seguida, a caracterização detalhada de cada um dos grupos formados.

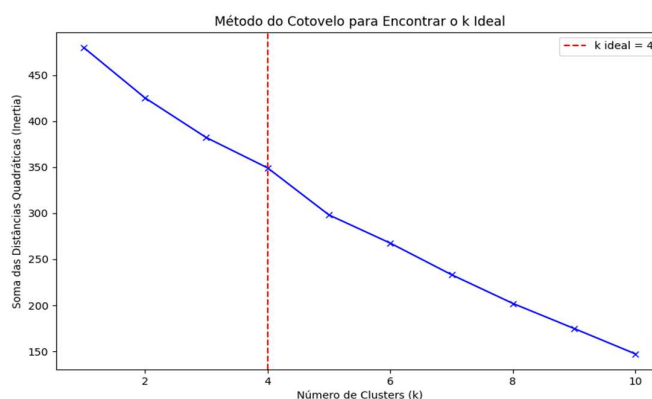
4.1. Definição do Número Ideal de Clusters

A escolha do número de clusters (k) é uma etapa crítica na análise de agrupamento, pois determina o nível de granularidade da segmentação dos dados. Uma escolha inadequada pode levar a agrupamentos pouco informativos ou a uma divisão excessiva que não revela padrões úteis. Para fundamentar essa decisão, foi utilizado o Método do Cotovelo.

Esta técnica consiste em executar o algoritmo k-means para uma gama de valores de k (neste estudo, de 1 a 10) e, para cada valor, calcular a "inércia", que é a soma das distâncias quadráticas de cada ponto de dados ao centroide do seu respectivo cluster. A inércia mede o quão coeso e compacto um cluster é. A lógica do método é que, ao aumentar o número de clusters, a inércia total sempre diminuirá.

No entanto, o ganho de explicação (redução da inércia) se torna marginal a partir de um certo ponto. Esse ponto, onde a curva de inércia se assemelha a um "cotovelo", indica o número ótimo de clusters, representando o melhor balanço entre o número de grupos e a coesão interna de cada um. Conforme visualizado no gráfico gerado pela análise (Figura 2), o ponto de inflexão mais nítido ocorreu em $k = 4$, sendo este o número de clusters adotado para a segmentação dos municípios paranaenses.

Figura 2 – Gráfico de análise do k .



Fonte: Autores (2025).

4.2. Análise e Caracterização dos Clusters

A aplicação do algoritmo k-means com $k = 4$ resultou na formação de quatro clusters distintos, cujos perfis revelam diferentes padrões de vulnerabilidade a desastres no território paranaense. A seguir, cada cluster é analisado em detalhe, conectando os dados encontrados com as implicações logísticas levantadas na pesquisa bibliográfica.

A análise integrada destes clusters demonstra a inadequação de uma política de planejamento logístico centralizada e uniforme para o estado do Paraná. A segmentação baseada em dados históricos, conforme realizado neste trabalho, fornece um diagnóstico estratégico que permite à CEDEC-PR melhorar a alocação de recursos, desenvolver treinamentos direcionados e, fundamentalmente, criar uma rede de resposta a desastres mais resiliente e adaptada às múltiplas realidades do seu território.

4.2.1. Cluster 0 - Risco Concentrado em Enxurradas e Tempestade

Este cluster é caracterizado por uma alta incidência de Enxurradas (0.35) e Granizo (0.25), conforme ilustrado na Figura 3. Embora afete um número menor de microrregiões, ele apresenta um alto impacto financeiro, especialmente no setor privado (média de R\$ 9,5 milhões). Isso sugere que os eventos, apesar de concentrados, têm um poder destrutivo significativo, provavelmente afetando áreas agrícolas e a infraestrutura local. A logística de resposta para esta região deve priorizar o rápido restabelecimento de acessos e o fornecimento de materiais de reconstrução, como telhas.

Figura 3 – Análise Estatística do Cluster 0.

```
--- Análise do Cluster 0 ---
Microrregiões no cluster: ['Guarapuava']
Média de Eventos Totais: 80.00
Média de Pessoas Afetadas: 177.44
Média de Prejuízo Público: R$ 1,221,587.74
Média de Prejuízo Privado: R$ 9,559,156.10

Características de frequência dos desastres (valores médios por cluster):
Enxurradas                                0.3500
Tempestade Local/Convectiva - Granizo     0.2500
Tempestade Local/Convectiva - Chuvas Intensas 0.2000
Estiagem                                   0.0875
Doenças infecciosas virais                 0.0375
```

Fonte: Autores (2025).

4.2.2. Cluster 1 - Risco Generalizado e Diversificado

Este é o cluster mais abrangente, englobando a maior parte do estado. Seu perfil de risco é diversificado, com Enxurradas (0.23) como o evento mais comum, mas também com presença relevante de Doenças Infecciosas Virais (0.18), Granizo (0.14), Vendavais (0.12) e Estiagem (0.12), conforme ilustrado na Figura 4. Este grupo apresenta a maior média de prejuízo privado (R\$ 11,5 milhões), indicando uma vulnerabilidade econômica disseminada. A complexidade deste cluster reside em sua heterogeneidade, exigindo uma capacidade logística versátil e descentralizada, capaz de responder a diferentes tipos de desastres em um vasto território.

Figura 4 – Análise Estatística do Cluster 1.

```
--- Análise do Cluster 1 ---
Microrregiões no cluster: ['Apucarana', 'Astorga', 'Campo Mourão', 'Capanema']
Média de Eventos Totais: 47.78
Média de Pessoas Afetadas: 185.36
Média de Prejuízo Público: R$ 1,132,927.25
Média de Prejuízo Privado: R$ 11,543,407.11

Características de frequência dos desastres (valores médios por cluster):
Enxurradas                                0.232311
Doenças infecciosas virais                 0.180401
Tempestade Local/Convectiva - Granizo     0.146612
Tempestade Local/Convectiva - Vendaval    0.121660
Estiagem                                   0.121541
```

Fonte: Autores (2025).

4.2.3. Cluster 2 - Risco Predominante de Estiagem

Este cluster é claramente definido pela Estiagem (0.24), conforme ilustrado na Figura 5, como o desastre mais frequente, seguido por Enxurradas (0.20). Apresenta a maior média de eventos totais (100) e o maior impacto financeiro privado médio (R\$ 15,4 milhões), o que evidencia o severo impacto econômico da falta de chuvas na produção agrícola da região oeste do Paraná. A logística para este cluster é de natureza mais prolongada e de sustentação, focada na gestão de recursos hídricos e no apoio ao setor produtivo. A presença de enxurradas indica a necessidade de um planejamento que considere também eventos extremos de chuva, um fenômeno paradoxal, mas comum em regimes climáticos em mudança.

Figura 5 – Análise Estatística do Cluster 2.

```
--- Análise do Cluster 2 ---  
Microrregiões no cluster: ['Cascavel']  
Média de Eventos Totais: 100.00  
Média de Pessoas Afetadas: 149.03  
Média de Prejuízo Público: R$ 2,004,241.51  
Média de Prejuízo Privado: R$ 15,487,463.18  
  
Características de frequência dos desastres (valores médios por cluster):  
Estiagem 0.24  
Enxurradas 0.20  
Tempestade Local/Convectiva - Chuvas Intensas 0.17  
Tempestade Local/Convectiva - Granizo 0.15  
Doenças infecciosas virais 0.12
```

Fonte: Autores (2025).

4.2.4. Cluster 3 - Risco Hidrometeorológico Severo

Concentrado na região litorânea, este cluster possui um perfil de risco único, conforme ilustrado na Figura 6, com alta frequência de Vendavais (0.34) e Chuvas Intensas (0.29). Um diferencial crítico é a presença significativa de Doenças Infecciosas Virais (0.15) como terceiro evento mais notificado. Este grupo também se destaca pela maior média de prejuízo público (R\$ 2,8 milhões), sugerindo um alto custo para o poder público na resposta e recuperação da infraestrutura. A gestão de desastres aqui exige uma abordagem integrada entre Defesa Civil e Saúde Pública, com protocolos que preparem a região tanto para tempestades severas quanto para as emergências de saúde que podem se seguir, como surtos de dengue ou leptospirose.

Figura 6 – Análise Estatística do Cluster 3.

```
--- Análise do Cluster 3 ---  
Microrregiões no cluster: ['Paranaguá']  
Média de Eventos Totais: 85.00  
Média de Pessoas Afetadas: 84.08  
Média de Prejuízo Público: R$ 2,852,251.21  
Média de Prejuízo Privado: R$ 5,732,513.61  
  
Características de frequência dos desastres (valores médios por cluster):  
Tempestade Local/Convectiva - Vendaval 0.341176  
Tempestade Local/Convectiva - Chuvas Intensas 0.294118  
Doenças infecciosas virais 0.152941  
Tempestade Local/Convectiva - Granizo 0.094118  
Enxurradas 0.082353
```

Fonte: Autores (2025).

4.3. Da Análise Municipal à Estratégia Regional: Agrupamento por Microrregiões

A análise em nível municipal, embora precisa, pode apresentar desafios para o planejamento estratégico em larga escala, uma vez que a gestão de recursos e a coordenação de ações são frequentemente realizadas em um nível regional. Para traduzir os achados da clusterização em uma ferramenta de gestão mais aplicável, os resultados foram agregados pela unidade das Microrregiões Geográficas do Paraná.

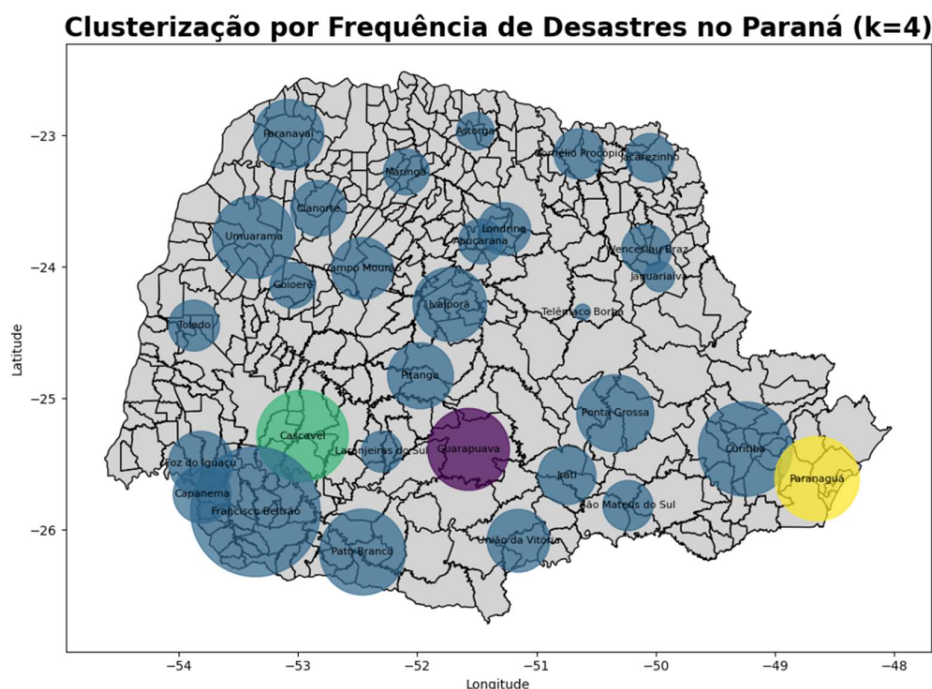
A escolha desta unidade de análise é fundamentada em sua definição pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

As microrregiões são agrupamentos de municípios limítrofes, criados com base na identificação de especificidades e similaridades quanto à organização do espaço, considerando as relações econômicas e sociais.

Segundo o IBGE, o critério para essa agregação é a existência de um centro urbano principal que atue como polo para os demais municípios, os quais compartilham uma infraestrutura e uma rede de relações (IBGE, 2021). Essa característica torna a microrregião a escala ideal para o planejamento de políticas públicas integradas, incluindo as de Defesa Civil, pois os municípios dentro de uma mesma microrregião já possuem laços e dependências mútuas.

Para realizar a análise, foi identificado o cluster predominante em cada uma das 39 microrregiões do Paraná. Uma microrregião foi classificada com o perfil de um determinado cluster quando a maioria (mais de 50%) de seus municípios pertencia àquele grupo.

Figura 7 – Mapa do Paraná com clusters.



Fonte: Autores (2025).

Na Figura 7, os Clusters 0, 1, 2 e 3 possuem as cores: roxo, azul, verde e amarelo, respectivamente. Com base nela, é possível visualizar microrregiões que revelam "manchas de risco" muito mais claras e coesas. Por exemplo, torna-se evidente que as microrregiões do oeste e sudoeste concentram a vulnerabilidade à estiagem (Cluster 2), enquanto as microrregiões do litoral e da região metropolitana de Curitiba apresentam um claro predomínio do risco hidrometeorológico (Cluster 3).

Essa visão agregada é importante para a CEDEC-PR, pois permite:

- a) Especializar a Resposta: Desenvolver protocolos específicos para a microrregião de Paranaguá que integrem ações de engenharia, assistência social e vigilância epidemiológica.
- b) Alocar Recursos Adequados: Direcionar para o litoral não apenas recursos de resposta a tempestades (lonas, telhas), mas também estoques estratégicos de saúde (medicamentos, kits de diagnóstico, insumos para controle de vetores).
- c) Fomentar a Cooperação Intersectorial: Fortalecer a articulação prévia entre Defesa Civil, Saúde, Saneamento e Meio Ambiente para atuar de forma coordenada na microrregião litorânea, reconhecendo seu perfil de risco único.

A inclusão de variáveis socioeconômicas, como IDH ou densidade populacional, pode refinar a identificação de vulnerabilidades (IPCC, 2023).

5. Conclusões

A gestão de desastres no Brasil, diante de um cenário de crescente complexidade, exige a transição de um paradigma reativo para uma cultura de preparação e planejamento estratégico.

Este artigo contribui para essa transição ao aplicar técnicas de clusterização para analisar o panorama de riscos no estado do Paraná, buscando oferecer uma ferramenta que auxilie para contornar os desafios de coordenação e alocação de recursos, frequentemente citados como entraves na literatura de LH (COSTA et al., 2015). Através da análise de uma série histórica de 15 anos de desastres, e utilizando o algoritmo *k-means* para agrupar as 39 microrregiões do estado, foi possível segmentar o território em quatro perfis de risco distintos.

Os resultados revelaram uma heterogeneidade notável, refutando a eficácia de uma política de planejamento uniforme. Foi identificado um cluster com risco predominante de estiagem e alto impacto no agronegócio (Cascavel); um segundo com vulnerabilidade concentrada em enxurradas e granizo (Guarapuava); um terceiro, o mais abrangente, com um perfil de risco diversificado; e um quarto, na microrregião de Paranaguá, com um perfil de risco complexo que combina eventos hidrometeorológicos severos a um componente de saúde pública.

Essa caracterização oferece um diagnóstico estratégico que habilita a CEDEC-PR a desenvolver políticas de preparação mais eficazes, alinhando-se à necessidade de criar protocolos customizados à realidade de cada localidade (AQUINO, 2024). A contribuição deste estudo se insere, portanto, no campo da "preparação para desastres", validando a aplicação da metodologia de Lima et al. (2014) em um novo contexto e reforçando sua relevância acadêmica (PATIL; MADAAN, 2022).

Naturalmente, a presente pesquisa possui contornos que abrem espaço para futuras investigações. A análise foi baseada nos registros oficiais de ocorrências, o que pode não refletir a totalidade dos eventos. Além disso, a agregação por microrregião, embora estrategicamente útil, pode mascarar vulnerabilidades específicas em nível municipal.

A continuidade desta linha de pesquisa aponta para a necessidade de enriquecer o modelo com variáveis de vulnerabilidade social e de infraestrutura crítica, proporcionando uma visão de risco ainda mais completa. O passo subsequente mais valioso seria utilizar o diagnóstico aqui apresentado como base para o desenvolvimento de Planos de Contingência e Protocolos Logísticos específicos para cada um dos clusters identificados, transformando, assim, a análise de dados em ferramentas operacionais de apoio à decisão. Como desdobramento, recomenda-se a aplicação desta metodologia em outros estados do Sul do Brasil, possibilitando análises comparativas e políticas regionais integradas (PATEL et al., 2024).

Referências

AQUINO, Luz Marina Aparecida Poddis de. **Metodologia para desenvolvimento de protocolos de logística de operações humanitárias aplicados a desastres**. Relatório Final de Pós-Doutorado, Instituto de Ciência e Tecnologia de São José dos Campos, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", São José dos Campos, 2024.

CEMADEM, Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais, Em 2023, Cemaden registrou maior número de ocorrências de desastres no Brasil. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/ptbr/acompanhe-o-mcti/noticias/2024/01/em-2023-cemaden-registrou-maiornumero-de-ocorrencias-de-desastres-no-brasil>>, Acessado em: <20/06/2024>.

COSTA, Sérgio Ricardo Argollo da; BANDEIRA, Renata Albergaria de Mello; CAMPOS, Vânia Barcelos Gouvêa; MELLO, Luiz Carlos Brasil de Brito. Cadeia de suprimentos humanitária: uma análise dos processos de atuação em desastres naturais. **Production**, v. 25, n. 4, p. 876-893, out./dez. 2015.

GIORDANI, P; FERRARO, M. B.; MARTELLA, F. An Introduction to Clustering with R, Nova York: **Springer**, 340p., 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Divisão Regional do Brasil em Regiões Geográficas Imediatas e Regiões Geográficas Intermediárias: 2021**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

INMET Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/>>, acessado em <10/03/2024>.

IPCC. **Climate Change 2023: Synthesis Report**. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023.

JAHRE, Marianne; JENSEN, Leif-Magnus. Coordination in humanitarian logistics through clusters. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 40, n. 8/9, p. 657-674, 2010.

LIMA, Fabiana Santos; OLIVEIRA, Daniel de; GONÇALVES, Mirian Buss. Formação de clusters para o gerenciamento da cadeia de suprimentos em operações humanitárias. **Exacta**, São Paulo, v. 12, n. 1, p. 87-98, 2014.

LIMA, Fabiana Santos; OLIVEIRA, Daniel de; GONÇALVES, Mirian Buss; SAMED, Márcia Marcondes Altimari. Humanitarian Logistics: A Clustering Methodology for Assisting Humanitarian Operations. **Journal of Technology Management & Innovation**, v. 9, n. 2, p. 86-97, 2014.

MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Produção**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 216-229, 2007.

PATEL, P. et al. Machine learning applications in humanitarian logistics: a systematic review. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 91, p. 103743, 2024.

PATIL, Anchal; MADAAN, Jitender. A Study on the Research Clusters in the Humanitarian Supply Chain Literature: A Systematic Review. **Logistics**, v. 6, n. 4, p. 73, 2022.