

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, Cesar Augusto Tacla¹, 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 – 80230-901 – Curitiba – PR – Brazil

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

*Copyright © 2024 for this paper by its authors. Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

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 durante 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.

Eventos Climáticos severos - 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, 2023]. 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*", demonstrado na Figura 1, 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].

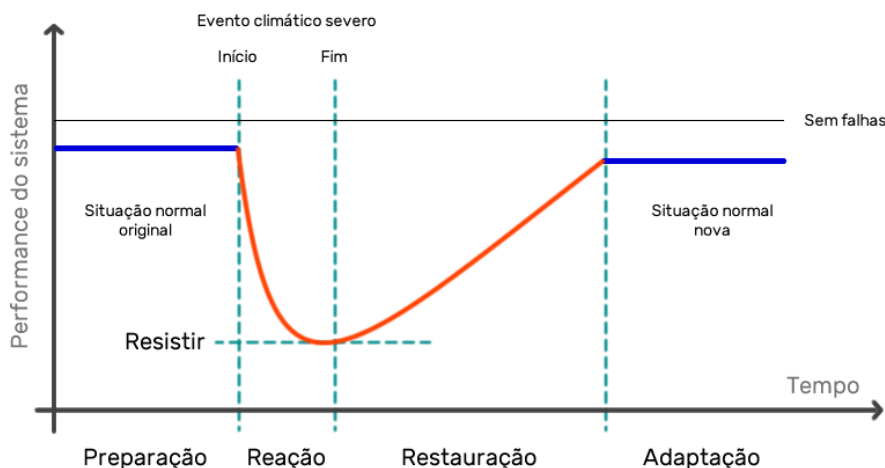


Figura 1. Trapézio da Resiliência

Fonte: Autoria própria (2024)

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 eletricitistas [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 eletricitistas 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) - Os sistemas multiagentes têm se mostrado uma abordagem poderosa e versátil para modelar e simular sistemas complexos onde múltiplos agentes autônomos interagem entre si e com o ambiente, visando objetivos

comuns ou individuais. Esses sistemas são fundamentais para a coordenação de comportamentos inteligentes entre agentes [Weiss, 1999]. O termo sistema multiagente é utilizado para caracterizar um sistema que contém vários agentes comunicando entre si com objetivo de executar tarefas [Wooldridge, 2002]. Os SMA integram técnicas para obter um comportamento global coerente e eficiente [Russell, 2010]. Finalmente, a importância das interações dinâmicas entre agentes é reforçada pela necessidade de maximizar a eficiência e a confiabilidade de sistemas complexos [Shoham e Leyton-Brown, 2008]. 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. O NetLogo foi escolhido como framework devido a grande quantidade de exemplos e alinhamento com a linguagem de programação Java. Essa abordagem visa garantir a fidelidade e a representatividade dos cenários climáticos e operacionais simulados, permitindo uma análise precisa dos impactos de ECS na rede de distribuição de energia elétrica. Segue abaixo as etapas realizadas para criar e carregar o modelo com seus múltiplos agentes:

3.1. Inicialização do modelo

- **Bases de atendimento:** Inicialmente, foram criadas as bases de atendimento georeferenciadas com latitude e longitude. 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 agências de atendimento [COPEL, 2024].

- **Conectividade entre as bases de atendimento:** Em seguida, estabeleceu-se a conexão entre as bases de atendimento, que representa lógica de apoio entre as bases. Cada base tem ao menos uma outra base que pode emprestar ou solicitar apoio quando necessário. As bases foram conectadas seguindo o critério de proximidade geográfica, facilidade de acesso pelas rodovias e agrupamento e mesma Regional de atendimento (Leste, Oeste, Norte, Noroeste e Centro-Sul).

- **Equipes técnicas de campo:** Cada equipe é formada por um veículo, eletricitistas, equipamentos de comunicação e manutenção. Todas as equipes pertencem a uma base de atendimento, realizam o deslocamento e atendimento das emergências e retornam no final do turno para base. Normalmente existem de 5 a 20 equipes para cada

base de atendimento.

- **Impactos do ECS 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 [SIMEPAR, 2024].

- **Execução das emergências:** A função objetivo fundamental dos agentes, que são as equipes de campo, é executarem todas as emergências pendentes da base de atendimento. Após executarem todas as emergências ou finalizar o turno da equipe elas devem retornar para base de atendimento. Dependendo do cenário de atendimento da simulação esse comportamento será alterado para que as equipes possam apoiar outras bases de atendimento antes do final de seu turno de trabalho.

A implementação do modelo e simulação dos cenários de atendimento foi realizada múltiplos agentes no NetLogo:

Turtles - Agentes existentes no mundo representando equipes e emergências;

Patches – São agentes estacionários e representam um local no espaço: impactos e bases de atendimento;

Links – Conectividade entre bases de atendimento, equipes e emergências;

Observer - que contempla o ambiente formado pelos *turtles* e *patches*.

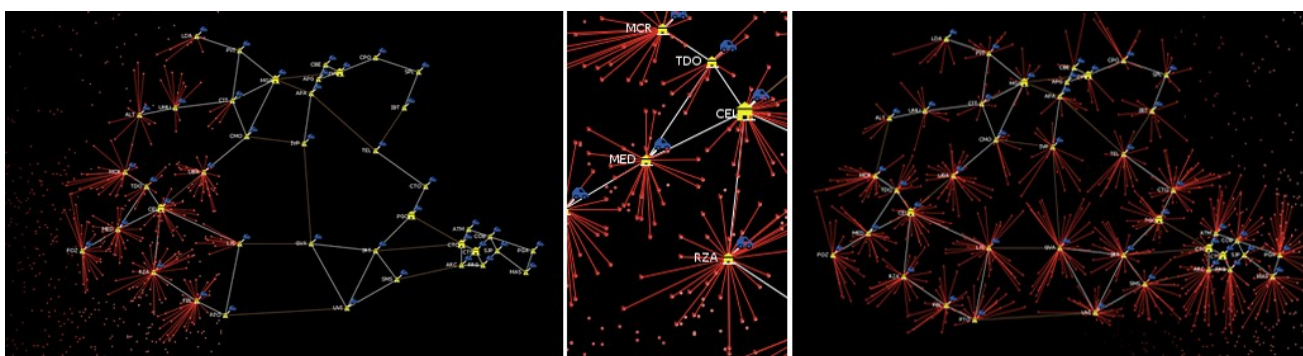


Figura 2. Bases de atendimento e início do ECS; Destaque do local; Final do ECS, impactos convertido em Emergências

Fonte: Autoria própria (2024)

A Figura 2, exibe a inicialização do modelo, com a localização das bases de atendimento e a conectividade entre elas, assim como ilustra, da esquerda para direita, a passagem de um ECS ocorrendo no estado do Paraná e na sequência os impactos são convertidos em emergências. Na imagem central é possível visualizar com mais detalhes as emergências e as linhas de conexão, em vermelho, até as bases de atendimento.

3.2. Desenvolvimento do modelo de simulação

Foram conduzidas simulações comparativas para avaliar diferentes estratégias de gestão de recursos durante ECS. A Figura 3 demonstra a tela do NetLogo, onde foi criado o modelo que representa as bases de atendimento e equipes de campo responsáveis pela restauração do fornecimento de energia elétrica.

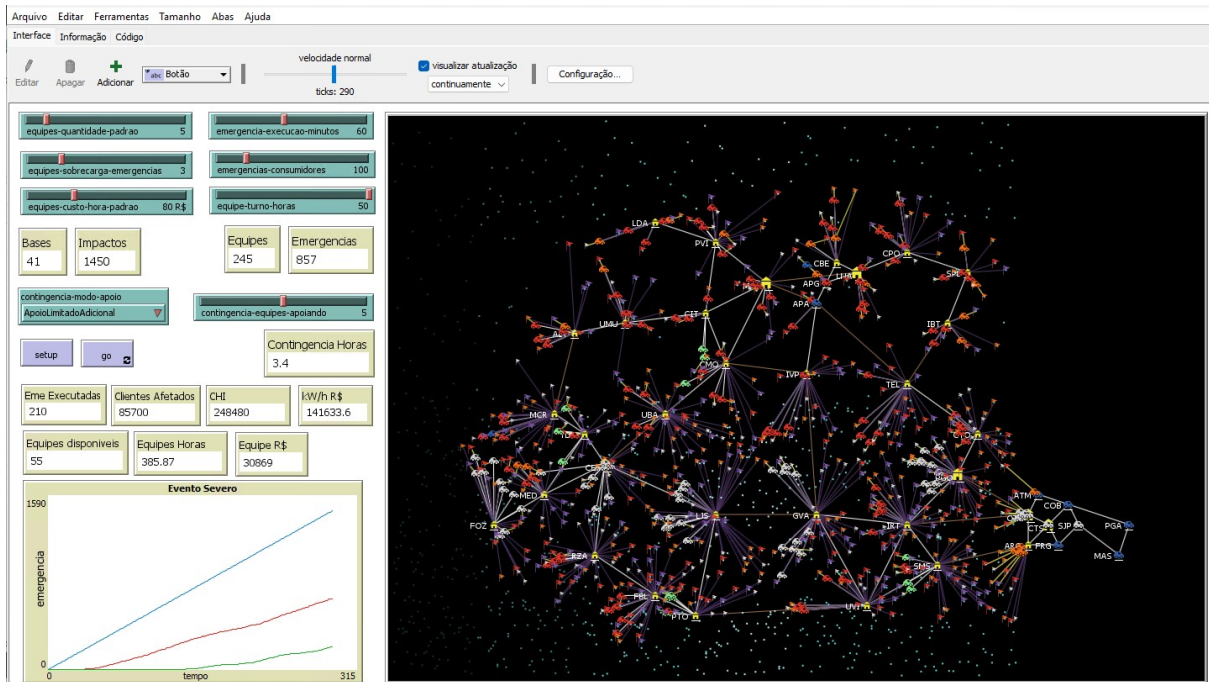


Figura 3. Tela do ambiente desenvolvido para realizar as simulações

Fonte: Autoria própria (2024)

3.3. Parâmetros fixos

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

- Bases de atendimento – 41
- Quantidade total de equipes – 205 (5 por base de atendimento)
- Total de emergências após impacto do ECS – 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 kWh para consumidores desligados – R\$ 0,57

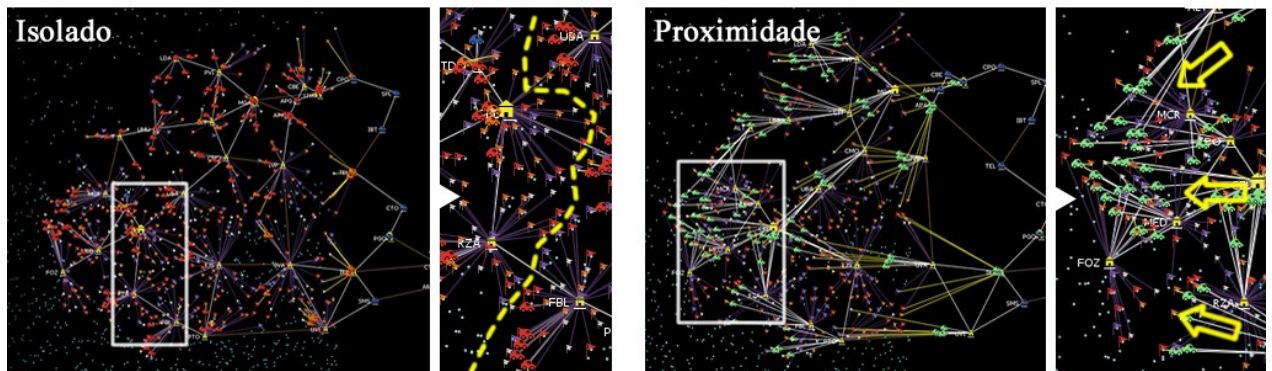
Os valores acima foram estipulados através da média de situações ocorridas do período de Maio de 2023 a Maio de 2024. Todos os valores podem ser ajustados a cada novo ciclo de simulações comparativas.

3.4. Cenários de atendimento

Foram configurados 4 cenários com formas de atendimento diferenciadas:

- **Isolado:** Atendimento ilhado sem solicitar ou fornecer apoio. As equipes pertencentes a cada base atendem apenas as emergências da própria base;
- **Proximidade:** Todas equipes se deslocar para atender demandas existentes. As equipes de qualquer base de atendimento se desloca assim que é identificada a necessidade de atendimento das emergências existentes;

Figura 4. Visualização e destaque da simulação Isolado e Proximidade



Fonte: Autoria própria (2024)

Na Figura 4, no detalhe lateral esquerdo, a linha amarela evidencia a clara separação do atendimento onde as equipes de cada base não cruzam sua área de abrangência. Na lateral direita da imagem, no cenário Proximidade as setas amarelas indicam o deslocamento das equipes com ícone verde que são as equipes emprestadas.

- **Apoio solicitado:** Até 50% das equipes da base podem ser emprestadas temporariamente desde que a base vizinha que precisa de apoio ultrapassar 3 emergências por equipe;

- **Apoio limitado + adicional:** Apoio de empréstimo de equipes limitado em 30% para bases vizinhas e um incremento de 50% de equipes a disposição antes do ECS.

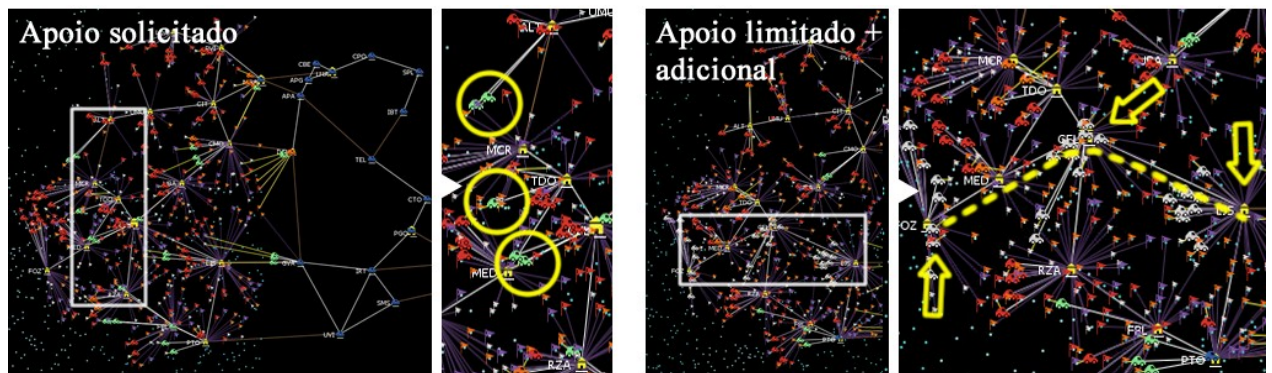


Figura 5. Visualização e destaque da simulação Apoio solicitado e Apoio limitado + adicional

Fonte: Autoria própria (2024)

Na Figura 5, no detalhe lateral esquerdo, os círculos amarelos evidenciam que apenas algumas equipes foram emprestadas para as bases vizinhas. Na lateral direita da imagem, as setas e a linha amarela indicam que as equipes adicionais, ícone branco, acompanharam a evolução do ECS e algumas equipes, ícone em verde, foram emprestadas para as bases de atendimento vizinhas.

3.5. Indicadores de atendimento

Foram especificados indicadores para mensurar os possíveis ganhos obtidos em cada simulação de atendimento:

- 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 + kWh sem cobrança;

4. Resultados

A Tabela 1, demonstra 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 + kWh 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

Os experimentos realizados demonstraram uma redução de até 9% 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.

O resultado mais importante do experimento foi a redução em 15% 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.

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.

- Determinar corretamente a conectividade entre as bases de atendimento é fundamental para otimizar a colaboração entre elas. Isso permite identificar quais bases têm relações de apoio mais fortes e mais fracas, portanto, estão mais bem posicionadas para colaborar e compartilhar equipes durante ECS.

- 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.

4.1. Constatações complementares

Seguem algumas observações identificadas durante a realização das simulações:

Sobrecarga – 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 emergências não atendidas dentro de um determinado período de tempo, foi possível realizar um somatório preciso da sobrecarga enfrentada por cada uma das equipes. 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 - Um dos pontos críticos identificados durante a simulação foi o momento em que se tornava essencial realizar o empréstimo 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 empréstimo 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.

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 ECS.

Este trabalho buscou contribuir, no contexto de modelos multiagentes de simulação aplicados à gestão de crises em infraestruturas críticas. Ao combinar técnicas de modelagem e simulação com a análise de cenários complexos do mundo real, espera-se fornecer percepções valiosas e metodologia prática para o desenvolvimento de sistemas inteligentes e adaptativos para gestão de crises em ECS.

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. Conectar o modelo de simulação com dados em tempo real dos possíveis impactos dos ECS e das emergências existentes em atendimento. Carregar os dados históricos de cada base de atendimento treinar o modelo para realizar simulações personalizadas.

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.

COPEL (2024) Agências de atendimento, Copel Distribuição, <https://www.copel.com/site/copel-distribuicao/agencias-de-atendimento/>, acessado em 5 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. Climate Change: The Physical Science Basis (2023). Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

Marques, Leandro Tolomeu (2024). 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>.

Russel, S., Norvig (2010), P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. 3a Edition. Prentice Hall. ISBN-13: 978-0-13-604259-4.

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 Jupiará 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.

Shoham, Y. e Leyton-Brown, K. *Multiagent Systems: Algorithmic, game-theoretic, and logical foundations*. New York: Cambridge University Press, (2008).

SIMEPAR (2024) Dados das estações, Sistema de tecnologia e Monitoramento do Paraná, http://www.simepar.br/prognozweb/simepar/dados_estacoes/25264916, acessado em 6 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.

Weiss, Gerhard (1999). *Multiagent Systems: a modern approach to distributed artificial intelligence*. MIT press, 1999.

Wooldridge, M. *An Introduction to MultiAgent Systems*. Department of

Computer Science, University of Liverpool, UK. John Wiley & Sons, LTD. (2002 [2009]).