

---

**ARTIGO COMPLETO/FULL PAPER**

# **Resiliência da Infraestrutura Móvel de Telecomunicação: Estudo de Caso dos Eventos Climáticos na Região Metropolitana de Porto Alegre em Maio de 2024**

## **Resilience of Mobile Telecommunications Infrastructure: Case Study of Climatic Events in the Metropolitan Region of Porto Alegre in May 2024**

✉ **Daniel Meyer** • [daniel.meyer@pop-rs.rnp.br](mailto:daniel.meyer@pop-rs.rnp.br)

*Instituto de Informática • Universidade Federal do Rio Grande do Sul (INF/UFRGS)*

✉ **Lisandro Zambenedetti Granville** • [granville@inf.ufrgs.br](mailto:granville@inf.ufrgs.br)

*Instituto de Informática • Universidade Federal do Rio Grande do Sul (INF/UFRGS)*

✉ **Leandro Bertholdo** • [leandro.bertholdo@ufrgs.br](mailto:leandro.bertholdo@ufrgs.br)

*Instituto de Informática • Universidade Federal do Rio Grande do Sul (INF/UFRGS)*

**RESUMO.** Este estudo avalia a resiliência das redes de telecomunicações móveis durante os eventos climáticos que afetaram a região metropolitana de Porto Alegre em maio de 2024. As redes móveis foram essenciais para a comunicação entre equipes de resgate e a população. A pesquisa analisa os impactos causados pela falta de energia e o rompimento de cabos de fibra óptica, além da cooperação entre operadoras para manter o serviço por meio de roaming emergencial. Também é discutida a dependência de tecnologias legadas (2G e 3G) em áreas afetadas, com destaque para os possíveis efeitos da descontinuação dessas tecnologias. Os resultados preliminares sugerem que, apesar das vantagens das redes modernas, a preservação de redes legadas é crucial para garantir resiliência em situações de crise.

**ABSTRACT.** This study evaluates the resilience of mobile telecommunications networks during the weather events that affected the metropolitan region of Porto Alegre in May 2024. Mobile networks were essential for communication between rescue teams and the population. The research analyzes the impacts caused by power outages and the disruption of fiber optic cables, as well as the cooperation between operators to maintain service through emergency roaming. The study also discusses the reliance on legacy technologies (2G and 3G) in affected areas, with a focus on the potential effects of discontinuing these technologies. Preliminary results suggest that, despite the advantages of modern networks, preserving legacy networks is crucial to ensuring resilience in crisis situations.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resiliência • Infraestrutura de Telecomunicações • Eventos Climáticos • Telefonia Móvel

**KEYWORDS:** Resilience • Telecommunications Infrastructure • Climatic Events • Mobile Network

---

## **1 Introdução**

Em maio de 2024, o estado do Rio Grande do Sul enfrentou eventos climáticos severos que afetaram 84% das cidades e deixaram a região metropolitana de Porto Alegre submersa por mais de 30 dias [1]. Esse prolongado período de crise impactou diretamente a infraestrutura de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) em todo o estado. *Data centers* foram desativados, e cabos de fibra óptica foram rompidos devido à queda de pontes ou cortados deliberadamente para permitir a passagem de embarcações durante as operações de resgate. As comunicações móveis também foram gravemente afetadas pela falta prolongada de energia elétrica, resultando em uma redução drástica do número de Estações Rádio Base (ERB) ativas nas áreas inundadas. Em uma tentativa de manter as comunicações

móveis, diversas operadoras de telefonia celular cooperaram entre si, liberando gratuitamente o serviço de *roaming* entre redes [2], ou seja, permitiram que os clientes utilizassem a rede de outra operadora quando o sinal da sua operadora principal estava fraco ou indisponível. Essa iniciativa contribuiu de forma significativa para garantir o acesso da população às comunicações móveis, facilitando os pedidos de socorro e a coordenação com as equipes de resgate durante o período de crise [3].

Entretanto, apesar dos usuários terem acesso a qualquer ERB, a cobertura das tecnologias 4G e 5G foi severamente prejudicada. Um exemplo é a cidade de Eldorado do Sul, onde a disponibilidade ficou restrita à tecnologia 2G, e mesmo esta apresentou oscilações frequentes no sinal, permitindo apenas o envio de mensagens via SMS (*Short Message Service*). Há, inclusive, diversos relatos de que essas mensagens permaneciam

pendentes para envio posterior [4].

As diferentes gerações de redes móveis de telecomunicações, assim como suas respectivas frequências e potências autorizadas pela Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel), estão diretamente relacionadas à distância que um usuário pode estar da ERB mais próxima. Antes deste evento, a Anatel já estudava a descontinuidade das tecnologias 2G e 3G no país, como parte da evolução natural dos serviços de comunicação móvel [5].

Entretanto, o efeito causado pelo evento climático sugere que a ausência das tecnologias 2G e 3G poderia ter um impacto negativo nas comunicações das áreas afetadas no Rio Grande do Sul. O entendimento deste evento climático, assim como os potenciais impactos futuros decorrentes da descontinuidade dessas tecnologias, ainda não foram completamente elucidados, especialmente em situações nas quais a resiliência da rede é testada de maneira crítica. Diante desse contexto, neste artigo, apresentamos nossos resultados preliminares, visando responder às seguintes perguntas de pesquisa:

- **PP1:** Quais foram os principais fatores que contribuíram para a interrupção dos serviços de telefonia móvel durante os desastres?
- **PP2:** Como seria a cobertura da área afetada caso as tecnologias 2G e 3G não estivessem disponíveis?

A contribuição deste artigo consiste em apresentar nossa abordagem e os resultados preliminares obtidos, com o objetivo de responder às perguntas de pesquisa propostas. Na [Seção 3](#), detalhamos a metodologia utilizada para a coleta e o processamento dos dados; na [Seção 5](#), expomos os resultados preliminares; e, na [Seção 6](#), delineamos nossas conclusões parciais e indicamos os próximos passos a serem seguidos nesta pesquisa.

## 2 Trabalhos Relacionados

A resiliência das infraestruturas no setor de telecomunicações durante eventos climáticos extremos tem sido objeto de estudo há algum tempo, com foco na análise dos impactos econômicos, métricas de desempenho e processos de recuperação e suas consequências [6]. A maioria dessas pesquisas aborda eventos de curta duração, como furacões, terremotos e tempestades. Seguem dois eventos particularmente relevantes para comparação com o nosso estudo: a inundação em Nova Orleans após a passagem do furacão Katrina em 2005 e os furacões Irma e Maria em Porto Rico em 2017. O

primeiro desastre afetou gravemente a infraestrutura de telecomunicações da Costa do Golfo, especialmente em Nova Orleans, onde enchentes massivas e ventos fortes causaram danos generalizados em grande parte da infraestrutura de comunicações. Redes ópticas e nós críticos de comunicação foram comprometidos e mais de 70% das estações de celular ficaram inoperantes. A falta de fornecimento de energia elétrica e a escassez de combustível para geradores de emergência agravaram ainda mais a situação [7]. Já no segundo desastre, os furacões atingiram Porto Rico com semanas de diferença, onde Irma causou chuvas intensas e falta de energia temporária, enquanto Maria, um furacão de categoria 4, devastou a ilha, destruindo 91% da infraestrutura de telecomunicações. Isso impactou gravemente os serviços essenciais e a economia, impedindo o governo de comunicar informações críticas à população e gerando riscos à segurança pública [8]. A perda de conectividade e a falta de energia foram impactos recorrentes nesses casos, sendo que as interrupções no serviço celular no Rio Grande do Sul teve cerca de 50% das cidades afetadas [9].

## 3 Metodologia

Para identificar os fatores responsáveis pelas interrupções dos serviços de telefonia, utilizamos dois métodos: realizamos uma análise dos dados disponibilizados pela Anatel em seu site oficial, complementada com informações privadas fornecidas pela gerência de rede de uma das operadoras móveis da região. Os dados analisados são compostos das seguintes informações: localização das estações do Serviço Móvel Pessoal (SMP), geração de sinal por estação e impactos nas redes de cada prestadora. Durante o processo de análise, utilizamos a base de dados da Anatel, onde identificamos inconsistências, como erros nas coordenadas geográficas (latitude e longitude) que indicam a localização das Estações de Rádio Base das operadoras. Como resultado, foi necessário recorrer à base de endereços dessas estações, disponibilizada apenas por uma das operadoras que atuam na região. Também foram realizadas entrevistas com profissionais de duas prestadoras, onde abordamos os seguintes temas:

- Quais foram as estratégias para garantir a continuidade dos meios de transmissão dos sites no período mais crítico da enchente?
- Qual o desempenho e alcance na prática de cada tecnologia em áreas urbanas densas, segundo dados de testes de campo?

## 4 Perguntas de Pesquisa

### Quais foram os principais fatores que contribuíram para a interrupção dos serviços de telefonia móvel durante os desastres?

Desastres naturais, como tempestades e alagamentos, como os ocorridos no Rio Grande do Sul, podem danificar as infraestruturas de telecomunicações e interromper os serviços. As causas mais frequentes de afetação a essas estruturas geralmente incluem o rompimento de cabos ópticos, danos em antenas de transmissão, falta de energia, vandalismo e danos em equipamentos de transmissão, não necessariamente nessa ordem [10]. Para responder à nossa primeira pergunta de pesquisa, analisamos *datasets* disponibilizados pela Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel), por meio de painéis e gráficos que mostram os impactos nas redes de telefonia móvel no estado, com uma visão consolidada por município, reunindo os dados de todas as prestadoras [9]. Além disso, examinamos os painéis relacionados ao licenciamento de Estações Rádio Base e Estações Móveis do Serviço Móvel Pessoal (SMP), que apresentam informações por prestadora, quantidade de estações e municípios atendidos [11]. Complementarmente, foram considerados dados obtidos por meio de entrevistas e acesso a informações de gerência de uma operadora da região, onde foi possível mapear a localização das estações de telefonia móvel e quantificar a interrupção dos serviços causada pela enchente.

### Qual teria sido o impacto para os usuários caso somente as tecnologias 4G e 5G estivessem disponíveis?

Cidades como a capital Porto Alegre, registraram perdas significativas de cobertura do sinal nas regiões afetadas pelos alagamentos e em suas proximidades. No evento, as redes 2G e 3G sustentaram a maioria das comunicações nas áreas afetadas. Neste ano de 2024, a Anatel abriu uma consulta pública com o objetivo de planejar e estabelecer um cronograma para a desativação das redes móveis 2G e 3G. Estas tecnologias são responsáveis por mais de 20% das conexões no Brasil. A discussão visa adaptar as telecomunicações às tecnologias mais recentes, como o 4G e eventualmente o 5G, enquanto gerencia os desafios e impactos dessa transição para operadoras, consumidores e serviços públicos essenciais [12]. A transição para redes mais modernas vai permitir taxas de transferência de dados maiores e reduzir significativamente a latência. Isso significa que os usuários terão conexões mais rápidas e estáveis. Por outro lado, essa alteração pode resultar em menor cobertura e resiliência, impactando usuários que ainda dependem dessas tecnologias. A tendência mun-

dial para a descontinuidade de serviços de telefonia celular mais antigos é um fator adicional que pode afetar essa resiliência, podendo implicar inclusive serviços de emergência [13].

Frequências de transmissão mais altas tendem a sofrer maiores perdas de propagação. Isso ocorre porque, à medida que a frequência aumenta, a onda eletromagnética interage mais com o ambiente, enfrentando obstáculos como edifícios, árvores, e até mesmo partículas no ar, que podem absorver ou refletir o sinal. Além disso, as ondas de alta frequência tendem a se dissipar mais rapidamente, exigindo antenas mais precisas e técnicas de transmissão mais robustas para manter a qualidade do sinal. Portanto, quanto maior for a frequência, maior será a perda de propagação e, por consequência, menor a cobertura do sinal [14]. Para responder a nossa segunda pergunta, fizemos uma análise técnica das redes 2G (GSM), 3G (UMTS), 4G (LTE) e 5G (NR), e realizamos uma comparação entre os alcances do sinal do 2G e 5G. Por fim, geramos o mapa de comparação da cobertura das tecnologias 2G com a 5G, nas regiões afetadas pela enchente em Porto Alegre.

## 5 Resultados

Para responder à PP1, além de consultas a sites da época sobre os danos na infraestrutura móvel, realizamos entrevistas com colaboradores de operadoras envolvidas na recuperação das redes durante o evento, onde identificamos dois fatores cruciais: a interrupção prolongada no fornecimento de energia, que durou cerca de 30 dias [15], e o rompimento dos cabos de fibra óptica dos backbones que conectam as estações [16]. Esses fatores impactaram gravemente os sistemas de telecomunicações. Dos atuais 497 municípios, pelo menos 263 deles (~53%) tiveram alguma afetação em seus sistemas de comunicação móvel no mês de maio de 2024, o mais crítico da enchente no Rio Grande do Sul, conforme demonstrado no gráfico (Figura 1) [9].

Para responder à PP2, apresentaremos uma análise comparativa do alcance da rede legada 2G em relação à rede sucessora 5G. Antes disso, faremos um resumo de todas as tecnologias, para um melhor entendimento do estudo. As redes 2G geralmente operam nas faixas de 850 MHz e 1800 MHz. As redes 4G operam em faixas que variam de 700 MHz a 2600 MHz. Em rodovias, pequenas cidades no interior e áreas de baixa densidade populacional, as operadoras frequentemente utilizam a faixa de 700 MHz. No entanto, essa frequência é menos comum em grandes centros urbanos, pois o canal de 10 MHz limita a capacidade de usuários simultâneos e tende a oferecer velocidades mais baixas e,

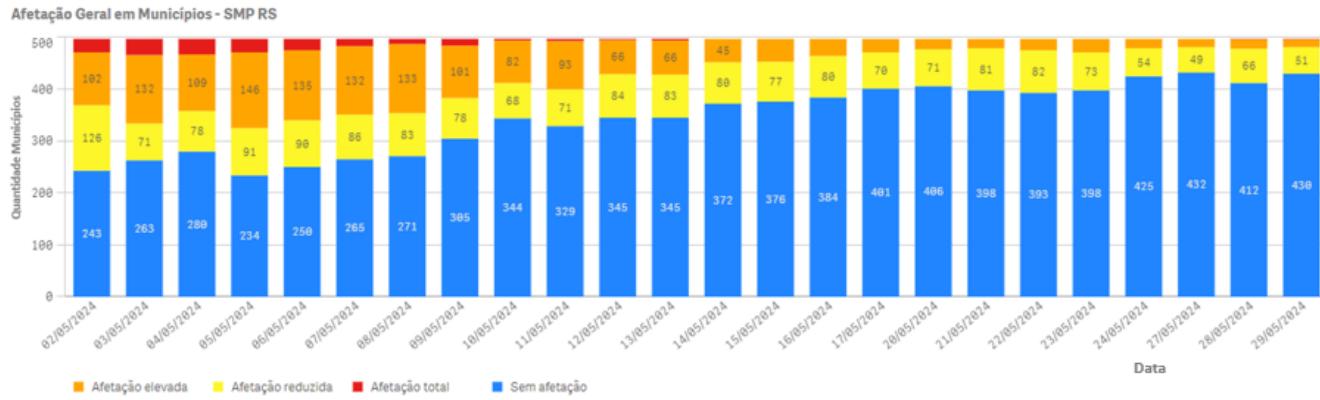


Figura 1. Gráfico representando os impactos nas redes de telefonia móvel das operadoras atuantes no RS, por dia, numa visão consolidada em municípios, obtido no site da Anatel.

nesse caso, são agregadas bandas de frequências mais altas para a transmissão do 4G. Já o 5G, por sua vez, pode utilizar frequências que vão de 2300 MHz até ondas milimétricas, como 3,5 GHz. Contudo, as tecnologias mais recentes tendem a usar frequências mais elevadas, que proporcionam maior capacidade de dados e mais espaço para alocação de largura de banda. Em contrapartida, essas frequências mais altas têm menor alcance e são mais vulneráveis a interferências e obstáculos físicos [17]. As redes móveis 2G apresentam maior alcance em comparação com a 5G, principalmente devido às diferenças nas frequências de operação e na tecnologia utilizada.

Para demonstrar esse fato, podemos simplesmente aplicar a equação de Friis, que mostra que frequências mais baixas resultam em maior potência do sinal na recepção. A fórmula de Friis é frequentemente usada em projetos de links de rádio para avaliar a perda de propagação do sinal de rádio entre um transmissor e um receptor, pois facilita o cálculo de potências, ganhos e perdas. Para facilitar os cálculos e o entendimento, a equação foi convertida para a forma logarítmica, o que transforma multiplicações em somas e divisões em subtrações.

$$P_R = P_T + G_T + G_R + 20 \log \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right) \quad (1)$$

**Equação 1.** Equação de Friis transformada para a forma logarítmica [18].

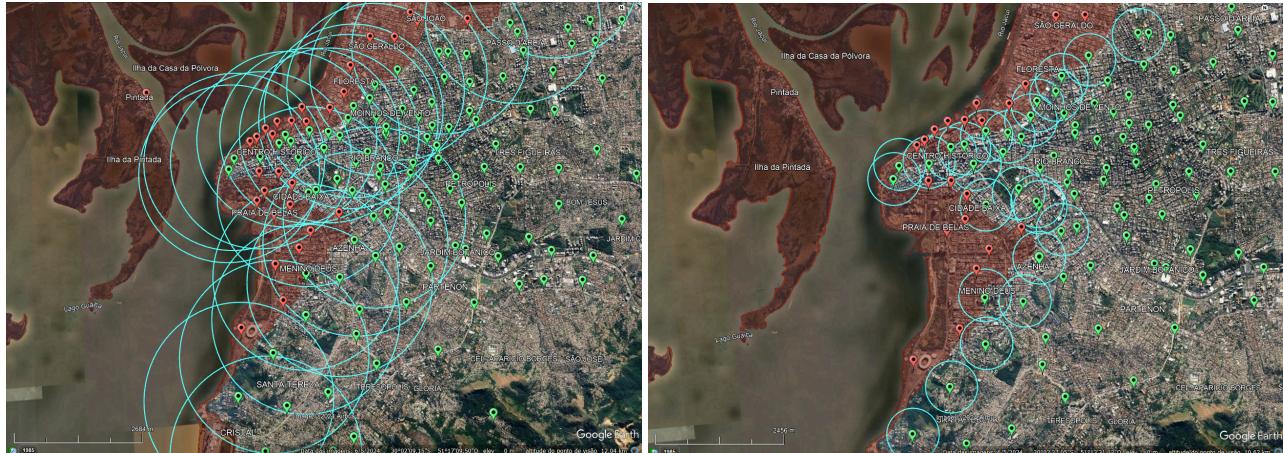
Conforme a fórmula, (PR) e (PT) são expressas em dBm e os ganhos (GT) e (GR) em dB. A potência recebida (PR) leva em consideração a potência transmitida (PT), o ganho das antenas transmissora (GT) e receptora (GR), e as perdas de espaço livre, que dependem da distância entre as antenas (d) e do comprimento de

onda (lambda), o qual está relacionado com a frequência, pois quanto maior o comprimento de onda, menor será a frequência [18]. Isso demonstra que a frequência de 850 MHz tem um alcance significativamente maior do que a frequência de 3500 MHz, o que é esperado devido ao comprimento de onda maior em frequências mais baixas. Frequências mais altas, como 3500 MHz, têm menor alcance, embora possam oferecer maior largura de banda para a transmissão de dados. Para melhor visualizarmos essa análise, usamos os intervalos de alcance por tecnologia apresentados na Tabela 1 como referência, lembrando que fatores como obstáculos, morfologia do terreno, altura da antena, potências máximas de transmissão permitidas pelos órgãos reguladores, tipo de modulação, técnicas de agregação de frequência e o número de usuários podem modificar esses valores.

Tecnologia	Frequência	Alcance
2G - GSM	1800 / 850 MHz	2 a 10 km
3G - UMTS	2100 / 850 MHz	1 a 5 km
4G - LTE	2600 / 2300 / 2100 / 1800 / 850 / 700 MHz	1 a 4 km
5G - NR	3500 / 2300 MHz	0,5 a 2 km

Tabela 1. Frequências licenciadas no Brasil por geração de telefonia móvel [19]. Os alcances são aproximados, baseados em testes de campo de uma operadora na região metropolitana de Porto Alegre e validados com especialistas em Rádio Frequência (RF).

Na geração do mapa a seguir, utilizamos os raios de alcances mínimos de cada tecnologia para simular o pior cenário possível (2 km para o 2G e 0,5 km para o 5G). Também usamos como referência as estações de telefonia móvel de uma operadora local, com redes 2G e 5G ativas, para melhorar a análise de cobertura nas áreas afetadas pela enchente em Porto Alegre, por meio de sua visualização.



**Figura 2.** Mapas das coberturas 2G (esquerda) e 5G (direita) das estações móveis de uma operadora na cidade Porto Alegre. As circunferências em azul sinalizam as coberturas das tecnologias (2G - 2 km e 5G - 0,5 km de raio). Os marcadores em vermelho sinalizam os sites que ficaram fora de operação e os marcadores verdes os que estavam em operação no período da enchente. A área do mapa em vermelho representa a região inundada em 06/05/2024.

A comparação visual no mapa das coberturas 2G e 5G, demonstrado na Figura 2, evidencia a diferença de alcance entre as tecnologias. Ao analisar o mapa de cobertura 5G apresentado, ficou claro o impacto significativo na disponibilidade do sinal nas áreas atingidas pela inundação. Porém, além da frequência, também devem ser considerados o tamanho do canal, a eficiência da modulação e a quantidade de antenas utilizadas tanto na transmissão como na recepção do sinal, o que melhora significativamente a eficiência do espectro e a capacidade de transferência de dados. No 2G é empregada uma tecnologia de modulação mais simples, a *Gaussian Minimum Shift Keying* (GMSK) que, embora não permita altas velocidades de dados, é bastante robusta em ambientes com baixa intensidade de sinal [20]. Já as redes 4G e 5G utilizam esquemas de modulação mais complexos como *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM), o que aumenta a capacidade de transmissão de dados, mas torna a comunicação mais sensível a perdas de sinal e requer uma relação sinal-ruído melhor [21].

Portanto, as redes mais modernas são projetadas para maior capacidade de dados e eficiência, o que geralmente sacrifica o alcance. Como o 2G foi projetado principalmente para voz e SMS, não tinha os mesmos requisitos de capacidade, e assim, otimizou-se o alcance em vez da taxa de dados, pois ondas de rádio em frequências mais baixas têm melhor capacidade de propagação, o que lhes permite percorrer maiores distâncias e atravessar com mais facilidade obstáculos como edifícios e árvores. Com isso, as regiões remotas, áreas rurais, ou mesmo partes de áreas urbanas, onde as redes 2G e 3G ainda são amplamente utilizadas, po-

derão sofrer com a conectividade digital limitada ou nula, caso as operadoras não ofereçam uma cobertura completa e confiável do sinal ao descontinuar essas tecnologias, que são geradas em frequências mais baixas e conseguem atingir maiores distâncias [22].

## 6 Considerações Finais

Segundo conversas com profissionais de operadoras e acessos às informações da época, os principais fatores que levaram à interrupção dos serviços de telefonia móvel durante a enchente foram, primeiramente, a falta de energia elétrica, que durou aproximadamente 30 dias, e o rompimento dos cabos de fibra óptica dos backbones que interligam as estações. Esses eventos impactaram severamente os sistemas de telecomunicações, restringindo o uso da tecnologia em meio à catástrofe. Por meio de uma simulação simplificada, com base nos dados fornecidos pela Anatel e pelas operadoras, observou-se que, se apenas as tecnologias 4G e 5G estivessem disponíveis durante a inundação nas cidades, os impactos para os usuários teriam sido ainda mais severos.

Embora esse seja um trabalho preliminar, planejamos realizar uma pesquisa mais aprofundada, com a elaboração de mapas de cobertura dos sinais de todas as tecnologias (2G, 3G, 4G e 5G) nas regiões afetadas pela enchente, a fim de obter uma melhor compreensão e novas perspectivas sobre a descontinuidade dos serviços legados.

## Declarções complementares

### Disponibilidade de dados e materiais adicionais

Parte dos dados utilizados nesta análise poderão ser disponibilizados mediante solicitação.

## Referências

- 1 Desenvolvimento Rural (SDR), G. D. E. D. R. G. D. S. S. de. <https://www.estado.rs.gov.br/upload/arquivos/202406/relatorio-sisperdas-evento-enchentes-em-maio-2024.pdf>. Mai. 2024. (Accessed on 10/21/2024).
- 2 Telesintese. *Chuvas no Sul: operadoras abrem o roaming*. Mai. 2024. <https://telesintese.com.br/chuvas-no-sul-destroem-infraestrutura-de-rede-operadoras-liberam-o-roaming/>.
- 3 Ministério das Comunicações. *Balanço de ações emergenciais do Ministério das Comunicações para o Rio Grande do Sul*. Mai. 2024. <https://www.gov.br/mcom/pt-br/noticias/2024/maio/balanco-de-acoes-emergenciais-do-ministerio-das-comunicacoes-para-o-rio-grande-do-sul-7-de-maio-1>. (Accessed on 09/16/2024).
- 4 Rodrigues, A. *Defesa Civil de Eldorado do Sul pede socorro para resgatar ilhados* / Agência Brasil. Mai. 2024. <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2024-05/defesa-civil-de-eldorado-do-sul-pede-socorro-para-resgatar-ilhados>.
- 5 Anatel. *Anatel promove Tomada de Subsídios para transição dos padrões 2G e 3G para 4G e 5G* — Agência Nacional de Telecomunicações. Out. 2023. <https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/noticias/anatel-promove-tomada-de-subsidios-para-transicao-dos-padroes-2g-e-3g-para-4g-e-5g>.
- 6 Jahn, M. Economics of extreme weather events: Terminology and regional impact models. *Weather and Climate Extremes*, v. 10, p. 29–39, 2015. ISSN 2212-0947. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.005>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212094715300141>.
- 7 Kwasinski, A. et al. Telecommunications power plant damage assessment for hurricane katrina—site survey and follow-up results. *IEEE Systems Journal*, IEEE, v. 3, n. 3, p. 277–287, 2009.
- 8 Cordova, A.; Stanley, K. D. Public-private partnership for building a resilient broadband infrastructure in Puerto Rico. *Telecommunications Policy*, v. 45, n. 4, p. 102106, 2021. ISSN 0308-5961. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2021.102106>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308596121000112>.
- 9 Anatel. *Recuperação das Redes*. Jul. 2024. <https://informacoes.anatel.gov.br/paineis/utilidade-publica/recuperacao-das-redes>.
- 10 Monteiro, V. L.; Moura, R. A. de. *A Importância das Comunicações e o Papel das Tecnologias da Informação na Gestão de Riscos de Desastres*. Jul. 2020. [https://www.agbauru.org.br/publicacoes/Reducao2020/Reducao\\_2ed-2020-31.pdf](https://www.agbauru.org.br/publicacoes/Reducao2020/Reducao_2ed-2020-31.pdf).
- 11 Anatel. *Anatel - Estações do SMP*. Jul. 2024. <https://informacoes.anatel.gov.br/paineis/outorga-e-licenciamento/estacoes-do-smp>.
- 12 Anatel. *Tomada de Subsídio nro 23*. Set. 2023. <https://apps.anatel.gov.br/ParticipaAnatel/>.
- 13 GSMA. *GSMA Official Document*. Nov. 2022. [https://www.gsma.com/newsroom/wp-content/uploads//NG\\_136-Emergency-Services-White-Paper-v1.0.pdf](https://www.gsma.com/newsroom/wp-content/uploads//NG_136-Emergency-Services-White-Paper-v1.0.pdf).
- 14 Tataria, H. et al. Standardization of propagation models for terrestrial cellular systems: A historical perspective. *International Journal of Wireless Information Networks*, Springer, v. 28, p. 20–44, 2021.
- 15 247, B. *Quase metade das cidades do RS ainda têm problemas com falta de energia elétrica após enchentes* / Brasil 247. Mai. 2024. <https://www.brasil247.com/regionais/sul/quase-metade-das-cidades-do-rs-ainda-tem-problemas-com-falta-de-energia-eletrica-apos-enchentes>. (Accessed on 10/17/2024).
- 16 Lima, C. *Chuvas no RS deixam 13% dos clientes de fibra óptica da Vivo sem internet*. Mai. 2023. <https://www.minhaoperadora.com.br/2024/05/chuvas-no-rs-deixam-13-dos-clientes-de-fibra-optica-da-vivo-sem-internet.html>. (Accessed on 09/29/2024).
- 17 Bai, T.; Alkhateeb, A.; Heath, R. W. Coverage and capacity of millimeter-wave cellular networks. *IEEE Communications Magazine*, v. 52, n. 9, p. 70–77, 2014. DOI: [10.1109/MCOM.2014.6894455](https://doi.org/10.1109/MCOM.2014.6894455).
- 18 Lemos, N. A. *Caracterização de cobertura de sinais na faixa de 700 MHz em ambientes indoor*. 2016. Diss. (Mestrado) – IF Paraíba.
- 19 Anatel. *Spectrum-E: Emissões*. Jun. 2022. <https://sistemas.anatel.gov.br/se/public/view/b/licenciamento.php?view=licenciamento>. (Accessed on 10/01/2024).
- 20 Kumar, R. GMSK-World's Most Widely Used Modulation Technique. *Cosmos Journal of Engineering & Technology*, v. 5, n. 2, p. 1–6, 2015.
- 21 Camboim, V. C. [teleco.com.br/tutoriais/tutorialvdconsis2/pagina\\_4.asp](https://teleco.com.br/tutoriais/tutorialvdconsis2/pagina_4.asp). (Accessed on 09/30/2024).
- 22 Veja. *Telefonia móvel: o desafio de desativar as linhas 2G e 3G* / VEJA. Mai. 2024. <https://veja.abril.com.br/coluna/neuza-sanches/telefonia-movel-o-desafio-de-desativar-as-linhas-2g-e-3g>.