

Abordagens multiagentes para resiliência e reestabelecimento do fornecimento de energia elétrica: Uma perspectiva logística na colaboração entre bases de atendimento durante eventos climáticos severos

James Gustavo Black Rebelato¹, Gustavo Giménez Lugo¹

¹Departamento Acadêmico de Informática – Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)
Av. Sete de Setembro, 3165 – Rebouças – 80.230-901 – Curitiba – PR – Brazil

james.rebelato@copel.com, gustavogl@utfpr.edu.br

Abstract. *This article highlights the importance of multi-agent approaches in improving the resilience and rapid restoration of electricity supply in adverse weather conditions scenarios. Using real data from Companhia Paranaense de Energia (Copel), the study presents simulations considering geolocation, affinities, and technical team overload. As a result, the collaboration between service centers promoted through multi-agent system modeling is emphasized, aiming to contribute to crisis management to address increasingly frequent climatic challenges.*

Resumo. *Este artigo destaca a importância das abordagens multiagentes na melhoria da resiliência e na rápida restauração do fornecimento de energia elétrica em cenários de eventos climáticos adversos. Utilizando dados reais da Companhia Paranaense de energia (Copel), o estudo apresenta simulações, considerando geolocalização, afinidades e sobrecarga das equipes técnicas. Como resultado é enfatizada a colaboração entre as bases de atendimento que é promovida através da modelagem de sistemas multiagentes, buscando contribuir para a gestão de crises para enfrentar desafios climáticos cada vez mais frequentes.*

1. Introdução

Eventos climáticos severos (ECS) afetam a rede de distribuição de energia elétrica, provocando interrupções no fornecimento que impactam a população e a economia [Sales, 2024].

Durante os temporais, a quantidade de emergências e solicitações de atendimento aumenta exponencialmente, sobrecarregando as equipes de campo responsáveis pelo restabelecimento do serviço. Com o objetivo de reduzir o tempo de restabelecimento e minimizar os transtornos causados por tais eventos, é imperativo desenvolver estratégias eficazes de gestão e resposta [Simple, 2024].

Na literatura, o tema do restabelecimento do fornecimento de energia elétrica durante ECS é abordado de maneira ampla, destacando-se a importância do restabelecimento automático e da colaboração entre as equipes de campo. No entanto, há uma lacuna na compreensão das melhores práticas de coordenação entre as bases de atendimento e as equipes de restauração de sistemas de distribuição de energia.

Neste contexto, este trabalho propõe a simulação da colaboração entre bases de

atendimento e equipes de restauração de sistemas de distribuição de energia durante ECS. Através de simulações baseadas em Multiagentes, buscamos identificar estratégias eficazes de alocação de recursos e coordenação entre as equipes, visando otimizar o tempo de restabelecimento e minimizar os impactos sobre os consumidores.

Este artigo está organizado da seguinte forma: primeiramente, revisamos a literatura existente sobre o restabelecimento do fornecimento de energia elétrica após ECS; em seguida, apresentaremos a metodologia de simulação baseada em Multiagentes; depois, discutiremos os resultados obtidos e suas implicações para a gestão de crises; por fim, apresentaremos as conclusões e sugestões para pesquisas futuras.

2. Fundamentação Teórica

Nesta seção são apresentados os principais conceitos relacionados ao trabalho.

Dados georreferenciados - A disponibilidade e o uso de dados cartográficos e georreferenciados têm se tornado essenciais em uma variedade de campos, incluindo planejamento urbano, gestão ambiental, agricultura de precisão e monitoramento de desastres naturais. Esses dados, que podem incluir informações topográficas, imagens de satélite de alta resolução, dados de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas (SIG), fornecem uma base sólida para a análise espacial e a tomada de decisões baseada em evidências [Oliveira, 2022].

Rede de Distribuição de energia elétrica - Constitui um sistema complexo que facilita o fornecimento de eletricidade aos consumidores finais. Essa rede inicia-se nas subestações, onde a tensão é reduzida para níveis adequados ao transporte seguro e eficiente. As subestações desempenham um papel crucial na distribuição de energia, permitindo a interligação entre diferentes circuitos e a manutenção da estabilidade do sistema. Equipamentos de proteção automáticos e manuais são essenciais para garantir a segurança e a confiabilidade da rede, detectando e isolando falhas e sobrecargas que possam ocorrer [IEEE, 2018]. Transformadores desempenham um papel fundamental na adaptação dos níveis de tensão, permitindo a transmissão eficiente da eletricidade ao longo da rede. Postes e cabos são os componentes físicos visíveis da rede, responsáveis por transportar a eletricidade até os consumidores finais, residenciais, comerciais e industriais [Gonen, 2014]. Esses elementos, em conjunto, formam uma infraestrutura vital para o funcionamento do sistema elétrico, garantindo o acesso confiável à energia elétrica em todo o território brasileiro.

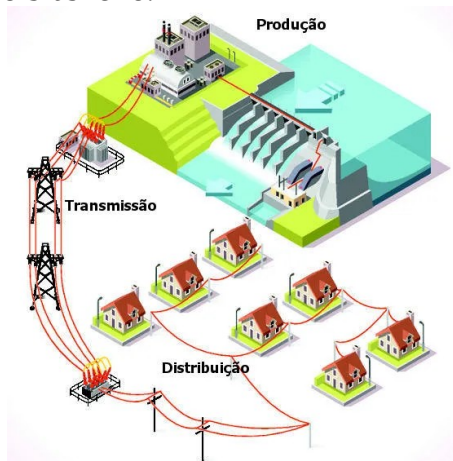


Figura 1: Distribuição de Energia Elétrica no Brasil. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/distribuicao-energia-eletrica-no-brasil.htm>. Acesso em:

10 de maio de 2024.

Eventos Climáticos severos (ECS) - Representam uma preocupação cada vez maior devido ao seu impacto significativo nas infraestruturas e na sociedade em geral. Esses eventos, como furacões, tempestades intensas, enchentes e secas prolongadas, têm sido objeto de estudo devido à sua frequência e intensidade crescentes, muitas vezes atribuídas às mudanças climáticas globais [IPCC, 2014]. O aumento da ocorrência e da intensidade desses eventos tem implicações diretas na segurança e na resiliência das comunidades, na agricultura, na segurança alimentar e na infraestrutura crítica, incluindo sistemas de distribuição de energia elétrica e redes de abastecimento de água [Fernandes, 2021]. A compreensão desses eventos e a implementação de medidas de adaptação e mitigação são essenciais para minimizar os impactos adversos e promover a sustentabilidade ambiental e socioeconômica.

Falta de energia e risco de vida - Durante ECS são geradas uma quantidade atípica de serviços emergenciais de falta de energia e risco de vida [CREA-PR, 2024]. De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a ocorrência desses eventos tem impacto direto na qualidade do serviço de distribuição de energia, refletindo-se nos indicadores de Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) e Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC) [Schardong, 2020]. A resposta eficaz a essas situações de emergência é essencial para garantir a segurança dos cidadãos e a resiliência do sistema elétrico diante dos desafios impostos pelo clima extremo [ANEEL, 2024].

Resiliência do sistema de distribuição - É a capacidade do sistema de distribuição resistir, utilizando uma gama de estratégias destinadas a mitigar os impactos causados por ECS. Essa abordagem busca reduzir a probabilidade de falhas físicas nos elementos da rede, tornando-a mais resistente e capaz de absorver os efeitos adversos desses eventos. Esse conceito de resiliência é ilustrado pelo "*Trapézio da Resiliência*", que engloba as etapas de Preparação, Adaptação, Restauração e Recuperação. Esse modelo, fornece uma medida para avaliar o impacto temporal de um evento climático extremo, destacando a importância de medidas de aprimoramento para reduzir tanto o impacto inicial quanto o tempo de recuperação subsequente [Tierney e Bruneau, 2007].

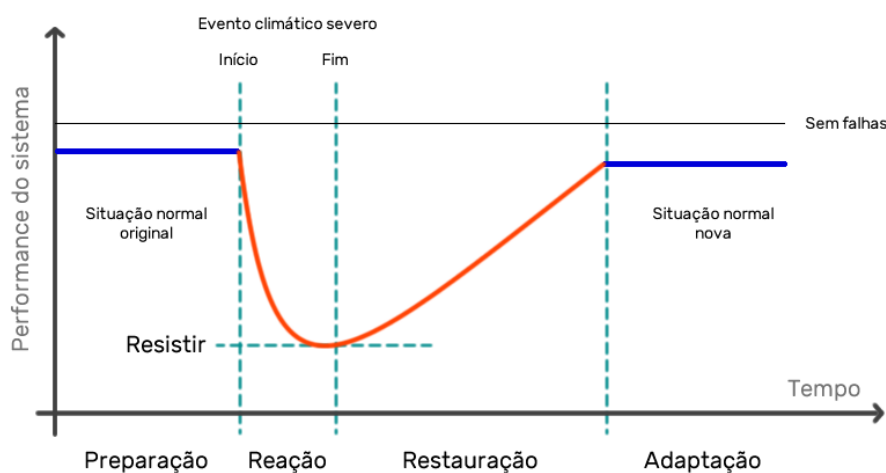


Figura 2. Trapézio da Resiliência

Restabelecimento do fornecimento de energia - Restabelecer a energia após uma interrupção é uma operação crucial que demanda a atuação ágil e coordenada de equipes de campo compostas por técnicos eletricitas [IBRE, 2024]. Esses profissionais

desempenham um papel fundamental na identificação e correção de falhas na rede elétrica, seja por meio da reparação de equipamentos danificados, substituição de componentes danificados ou restauração de conexões elétricas [Sinapsis, 2024]. Munidos de conhecimento técnico especializado e equipamentos adequados, os técnicos eletricitas enfrentam condições adversas e desafios logísticos para garantir que o fornecimento de energia seja restabelecido o mais rapidamente possível, minimizando assim o impacto sobre os consumidores e contribuindo para a resiliência do sistema elétrico [Marques, 2018].

Sistemas Multiagentes (SMA) - Representam uma abordagem poderosa para modelar e simular sistemas complexos, nos quais múltiplos agentes autônomos interagem entre si e com o ambiente para alcançar objetivos comuns ou individuais. Esses sistemas têm sido amplamente aplicados em diversos domínios, incluindo engenharia, economia, transporte e saúde. No contexto da distribuição de energia elétrica, os SMA têm se destacado na otimização da operação e controle de redes elétricas inteligentes (smart grids), onde agentes como consumidores, geradores, dispositivos de armazenamento de energia e sistemas de controle interagem dinamicamente para maximizar a eficiência e a confiabilidade do sistema [Campos, 2018].

NetLogo - É uma plataforma de modelagem e simulação baseada em agentes amplamente utilizada para explorar fenômenos complexos em diferentes domínios. Com uma interface intuitiva e flexível, o NetLogo permite aos usuários criar modelos de agentes com facilidade, representando interações entre entidades autônomas em um ambiente virtual. Essa ferramenta é especialmente útil para investigar comportamentos emergentes e padrões de sistemas dinâmicos, incluindo fenômenos sociais, biológicos e ambientais. Além disso, o NetLogo oferece uma variedade de recursos para análise e visualização de dados, facilitando a interpretação e a comunicação dos resultados obtidos por meio da simulação [Souza, 2019].

3. Metodologia desenvolvida

O propósito é a criação de um modelo de simulação baseado em dados reais obtidos da Copel e Simepar criando multiagentes no software NetLogo. Essa abordagem visa garantir a fidelidade e a representatividade dos cenários climáticos e operacionais simulados, permitindo uma análise precisa dos impactos de eventos climáticos severos na rede de distribuição de energia elétrica. Segue abaixo as etapas realizadas para criar e carregar o modelo com seus agentes:

3.1. Inicialização do modelo

- **Bases fixas de atendimento:** Inicialmente, foram definidos os locais estratégicos que servem como bases fixas de atendimento. Essas bases foram selecionadas levando em consideração critérios como cobertura geográfica, densidade populacional e infraestrutura disponível, visando garantir uma distribuição equitativa e eficiente dos recursos. Para a representação atual foram utilizadas as 41 bases próprias existentes da Copel.

- **Conectividade entre as bases de atendimento conforme afinidades:** Em seguida, estabeleceu-se uma rede de conectividade entre as bases de atendimento, considerando afinidades geográficas e operacionais. Isso permitiu uma comunicação eficaz e uma melhor coordenação entre as equipes de campo, facilitando a troca de informações e recursos durante as operações de atendimento.

- **Equipes técnicas de campo:** Com base na quantidade padrão de recursos disponíveis em cada base de atendimento, foram criadas equipes técnicas de campo. Cada equipe foi dimensionada de acordo com a disponibilidade de veículos, eletricitistas e equipamentos de comunicação e manutenção, garantindo uma distribuição equilibrada dos recursos e uma resposta eficiente às emergências.

- **Impactos do evento climático severo convertidos em emergências:** A partir dos dados meteorológicos fornecidos pelo Simepar, foram simulados os impactos e na sequência convertidos em situações de emergência, como desligamentos de equipamentos de proteção da rede e danos estruturais, permitindo uma análise detalhada dos cenários de crise.

- **Execução das emergências:** Por fim, foram estimulados os agentes que representam as equipes de campo a realizar a execução das emergências. Esses agentes foram programados para responder de forma proativa e coordenada às situações de crise, seguindo protocolos operacionais pré-estabelecidos e buscando minimizar os impactos sobre o fornecimento de energia elétrica.

A implementação foi realizada utilizando dois principais agentes no NetLogo: as turtles, agentes que se movem no mundo representando impactos, bases, equipes e emergências; e o observer que contempla o ambiente formado pelos turtles.

```
breed [ impactos impacto ]
```

```
breed [ bases base ]
```

```
breed [ equipes equipe ]
```

```
breed [ emergencias emergencia ]
```

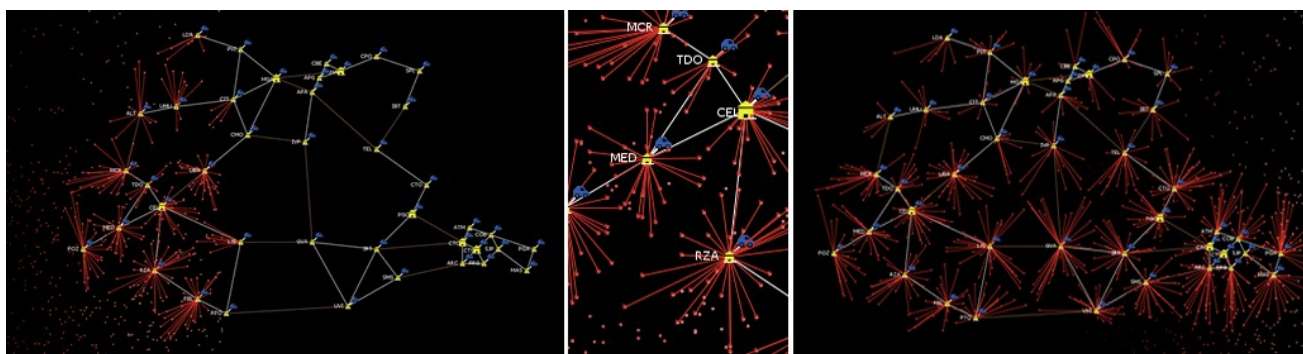


Figura 3. Bases de atendimento e início do ECS; Destaque do local; Final do ECS, impactos convertido em Emergências

A imagem conjunta demonstra a localização das bases de atendimento e a conectividade por afinidade entre elas assim como ilustra a passagem de um temporal seguindo sentido Oeste-Leste no Paraná onde os impactos são convertidos em emergências.

3.2. Desenvolvimento do modelo de simulação

Foram conduzidas simulações comparativas para avaliar diferentes estratégias de gestão de recursos durante ECS. Utilizando o NetLogo, um ambiente de modelagem baseado em agentes, foram criados modelos que representam bases de atendimento e equipes de campo responsáveis pela restauração do fornecimento de energia elétrica.

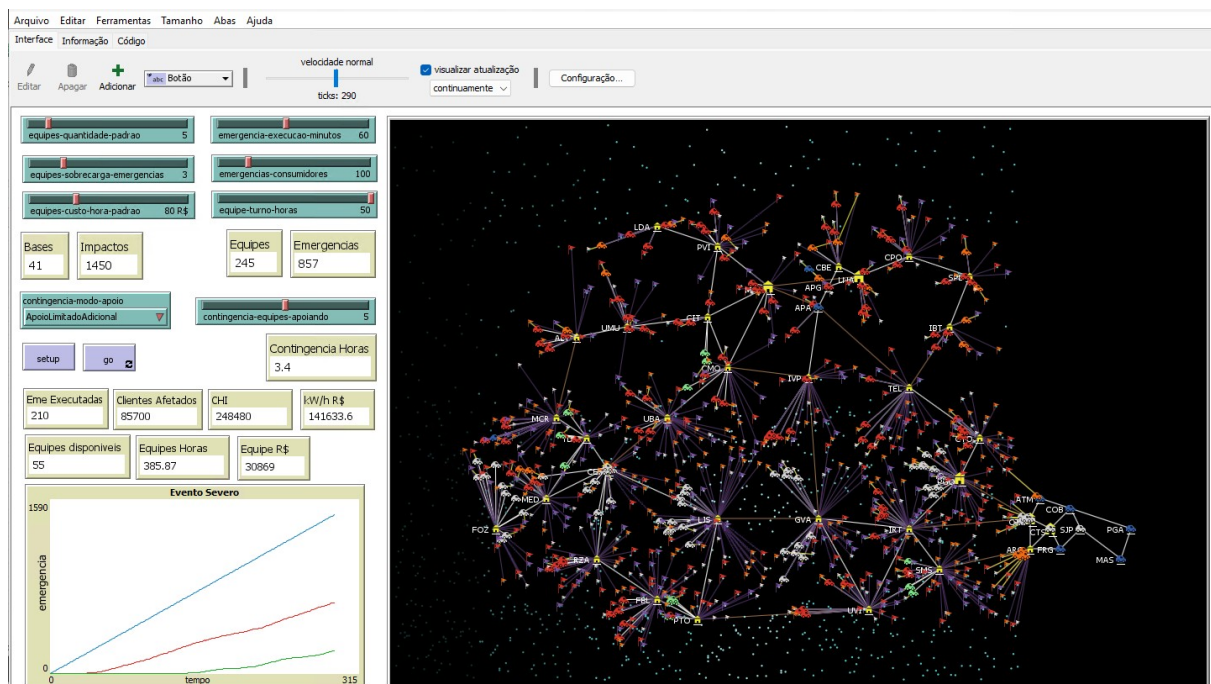


Figura 4. Tela do ambiente desenvolvido para realizar as simulações

3.3. Parametros fixos

Para que as simulações pudessem ser comparadas optou-se por manter fixos e constantes o valor de alguns parametros como:

- Bases de atendimento – 41
- Quantidade total habitual de equipes – 205
- Total de emergências após impacto – 1.500
- Tempo médio individual de execução da emergência – 1 hora
- Quantidade de consumidores afetados por emergência – 100
- Custo da equipe por hora de trabalho – R\$ 80,00
- Valor do kW/h para consumidores desligados – R\$ 0,57

3.4. Cenários de atendimento

Por fim, foram configurados 4 cenários de simulação com formas de atendimento diferenciadas:

- **Isolado:** Atendimento totalmente ilhado sem solicitar ou fornecer apoio;
- **Proximidade:** Todas equipes podem se deslocar para atender demandas existentes;

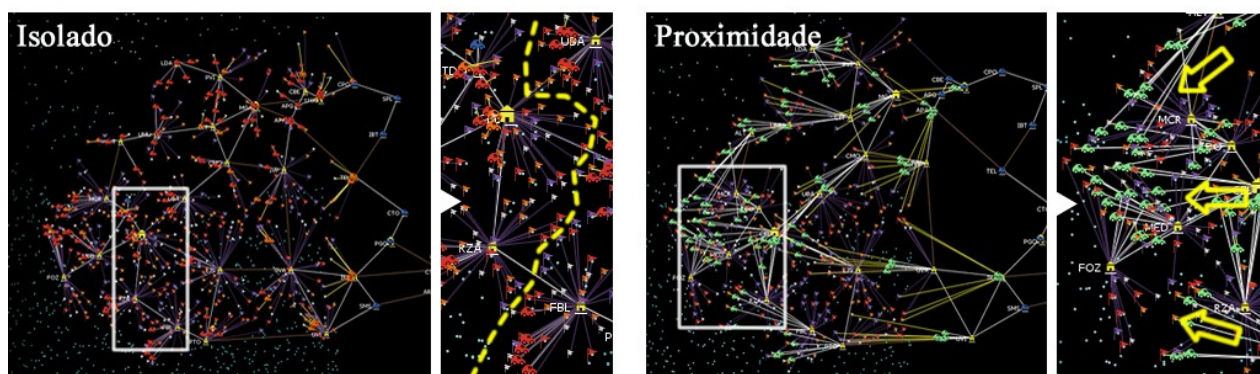


Figura 5. Visualização e destaque da simulação Isolado e Proximidade

- **Apoio solicitado:** Algumas equipes de cada base são emprestadas temporariamente desde que a base solicitante contabilize mais de 3 emergências por equipe;
- **Apoio limitador + adicional:** Apoio limitado para bases vizinhas e um adicional de equipes preparadas e a disposição antes do ECS.

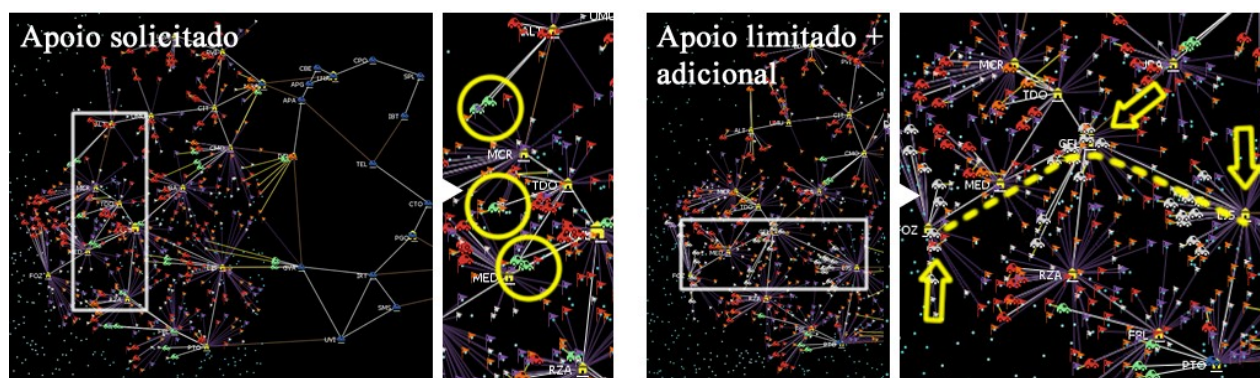


Figura 6. Visualização e destaque da simulação Apoio solicitado e Apoio limitado + adicional

3.5. Indicadores de atendimento

Na sequencia foram criados indicadores para mensurar os possíveis ganhos obtidos em diferentes formas de trabalho:

- Tempo em horas da duração do ECS (acima de 100 emergências existentes);
- Quantidade de consumidores hora desligados (CHI);
- Custo financeiro total. Horas de equipes de campo + kW/h sem cobrança;

A tabela abaixo demonstra de maneira simplificada os valores obtidos das simulações. Cada item na tabela representa parâmetros cruciais para a simulação no NetLogo, proporcionando informações valiosas sobre a melhor forma de colaboração entre os agentes em diferentes cenários.

Tabela 1. Comparativo entre as simulações

Simulação	Duração Total ECS	Consumidores Hora Desligados	Custo Equipes + kW/h sem cobrança
Isolado	13h15	1.193.553	R\$ 817.644,40
Proximidade	12h50	1.191.610	R\$ 822.330,70
Apoio solicitado	13h00	1.207.193	R\$ 837.320,20
Apoio limitado + adicional	11h30	1.048.893	R\$ 749.997,20

3.6. Constatações complementares

Sobrecarga – Identificação e somatório da sobrecarga das bases de atendimento e equipes de campo: Durante a simulação, foi possível identificar e quantificar a sobrecarga enfrentada pelas bases de atendimento e pelas equipes de campo. Utilizando métricas específicas, como o número de demandas de atendimento não atendidas dentro de um determinado período de tempo, foi possível realizar um somatório preciso da sobrecarga enfrentada por cada uma das entidades envolvidas no processo de resposta a emergências. Essa análise detalhada permitiu uma compreensão mais clara da distribuição de tarefas e recursos, facilitando a identificação de áreas de maior pressão e possibilitando a tomada de decisões mais eficazes para mitigar a sobrecarga.

Forma de atendimento da base - Durante o estudo, cada base de atendimento foi categorizada com base na forma como realizava suas operações durante ECS. Essa categorização permitiu uma análise detalhada das diferentes estratégias adotadas pelas bases de atendimento. Vale ressaltar que nem sempre deslocar todos os recursos disponíveis para apoio é a melhor opção, uma vez que isso pode prejudicar o atendimento da base de origem no dia seguinte, comprometendo a capacidade de resposta a emergências futuras.

Ponto de decisão - Transbordo de equipes: Um dos pontos críticos identificados durante a simulação foi o momento em que se tornava essencial realizar o transbordo de equipes entre bases de atendimento. Esse ponto de decisão foi determinado com base em uma análise cuidadosa da distribuição de demandas de atendimento e da capacidade operacional de cada base. Quando uma base alcançava uma sobrecarga crítica e não conseguia atender adequadamente às demandas, tornava-se necessário acionar o transbordo de equipes, redistribuindo recursos de outras bases para suprir a demanda excessiva. A identificação desse ponto de decisão foi fundamental para garantir uma resposta eficiente e rápida às emergências, minimizando os impactos causados pelos ECS.

4. Resultados

Os experimentos realizados demonstraram uma redução significativa no custo financeiro total de atendimento durante ECS. Por meio da otimização na alocação de recursos e na coordenação entre as bases de atendimento, foi possível minimizar os gastos operacionais sem comprometer a eficácia das operações de resposta a emergências.

Além disso, foi observada uma significativa diminuição na sobrecarga das equipes de campo. A implementação de estratégias dinâmicas de distribuição de recursos permite uma distribuição mais equitativa das tarefas entre as equipes, reduzindo o estresse e aumentando a eficiência operacional durante situações de crise.

Uma das conclusões mais importantes dos experimentos foi a redução do tempo de restabelecimento do sistema de distribuição de energia elétrica. A implementação de medidas preventivas e a adoção de uma abordagem adaptativa e dinâmica possibilitaram uma resposta mais ágil e eficaz às emergências, resultando em uma rápida normalização do serviço para os consumidores afetados.

Tabela 2. Comparação abrangente

Métrica	Com simulações	Sem simulações
Custo Financeiro Total	Reduzido	Elevado
Sobrecarga das Equipes	Diminuída	Elevada
Tempo de Restabelecimento	Reduzido	Prolongado

Esta tabela resume as principais constatações dos experimentos, destacando as vantagens da realização de simulações antecipadas para identificar formas de atendimento mais eficientes e adequadas.

Algumas hipóteses puderam ser validadas e outras constatações foram obtidas através do acompanhamento das simulações:

- Durante a fase de preparação, a antecipação na alocação de recursos é crucial para uma resposta eficaz durante ECS. Direcionar previamente os recursos permite que as equipes estejam prontas para agir imediatamente, minimizando o tempo de resposta e maximizando a eficiência das operações de atendimento.

- Quando identificada uma demanda excessiva, é essencial diminuir dinamicamente o tamanho da abrangência da base de atendimento. Essa estratégia permite concentrar os recursos disponíveis em áreas prioritárias, garantindo uma resposta mais rápida e eficiente às emergências.

- Calcular previamente a rede de afinidade entre as bases de atendimento é fundamental para otimizar a colaboração entre elas. Essa análise permite identificar quais bases têm afinidades mais fortes, portanto, estão mais bem posicionadas para colaborar e compartilhar recursos durante situações de emergência.

- Da mesma forma, calcular previamente os pontos mais frágeis de atendimento das bases é essencial para uma gestão eficiente de recursos. Ao identificar os pontos vulneráveis, as equipes podem priorizar ações preventivas e estratégias de reforço, reduzindo o risco de interrupções no fornecimento de energia.

- O cálculo antecipado de atendimento de demanda possibilita o empréstimo de recursos, garantindo que as emergências sejam atendidas de acordo com sua gravidade e impacto potencial.

Por fim, as múltiplas simulações com variações de dados de entrada e forma de atendimento permitiu compreender melhor as múltiplas possibilidades de otimizar a distribuição de recursos para garantir uma resposta eficaz em diferentes cenários de emergência.

5. Conclusão

A simulação utilizando multiagentes demonstrou-se adequada para representar a complexidade do problema abordado neste estudo. Foi possível modelar os comportamentos individuais e interações entre os diversos elementos do sistema de

distribuição de energia elétrica, fornecendo uma representação mais realista e dinâmica do período completo do ECS. Além disso, a flexibilidade e adaptabilidade inerentes aos sistemas multiagentes permitiram a incorporação de cenários variados e a avaliação de diferentes estratégias de resposta, contribuindo para uma análise abrangente e abordagem integrada do problema.

De acordo com os resultados obtidos, foi possível evidenciar que a colaboração entre as bases de atendimento é uma estratégia eficaz e promissora para o gerenciamento de crises e resposta a emergências no sistema de distribuição de energia elétrica. Através da modelagem e simulação das interações entre as bases de atendimento e equipes técnicas de campo, foi observado que a coordenação e troca de recursos entre os diferentes pontos de operação podem melhorar significativamente a eficiência e a eficácia das operações de atendimento sem causar sobrecarga dos recursos. Esses achados destacam a importância da colaboração e cooperação entre as entidades envolvidas na gestão de crises, promovendo uma resposta mais rápida, coordenada e efetiva diante de eventos severos.

Com este trabalho, buscou-se contribuir com a comunidade de sistemas multiagentes, especialmente no contexto de modelos de simulação aplicados à gestão de crises em infraestruturas críticas. Ao combinar técnicas avançadas de modelagem e simulação com a análise de cenários complexos do mundo real, espera-se fornecer insights valiosos e diretrizes práticas para o desenvolvimento de sistemas inteligentes e adaptativos de gestão de crises. Dessa forma, este estudo busca não apenas avançar o estado da arte em sistemas multiagentes, mas também oferecer soluções inovadoras e eficazes para enfrentar os desafios emergentes na área de infraestruturas críticas e resiliência operacional.

6. Trabalhos futuros

Explorar as possibilidades de otimização da utilização das equipes de campo mediante o emprego de técnicas de machine learning representa uma direção promissora para futuros estudos. A integração de algoritmos de machine learning permite prever possíveis impactos em tempo hábil, possibilitando uma alocação mais eficiente dos recursos humanos e materiais. Além disso, a incorporação de dados em tempo real para calibração e aprimoramento do modelo pode aumentar significativamente sua assertividade e capacidade de resposta diante de ECS. Essa abordagem oferece uma oportunidade única para aprimorar a gestão de crises e a resiliência do sistema de distribuição de energia elétrica, garantindo uma resposta mais rápida e eficaz às emergências.

Referências

ANEEL (2024) “Workshop promovido pela ANEEL destaca a importância da preparação do setor elétrico diante de fenômenos climáticos intensos”, Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/workshop-promovido-pela-aneel-destaca-a-importancia-da-preparacao-do-setor-eletrico-diante-de-phenomenos-climaticos-intensos>, acessado em 10 de maio de 2024.

Campos, Í. R. da C. (2018). "Aplicação de sistemas multiagentes ao problema de autorrecuperação em sistemas elétricos de distribuição do tipo smart grid". Universidade Federal do Pará. Disponível em: <https://bdm.ufpa.br/jspui/handle/prefix/1340>, acessado em 10 de maio de 2024.

CREA-PR (2024) “Copel detalha medidas preventivas”, Revista do Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Paraná (CREA-PR), <https://revista.crea-pr.org.br/copel-detalha-medidas-preventivas/>, acessado em 10 de maio de 2024.

Fernandes, T., Hacon, S. de S. e Novais, J.W.Z. (2021). MUDANÇAS CLIMÁTICAS, POLUIÇÃO DO AR E REPERCUSSÕES NA SAÚDE HUMANA: REVISÃO SISTEMÁTICA. Revista Brasileira de Climatologia. (abr. 2021), 138–164.

Gonen, T. (2014). "Electric Power Distribution System Engineerin." CRC Press.

IBRE (Instituto Brasileiro de Economia) - FGV (2024) “Respostas impulsivas e impensadas: eventos climáticos extremos”, Blog do IBRE - FGV, <https://blogdoibre.fgv.br/posts/respostas-impulsivas-e-impensadas-eventos-climaticos-extremos>, acessado em 10 de maio de 2024.

IEEE Power & Energy Society. (2018). "Understanding Electric Power Systems: An Overview of the Technology and the Marketplace." Wiley.

IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas). (2014). "Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability." Cambridge University Press.

Marques, Leandro Tolomeu. Restabelecimento de energia em sistemas de distribuição considerando aspectos práticos [doi:10.11606/T.18.2018.tde-26072018-134924]. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, (2018). Tese de Doutorado em Sistemas Elétricos de Potência, acessado em 10 de maio de 2024.

Oliveira Filho, S. F., Fernandes, A. C. G., Borges, I. M. S., Santos, A. F. L. dos, Campos, J. O., Silva, E. C. B. da, Martins, M. S., Silva, J. A. da, Paiva, C. R. B. de, Silva, J. A., Santos, M. J. R., & Maciel, J. K. V. S. (2022). Use of the GIS tool for monitoring crop development in the semi-arid region of Paraíba. Research, Society and Development, 11 (4), e53611427728. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i4.27728>.

Sales, C. e Uhlig, A. (2024) “Eventos climáticos extremos e o suprimento de eletricidade”, Broadcast Energia, <https://acendebrasil.com.br/artigo/eventos-climaticos-extremos-e-o-suprimento-de-eletricidade/>, acessado em 10 de maio de 2024.

Schardong, Bianca Jupiara Fortes; Garcia, Vinícius Jacques; Kiefer, Gabriela Sanson; Pinto, Nelson Guilherme Machado. Otimização do Atendimento a Emergências no Setor Elétrico. Boletim de Conjuntura (BOCA), v. 18, n. 52, p. 82-115, 2024. (2024). Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.11003159>, acesso em 10 de maio de 2024.

Simple Energy (2024) “Quais os efeitos dos eventos climáticos no fornecimento de energia?”, Simple Energy, <https://simpleenergy.com.br/quais-os-efeitos-dos-eventos-climaticos-no-fornecimento-de-energia/>, acessado em 10 de maio de 2024.

Sinapsis Energia (2024) “Como as mudanças climáticas impactam nossas redes de distribuição”, Sinapsis Energia, <https://sinapsisenergia.com.br/como-as-mudancas-climaticas-impactam-nossas-redes-de-distribuicao/>, acessado em 10 de maio de 2024.

Souza, Jusciel Kvan Gomes de. Modelagem baseada em agentes: possibilidades na Educação Matemática e pesquisa ambiental. (2019). 88 f. Monografia (Graduação) - Curso de Matemática, Universidade Federal do Tocantins, Araguaína, 2019.

Tierney, K. and Bruneau, M. (2007) Conceptualizing and Measuring Resilience: A Key to Disaster Loss Reduction, TR News, May-June, 250, 14-17.