

[Open in app](#)

Search



# Análise de Dados das Interrupções no Sistema Elétrico de Distribuição no Nordeste em 2023



Victor Barros

25 min read · Just now



Share



More



## 1. Introdução e Objetivo do Projeto

Este projeto tem como objetivo analisar as interrupções de energia elétrica na rede de distribuição do Nordeste do Brasil ao longo de 2023. O objetivo principal é analisar a frequência, a duração, a quantidade de consumidores afetados por essas interrupções, identificar os fatores que contribuíram para essas ocorrências e explorar possíveis correlações com fatores externos, como os dados mensais de chuva na região. Utilizando bases de dados públicas disponibilizadas pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) e pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), foi realizada uma análise exploratória abrangente dos dados utilizando a linguagem de programação Python para a extração, tratamento e análise.



## 2. Visão Geral

Atualmente o acesso à energia elétrica está relacionada diretamente com qualidade de vida e desenvolvimento da sociedade. Para isso, garantir que o fornecimento de serviço seja confiável, de qualidade e disponível 100% do tempo é o principal objetivo de uma concessionária de distribuição de energia elétrica. Porém, por se tratar de um serviço essencial e que exige uma estrutura complexa e com muitas etapas, entender e evitar qualquer tipo de interrupção no fornecimento é algo extremamente importante para um serviço de qualidade.

Neste sentido, o órgão regulador do sistema elétrico, ANEEL, impõe às concessionárias de energia elétrica regras e procedimentos para que o fornecimento de energia seja confiável, seguro e de qualidade. Por sua vez, as distribuidoras de energia elétrica tentam a todo custo evitar que haja uma interrupção no fornecimento de energia para não serem penalizadas pela regulação.

Garantir um fornecimento confiável e contínuo é o principal objetivo das concessionárias de energia. Para evitar penalidades da ANEEL, é crucial entender e prevenir interrupções no serviço. Analisar as principais causas dessas interrupções ajuda a melhorar os indicadores de qualidade de energia e protege a rede elétrica, beneficiando tanto os consumidores quanto as distribuidoras.



### 3. Entendimento do Negócio

O sistema de distribuição de energia elétrica é responsável por captar esse recurso do setor de transmissão e transferi-la com a tensão regulada para os consumidores finais, sejam eles empresas ou residências. Este segmento é crucial para a entrega de energia e a cobrança proporcional ao consumo mensal dos usuários (KAGAN, 2005). A estrutura de distribuição inclui fios condutores, equipamentos de proteção, medição e controle, e transformadores, formando uma rede ramificada com equipamentos de menor escala comparados ao sistema de transmissão.

#### 3.1 Estrutura e Configuração da Rede de Distribuição

As redes de distribuição são subdivididas em três tipos, dependendo da tensão elétrica:

- Redes de Alta Tensão (Subtransmissão): Transportam tensões de 138kV, reduzindo para até 34,5kV.
- Redes de Média Tensão (Distribuição Primária): Interligam a subtransmissão e a baixa tensão.
- Redes de Baixa Tensão (Distribuição Secundária): Operam entre 127V e 380V, conectando-se diretamente às residências (KAGAN, 2005).

As redes de distribuição primária podem ser aéreas ou subterrâneas. As redes aéreas são mais comuns devido ao custo mais baixo, enquanto as redes subterrâneas são usadas em áreas de alta densidade de carga ou com restrições estéticas.

### **3.2 Regulação e Qualidade do Serviço**

Para assegurar a qualidade do fornecimento de energia elétrica, a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) estabeleceu os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica (PRODIST), que padronizam as atividades de distribuição. O módulo 8 do PRODIST é especialmente relevante, pois aborda a qualidade do serviço e da energia elétrica (ANEEL, 2022). A ANEEL utiliza diversos indicadores para monitorar a qualidade do serviço, incluindo a continuidade do fornecimento. Esses indicadores são públicos e permitem a avaliação do desempenho das distribuidoras em diferentes regiões do Brasil.

### **3.3 Indicadores de Continuidade**

Os indicadores de continuidade são fundamentais para medir a qualidade do serviço de distribuição. Eles avaliam a duração e a frequência das interrupções, tanto em nível individual quanto coletivo. Interrupções com duração superior a três minutos são consideradas significativas e impactam negativamente os indicadores. A ANEEL estabelece que o Consumidor Hora interrompido (CHI) é calculado com base na Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora (DIC), expresso em horas (ANEEL, 2021) ou de maneira mais clara multiplicando a quantidade de clientes(consumidores) interrompidos pela duração da interrupção.

### **3.4 Importância da Minimização de Interrupções**

Minimizar as interrupções é crucial para garantir a qualidade do serviço de distribuição. Menor duração, menor frequência de interrupções e um número reduzido de clientes afetados resultam em melhores classificações nos indicadores de continuidade. Essa prática não só garante a satisfação dos consumidores, mas também evita penalidades regulatórias, como multas e compensações financeiras aos consumidores afetados. Ao longo do projeto vamos nos referir as interrupções também chamando-as de ocorrências.

### **3.5 Tipos de Análise Realizados:**



- Análise exploratória dos dados
- Análise das sazonalidade
- Analise da relação entre variáveis quantitativas e categóricas

### 3.6 Principais Indicadores Chave de Desempenho:

- Número de Ocorrências ou Interrupções
- Duração das Interrupções
- Quantidade de Consumidores Atingidos
- Valor do CHI (Consumidor Hora Interrompido)



## 4. Análise dos Dados de Interrupção de Energia Elétrica no Nordeste em 2023

Perguntas a serem respondidas:

1. Qual foi o número total de interrupções na rede de distribuição do sistema elétrico na região Nordeste em 2023?
2. Como são distribuídas as variáveis numéricas (Duração, Consumidores Atingidos, CHI) das interrupções ao longo do ano?

3. Existe alguma sazonalidade nas interrupções ao longo das estações do ano?
4. Qual é a correlação entre o volume de chuva mensal e o número de ocorrências de interrupção no sistema elétrico?
5. O que aconteceu em agosto de 2023 para que o número de consumidores afetados fosse tão elevado?
6. Qual é a predominância das variáveis categóricas (Origem, Tipo, Responsabilidade, Causa) nas interrupções do sistema elétrico de distribuição?
7. Como as diferentes causas afetam a duração das interrupções e o número de consumidores atingidos?

4.1 Análise inicial dos dados e das variáveis quantitativas

Inicialmente, vamos avaliar o número total de interrupções em 2023 e realizar uma análise descritiva das variáveis numéricas: **Duração, Consumidores Atingidos e CHI**. A partir dessa análise, poderemos aprofundar nosso estudo sobre as ocorrências de interrupção no sistema elétrico de distribuição.

*No ano de 2023, foram registradas um total de 1.850.846 interrupções na rede de distribuição do sistema elétrico na região Nordeste.*

Essas 1.850.846 ocorrências podem ser quantificadas através de sua duração, o número de consumidores afetados e o índice CHI, que representa a soma das durações de interrupção individuais em cada ocorrência. Analisar esses valores em relação a cada variável categórica (ou qualitativa) é essencial para compreender o sistema elétrico, identificando os principais fatores por trás dessas interrupções, como suas causas predominantes e os elementos que mais influenciam na duração ou na quantidade de clientes afetados. Essa análise permite a descoberta de padrões que podem ser fundamentais para as distribuidoras de energia agirem de forma mais eficaz, visando à minimização dessas ocorrências no futuro.

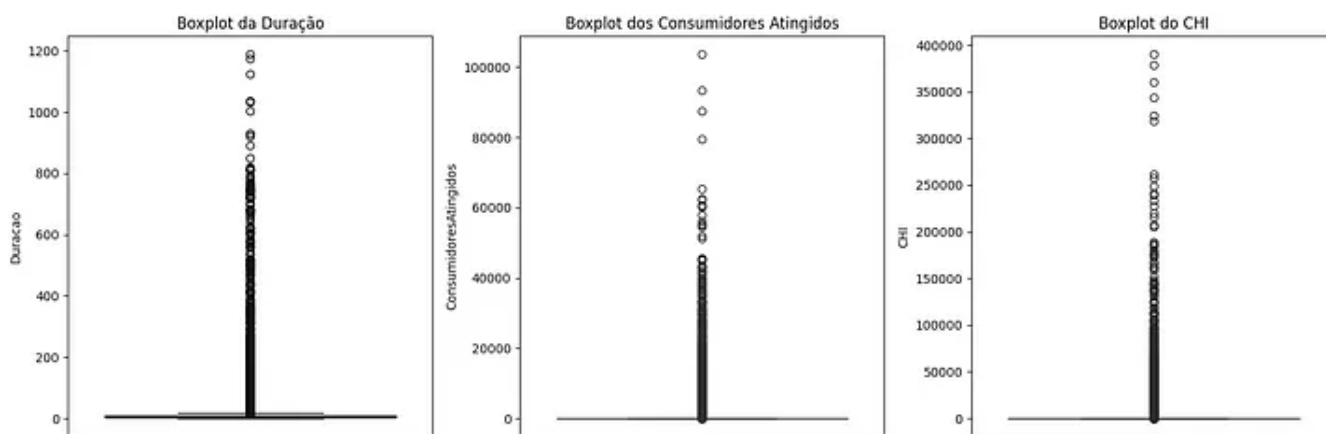
	count	mean	std	min	25%	50%	75%	max
ConsumidoresAtingidos	1850846.0	98.73	609.07	1.00	1.00	1.00	24.00	103581.00
Duracao	1850846.0	7.48	13.10	0.05	2.02	3.78	8.18	1187.52
CHI	1850846.0	252.90	1764.28	0.05	3.24	12.02	97.50	389893.92

Observando as estatísticas descritivas dos **Consumidores Atingidos**, podemos notar uma disparidade marcante entre a média, que é de 98,73 consumidores, e a mediana, que se situa em 1 consumidor. Além disso, o valor máximo registrado chega a 103.581 consumidores afetados. Esses dados indicam que, embora a maioria das ocorrências afete um número reduzido de consumidores, há algumas situações de interrupção que afetam um volume significativo de clientes ao longo do ano. Essas ocorrências de alta magnitude têm um impacto considerável neste indicador.

Para **Duração**, a média relativamente alta em comparação com a mediana e o grande desvio padrão indicam uma dispersão ampla na distribuição da duração das interrupções. Isso significa que há uma variedade de eventos de diferentes durações, desde eventos muito curtos até eventos bastante longos.

No **CHI** a diferença grande entre a média e o desvio padrão indica a presença de valores extremos ou *outliers* que têm uma influência significativa no CHI. Esses outliers podem representar eventos excepcionalmente graves ou incomuns que podem exigir atenção especial durante nossa análise.

Vale ressaltar que até o momento estamos analisando todos os valores sem considerar se houve ou não expurgo de algumas ocorrências a depender da causa.



Boxplot das variáveis quantitativas

A análise dos boxplots das três variáveis numéricas revela claramente a presença de vários outliers. O tratamento dessas observações atípicas é de suma importância para a análise, pois pode influenciar significativamente os resultados. Existem diversas estratégias disponíveis para lidar com outliers, incluindo a exclusão ou substituição de valores discrepantes.

Entretanto, para esta análise específica, optamos por não excluir ou substituir os outliers. Essas ocorrências representam eventos reais e são de extrema importância para compreender o funcionamento do sistema elétrico como um todo. Portanto, optamos por considerar esses valores extremos como parte integrante do conjunto de dados, a fim de garantir uma análise abrangente e precisa do sistema.

Para análises de dados, é crucial considerar cuidadosamente qual medida de tendência central utilizar, especialmente diante da presença de outliers. Nesse contexto, a média pode ser fortemente influenciada por valores extremos, o que pode distorcer a interpretação. Portanto, a mediana surge como uma excelente alternativa, proporcionando uma medida mais robusta para compreender a distribuição dos valores.

#### 4.2 Análise dos Dados ao Longo dos Meses de 2023

Ao analisar o ano de 2023 como um todo, surgem algumas perguntas intrigantes. A primeira delas é: como será o comportamento da quantidade de interrupções ao longo do ano? Será que é uniforme, ou seja, todos os meses registram quantidades semelhantes, ou será que o período do ano influencia na quantidade de interrupções? Além disso, podemos nos questionar sobre as razões por trás desses padrões. Será possível descobrir as causas subjacentes a essas variações e identificar os principais determinantes que contribuem para o aumento ou diminuição das interrupções ao longo do ano?

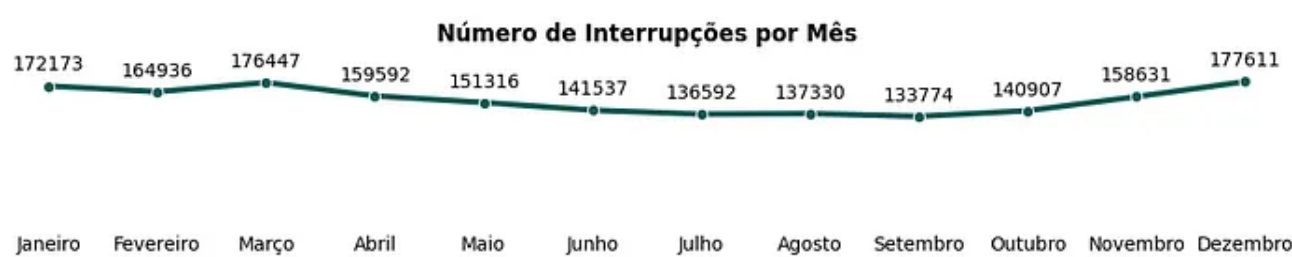


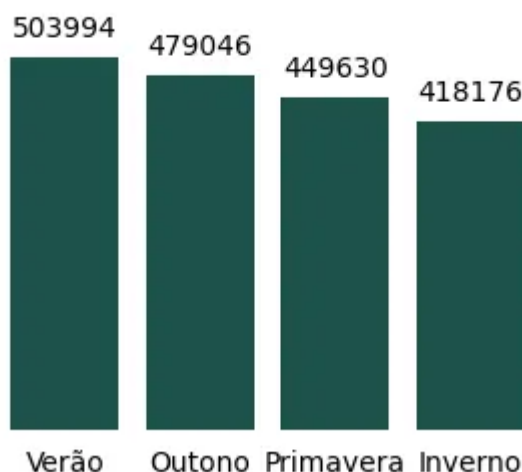
Gráfico do Número de Interrupções por mês no nordeste em 2023

Ao analisarmos o gráfico, é perceptível que o número de ocorrências ao longo do ano não é uniforme. Há meses em que registramos uma quantidade menor de interrupções, enquanto em outros observamos um aumento significativo. Entretanto, dado que estamos examinando apenas um ano de dados, ainda não podemos afirmar com certeza se esse comportamento é considerado atípico ou se é algo esperado. No entanto, essa variação é um fenômeno esperado e está intimamente ligada a um fator chave : o clima.



Com base nessas observações, podemos realizar uma segmentação mais detalhada do comportamento das ocorrências, levando em consideração as estações do ano. Ao analisarmos mais de perto, podemos notar que o número de ocorrências é mais elevado no início e no final do ano, atingindo seu pico em dezembro, durante o verão. Essa tendência persiste durante o outono, com uma leve queda no número de interrupções. A partir de junho, que marca o início do inverno, observamos uma queda mais acentuada nas ocorrências, alcançando seu valor mínimo em setembro, no final do inverno e no início da primavera. Essa análise sazonal oferece insights valiosos sobre como as variações climáticas ao longo do ano podem influenciar as interrupções na rede de distribuição de energia elétrica.

### Número de ocorrências por estação do ano



Ao analisar o comportamento das interrupções ao longo das estações do ano, observamos que o verão apresenta o maior número de ocorrências, seguido pelo outono e pela primavera, enquanto o inverno registra o menor número. Essa tendência é observada em toda a região do Nordeste. No entanto, podemos realizar uma análise mais detalhada, segmentando os dados por distribuidora de energia elétrica, que em sua maioria corresponde a cada estado da região. Isso nos permitirá examinar de perto como as características específicas de cada região podem influenciar o número de interrupções ao longo das estações do ano.

Estacao	Inverno	Outono	Primavera	Verão	Estacao com Maior Numero de Ocorrencias	Estacao com Menor Numero de Ocorrencias
Distribuidora						
COSERN	20725	23923	19949	26451	Verão	Primavera
ENEL CE	81478	92212	80851	96270	Verão	Primavera
Equatorial MA	70072	88968	82420	96193	Verão	Inverno
Equatorial PI	44261	56252	70575	74970	Verão	Inverno
COELBA	53553	57618	62800	62175	Primavera	Inverno
CELPE	51140	57051	46647	51413	Outono	Primavera
EPB	34899	38019	30318	37480	Outono	Primavera
ESE	19641	19671	17270	16795	Outono	Verão
Equatorial AL	34674	37566	32402	35113	Outono	Primavera
SULGIPE	3414	3600	3017	3336	Outono	Primavera
EBO	4319	4166	3381	3798	Inverno	Primavera

Como evidenciado na tabela, quase todas as distribuidoras apresentam seu maior número de ocorrências durante o verão ou o outono, enquanto o menor número de interrupções é observado no inverno ou na primavera. Esses resultados corroboram com a análise anterior das estações do ano, reforçando a influência sazonal nas interrupções na rede de distribuição de energia elétrica.

Embora planejemos analisar as principais causas de interrupção posteriormente, podemos iniciar investigando um possível comportamento similar entre o número interrupções na rede e as condições climáticas. Esta abordagem nos permitirá avaliar se existem padrões ou tendências que associam eventos meteorológicos, como tempestades, ventos fortes ou altas temperaturas, ao aumento das interrupções. Essa análise inicial nos ajudará a entender melhor como as condições climáticas podem impactar a confiabilidade e a estabilidade do sistema elétrico.



Apesar de ser uma região territorialmente extensa, o Nordeste do Brasil apresenta características climáticas típicas, especialmente em relação ao período chuvoso. Geralmente, a estação das chuvas ocorre no verão e no outono, enquanto a

primavera e o inverno são marcados por um período de estiagem, como podemos ver nos gráficos acima.

Os gráficos mostram um padrão similar ao número de ocorrências de interrupção no sistema elétrico de distribuição por mês. Observa-se que as interrupções são mais frequentes entre janeiro e março, quando os valores são mais altos. Após esse período, há uma queda gradual nas interrupções, atingindo o ponto mais baixo entre setembro e outubro. A partir daí, os valores voltam a subir. Este comportamento reflete uma possível correlação entre o volume de chuvas e as falhas no sistema de distribuição elétrica, indicando que os meses mais chuvosos tendem a ter mais interrupções.

Para isso, vamos investigar mais a fundo a correlação entre os dados sobre chuva e o número de ocorrências de interrupção no sistema elétrico de distribuição. A análise detalhada dessas variáveis pode revelar como os períodos chuvosos afetam a estabilidade do fornecimento de energia elétrica na região.

*A correlação entre o número de ocorrências e o total de chuva no mês é de : 0.67*

*A correlação entre o número de ocorrências e a média de dias com chuva no mês é de : 0.56*

Baseando-se na interpretação do valor da correlação de Parvez Ahammad ,mostrada na figura abaixo, e aplicando-a aos dados dessa análise, podemos concluir o seguinte:

**Correlação com o Volume de Chuva Mensal (67%):** A correlação moderada a alta de aproximadamente 67% entre o número de ocorrências de interrupção no sistema elétrico de distribuição e o total de precipitação mensal no Nordeste indica que um aumento no volume de chuva mensal está fortemente associado a um aumento correspondente no número de interrupções. Isso sugere que períodos de chuvas intensas podem impactar significativamente a operação e a confiabilidade do sistema elétrico na região.

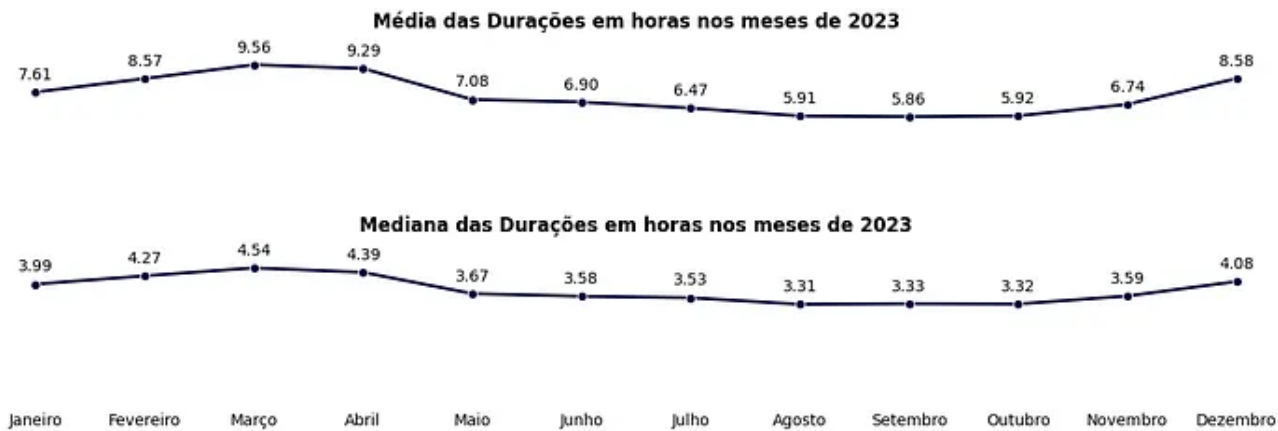
**Correlação com o Total de Dias Chuvosos por Mês (56%):** A correlação moderada de 56% entre o número de ocorrências de interrupção e o total de dias chuvosos por mês também é significativa. Isso indica que mais dias chuvosos ao longo do mês estão correlacionados a um aumento nas interrupções no sistema elétrico. Embora essa relação seja menos intensa do que a correlação com o volume total de chuva,

ela sugere que tanto a intensidade quanto a frequência das chuvas têm impacto na operação do sistema elétrico.

Size of Correlation	Interpretation
.90 to 1.00 (−.90 to −1.00)	Very high positive (negative) correlation
.70 to .90 (−.70 to −.90)	High positive (negative) correlation
.50 to .70 (−.50 to −.70)	Moderate positive (negative) correlation
.30 to .50 (−.30 to −.50)	Low positive (negative) correlation
.00 to .30 (.00 to −.30)	negligible correlation

Tabela de correlação segundo Parvez Ahammad

Outra análise que podemos realizar, seguindo a abordagem anterior, é examinar o comportamento ao longo dos meses das variáveis numéricas Duração, Consumidores Atingidos e CHI. Utilizaremos tanto a média quanto a mediana para identificar a presença de ocorrências com valores extremos e entender melhor a distribuição dessas variáveis ao longo do tempo.



Observando os gráficos, podemos notar que o comportamento da média e da mediana ao longo dos meses é semelhante entre si. Além disso, esses padrões são similares aos observados nas análises anteriores relacionadas à chuva no Nordeste, sugerindo que pode haver uma correlação entre a duração das ocorrências e esses padrões climáticos.

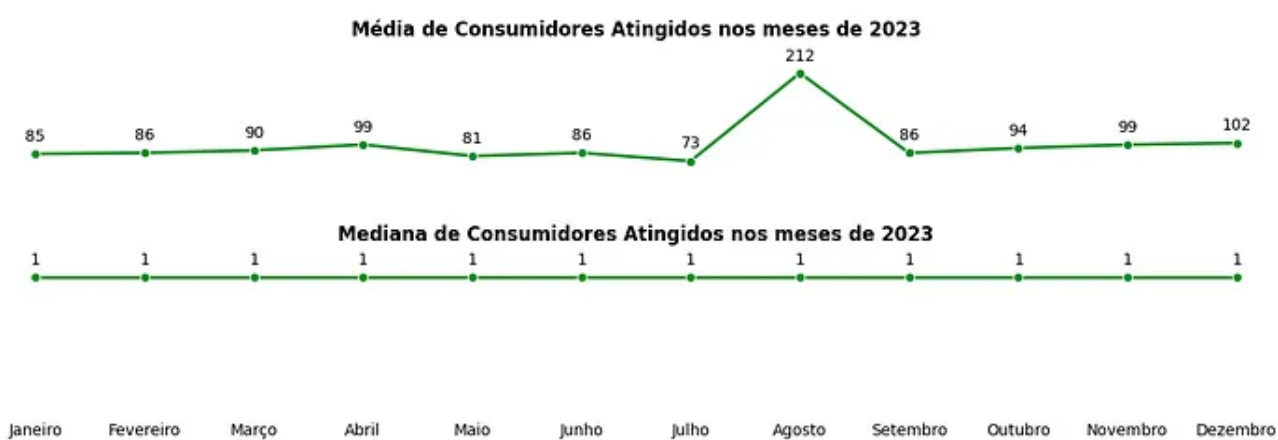
É interessante observar que os valores da média são aproximadamente o dobro dos valores da mediana. Isso sugere que existem meses em que ocorrem eventos com durações muito elevadas, que afetam significativamente a média dos dados. Essas

ocorrências com valores muito elevados podem influenciar a análise e indicam uma dispersão maior nos dados de duração ao longo do tempo.

*A correlação entre a duração das ocorrências e o total de chuva no mês é de : 0.88*

A correlação de 88% entre a mediana da duração das interrupções por mês e o total de chuva por mês indica uma forte relação entre essas variáveis. Isso sugere que a quantidade de chuva influencia significativamente o tempo necessário para recompor (consertar) as interrupções no sistema elétrico de distribuição.

Vamos verificar agora o comportamento com relação aos Consumidores Atingidos



Em relação aos Consumidores Atingidos, os gráficos de média e mediana revelam informações bastante importantes. Primeiramente, observamos uma diferença significativa em seus comportamentos. Enquanto a mediana mostra uma estabilidade ao longo dos meses, indicando que metade das ocorrências registra apenas um consumidor atingido, a média apresenta variações mensais notáveis.

Em particular, no mês de agosto, observamos uma variação significativa no valor médio. Isso sugere que eventos ocorridos neste mês impactaram fortemente o número de consumidores afetados, influenciando tanto a média mensal quanto a média anual, como já mencionado anteriormente. Vamos investigar mais detalhadamente este mês para compreender melhor esses eventos específicos.

Antes disso, vamos analisar o comportamento do CHI (índice de interrupções por consumidor) durante o ano. Vale ressaltar que, para os Consumidores Atingidos, não foi feita uma análise de correlação, pois a mediana se manteve constante ao longo do período.





Considerando que o CHI é o resultado da multiplicação entre Duração e Consumidores Atingidos, podemos observar através dos gráficos que a média do CHI é fortemente influenciada pelo comportamento dos Consumidores Atingidos, especialmente com um pico em agosto. Na mediana, entretanto, esse comportamento não exerce tanta influência, apresentando um padrão mais similar ao da mediana da Duração.

Isso indica que, enquanto a média do CHI reflete variações significativas nos consumidores atingidos, particularmente devido a eventos extremos como os de agosto, a mediana do CHI permanece mais estável, refletindo predominantemente a mediana da Duração das interrupções. Este padrão sugere que, na maioria dos casos, as interrupções afetam um número constante de consumidores, mas eventos excepcionais podem aumentar significativamente a média do CHI.

*A correlação entre o CHI das ocorrências e o total de chuva no mês é de : 0.83*

Como esperado, a mediana do CHI se comporta de forma similar ao gráfico da mediana da Duração, indicando uma correlação forte entre CHI e o total de chuva no mês. Isso nos mostra que o Indicador CHI está relacionado com o total de chuva naquele mês para 2023 no Nordeste.

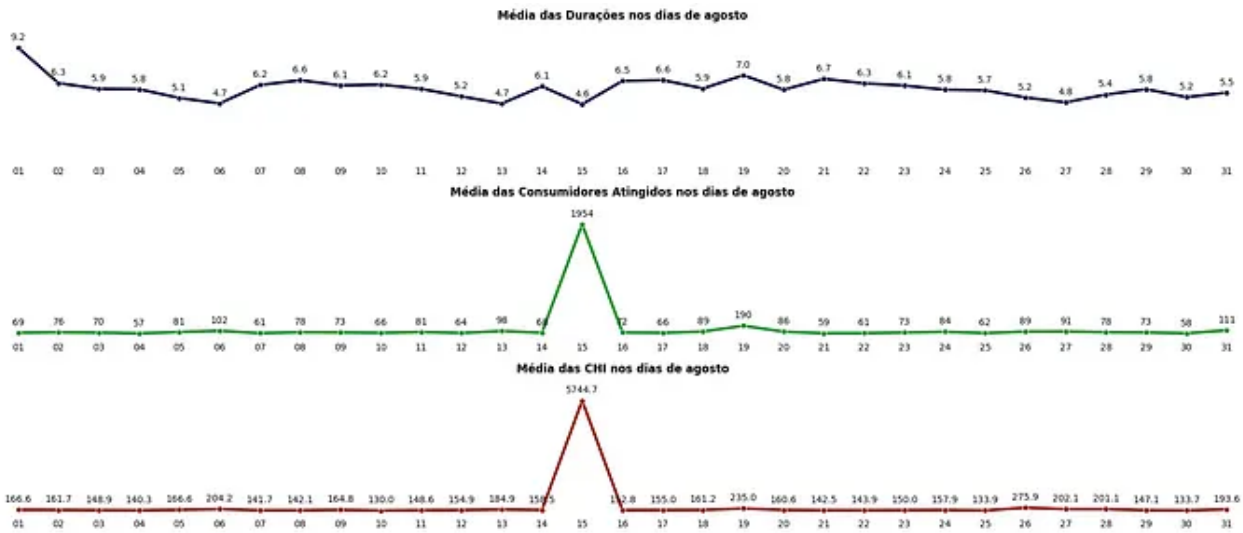
Portanto, podemos concluir que os meses com maior precipitação tendem a registrar maiores valores de CHI, reforçando a influência das condições climáticas nas interrupções de energia.

Contudo, ainda temos perguntas a responder em relação às ocorrências ao longo dos meses. A principal delas, que veremos agora, é: O que aconteceu em agosto para que a média nesse mês fosse tão elevada em relação aos outros meses do ano?

Para entender melhor esse fenômeno, vamos investigar os eventos específicos ocorridos em agosto.

4.2.1 Visualizando o mês de Agosto

Para entender agosto, vamos começar utilizando a media diária, pois ela é mais afetada por valores extremos. Isso nos permitirá determinar se o evento ocorreu ao longo do mês inteiro, durante uma semana específica, por mais de uma semana, ou apenas em alguns dias.



Podemos observar que o comportamento ao longo do mês é geralmente estável, exceto pelo dia 15 de agosto, quando houve um pico muito elevado na média de consumidores afetados, aproximadamente 10 vezes maior do que a maior média em outros dias do mês. No entanto, em relação à duração das interrupções no sistema elétrico, não há outliers semelhantes registrados para o dia 15. Com essas observações, podemos investigar a causa específica registrada nos dados que levou a esse número elevado de clientes afetados.

Analisando detalhadamente as principais ocorrências do dia 15 de agosto, observamos que por volta das 08h30 da manhã várias ocorrências simultâneas se iniciaram, afetando muitos clientes. Essas ocorrências foram identificadas como Alívio de Carga pelo ONS (Operador Nacional do Sistema), sendo externas ao sistema de distribuição, não programadas, e com responsabilidade relacionada ao Alívio de Carga ou características próprias do sistema. A causa identificada foi a atuação do sistema especial de proteção (SEP). Tais incidentes, que afetam um grande número de consumidores, são comumente conhecidos como apagões.

Ao pesquisar na internet sobre o ocorrido em 15 de agosto, encontramos diversas notícias e relatos sobre o evento e suas causas. Isso confirma que o outlier em nossa base de dados não foi um erro de preenchimento, mas sim uma ocorrência real de escala nacional. O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) divulgou várias informações sobre o incidente, incluindo comunicados publicados no dia do ocorrido.

“O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) confirma que hoje, dia 15 de agosto, às 8h31min, houve uma ocorrência no Sistema Interligado Nacional (SIN) que provocou a separação elétrica das regiões Norte e Nordeste das regiões Sul e Sudeste/Centro-Oeste, com abertura das interligações entre essas regiões. Houve pelo menos a perda de 18.900 MW de energia. A interrupção no Sul e no Sudeste foi uma ação controlada para evitar propagação da ocorrência.

O Operador, assim que identificou a situação, iniciou ação conjunta com os agentes para restabelecer a energia nas regiões. A normalização das cargas da região Sul foi concluída às 9h05min e nas regiões Sudeste/Centro-Oeste, às 9h33min. O SIN foi 100% recomposto às 14h49min.

As causas da ocorrência ainda estão sendo apuradas.”

Fonte : <https://www.ons.org.br/Paginas/Noticias/20230815-OCORR%C3%80NCIA-NO-SIN-EM-15-08-2023-ENERGIA-RESTABELECIDA-EM-TODO-O-PA%C3%80DS.aspx>

## 4.3 Análise das Causas

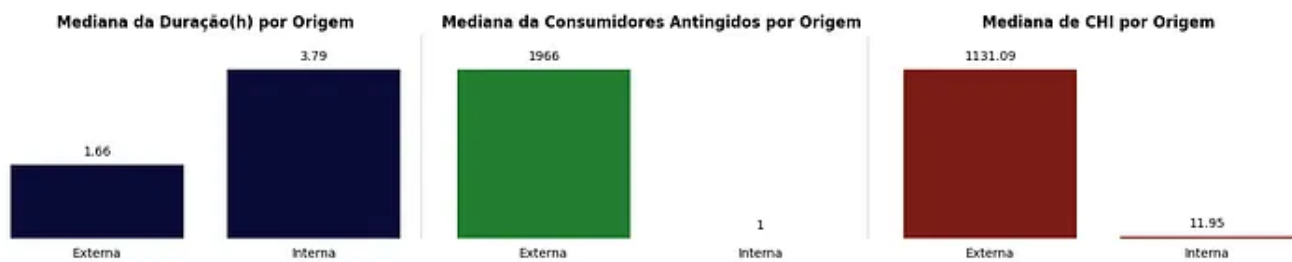
O próximo passo na análise será examinar as variáveis categóricas, avaliando-as com base no número de ocorrências na base de dados. Além disso, iremos relacioná-las com as variáveis numéricas utilizando a mediana, que se mostrou mais robusta e menos suscetível a outliers. Com essa análise, pretendemos obter conclusões relevantes sobre as características das interrupções no sistema de distribuição de energia elétrica. A partir dos dados, poderemos fornecer informações importantes para as distribuidoras de energia, indicando em quais ocorrências elas devem focar suas ações para melhorar a eficiência e a confiabilidade do serviço.

### 4.3.1 Origem

A primeira variável categórica que iremos avaliar é a origem das ocorrências. As interrupções podem ser oriundas do próprio sistema de distribuição de energia, ou seja, de origem interna, ou podem ser de origem externa, relacionadas a outros setores do sistema elétrico, como geração e transmissão.

*Das 1.850.846 interrupções no Nordeste em 2023: 99.7% são de origem interna e 0.3% de origem externa*

A análise da variável “Origem” revela que quase 100% das ocorrências registradas na base de dados são de origem interna, indicando que a maioria das interrupções no sistema de distribuição de energia elétrica ao longo do ano foram causadas por fatores internos. Isso mostra que houve poucos casos registrados no Nordeste onde a origem das interrupções foi externa, como no setor de transmissão. Essa informação sugere que as ações de melhoria e manutenção devem ser prioritariamente focadas no próprio sistema de distribuição.



Ao analisar os gráficos das medianas em relação à origem das ocorrências, podemos verificar que, para interrupções de origem interna, metade delas dura aproximadamente 3,79 horas. No entanto, em metade dessas ocorrências, apenas um cliente é afetado, resultando em uma mediana de CHI (Clientes-Hora Interrompidos) de 11,95. Em contraste, as ocorrências de origem externa, que representam apenas 0,3% da base de dados, têm uma duração menor, mas afetam um número significativamente maior de clientes, resultando em um CHI muito elevado. Com isso, podemos concluir que é essencial adotar ações para evitar ocorrências externas ao sistema de distribuição, a fim de minimizar o impacto sobre o número de clientes interrompidos e melhorar a confiabilidade e a percepção do serviço com o consumidor de energia.

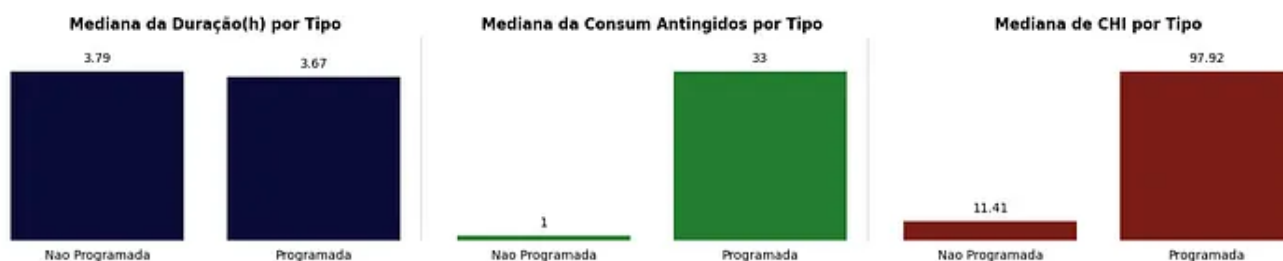
### 4.3.2 Tipo

A próxima variável que iremos analisar é o Tipo de ocorrência, ou seja, se a interrupção foi programada ou não programada. Essa distinção é muito importante

para nossa análise, pois as ocorrências não programadas estão associadas a defeitos ou reparos inesperados. Compreender a diferença entre esses tipos de interrupções nos ajudará a identificar padrões e áreas que necessitam de melhorias, permitindo uma gestão mais eficiente das operações e manutenção do sistema de distribuição de energia.

*Das 1850846 interrupções no Nordeste em 2023: 97.0% são do tipo Não Programada e 3.0% são do tipo Programada*

Como podemos observar, há um desequilíbrio significativo entre os dois tipos de interrupções, assim como vimos em relação à Origem. As ocorrências não programadas representam 97% das interrupções de energia, enquanto as programadas representam apenas 3%. Essa diferença é bastante pronunciada e indica que a grande maioria das interrupções está relacionada a eventos inesperados e não planejados.



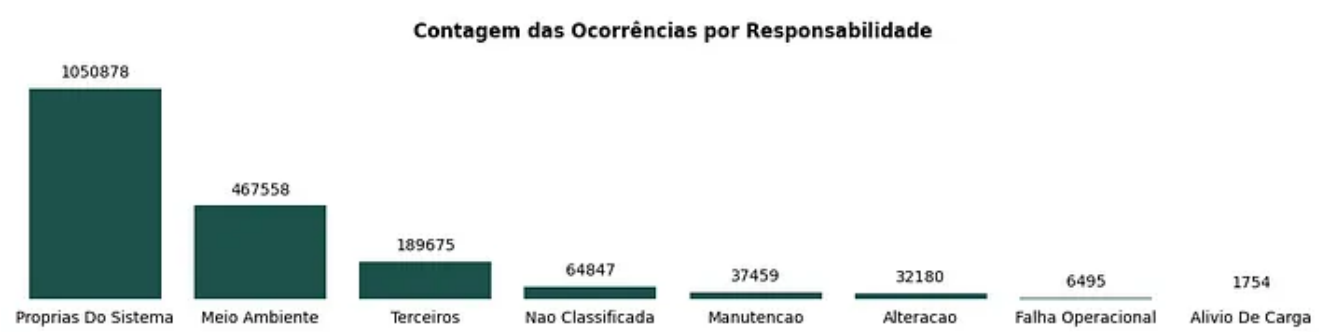
Os gráficos por tipo de ocorrência revelam que a duração das interrupções programadas e não programadas tem praticamente a mesma mediana. No entanto, o número de consumidores atingidos difere significativamente entre os dois tipos. Para ocorrências programadas, metade delas afeta mais de 33 consumidores, resultando em um CHI elevado. Isso ocorre porque as interrupções programadas geralmente são realizadas em áreas maiores, afetando mais clientes, como interrupções programadas em alimentadores, subestações para ampliação da rede ou manutenção. Em contraste, as ocorrências não programadas afetam apenas um consumidor na metade dos casos, refletindo a natureza mais localizada e inesperada desses eventos.

#### 4.3.4 Responsabilidade

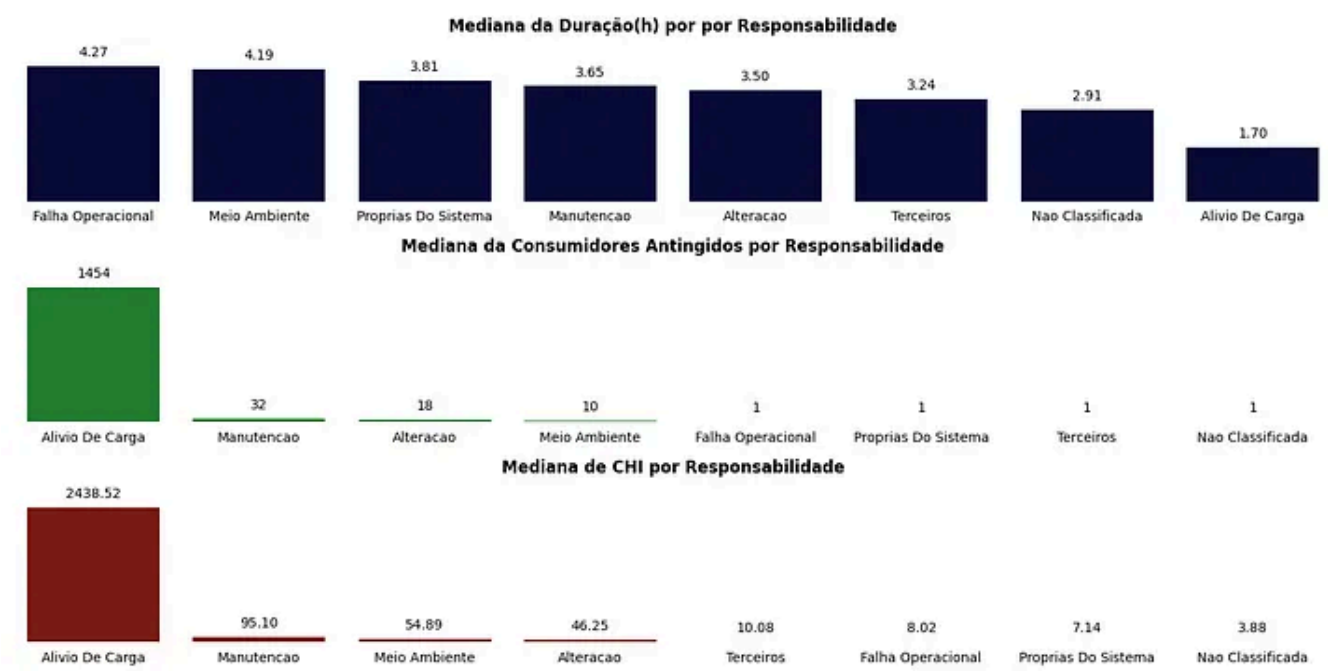
A variável que chamamos de “Responsabilidade” das ocorrências está relacionada à causa macro ou ao tipo de causa que levou à interrupção. Existem oito tipos diferentes de responsabilidade, conforme ilustrado no gráfico a seguir. Essa



categorização é fundamental, pois nos ajuda a compreender os principais fatores geradores das ocorrências. Com essa análise, podemos identificar áreas específicas para atuar de forma preventiva, aprimorando a confiabilidade do sistema de distribuição de energia.



Podemos observar que as responsabilidades “Próprias do Sistema” e as relacionadas ao “Meio Ambiente” são as que mais afetam o sistema elétrico de distribuição. As interrupções próprias do sistema representam mais da metade dessas ocorrências. Isso se deve ao fato de que o sistema de distribuição de energia elétrica é muito extenso e exposto, estando sujeito a desgastes causados diretamente pelo meio ambiente ou por terceiros, além de fatores indiretos. Essa vulnerabilidade implica no alto número de interrupções próprias do sistema, destacando a necessidade de medidas preventivas e de manutenção para melhorar a confiabilidade do serviço.



Quando analisamos a mediana da duração por responsabilidade, observamos que, em geral, as medianas são bastante próximas, indicando que o tempo médio de recomposição da rede é semelhante, independentemente da causa específica da

interrupção. No entanto, essa uniformidade não se aplica à mediana da quantidade de consumidores afetados. Como discutido anteriormente em relação ao apagão de 15 de agosto, as ocorrências de alívio de carga afetaram um número muito grande de clientes, destacando-se como um caso extremo.

Ao excluir esse evento isolado, podemos notar que a responsabilidade “Manutenção e Alteração da Rede” também apresenta um impacto significativo, comparável às demais responsabilidades. Normalmente, essa causa resulta em interrupções que afetam um grande número de clientes, pois envolve o sistema elétrico de distribuição como um todo, incluindo transformadores, alimentadores, subestações, entre outros componentes.

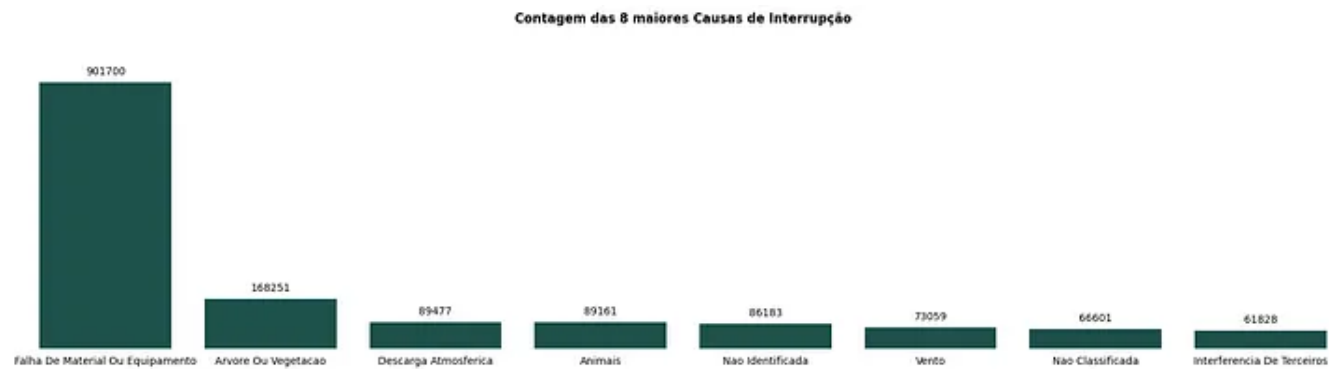
Essa análise reforça a importância de medidas preventivas e de manutenção rigorosa para garantir a confiabilidade e a estabilidade do sistema elétrico de distribuição, minimizando o impacto sobre os consumidores durante eventos não programados.

#### 4.3.5 Causa

Por fim, chegamos à causa das ocorrências, onde encontramos uma ampla variedade de motivos que podem causar interrupções no sistema elétrico de distribuição. É essencial analisar de forma detalhada essas causas para identificar e mitigar aquelas que mais impactam negativamente a rede.

Os motivos por trás das interrupções são diversos e podem incluir desde falhas mecânicas em equipamentos até eventos climáticos severos ou interferências externas. Cada causa demanda uma abordagem específica em termos de manutenção preventiva, atualização de infraestrutura e planejamento operacional.

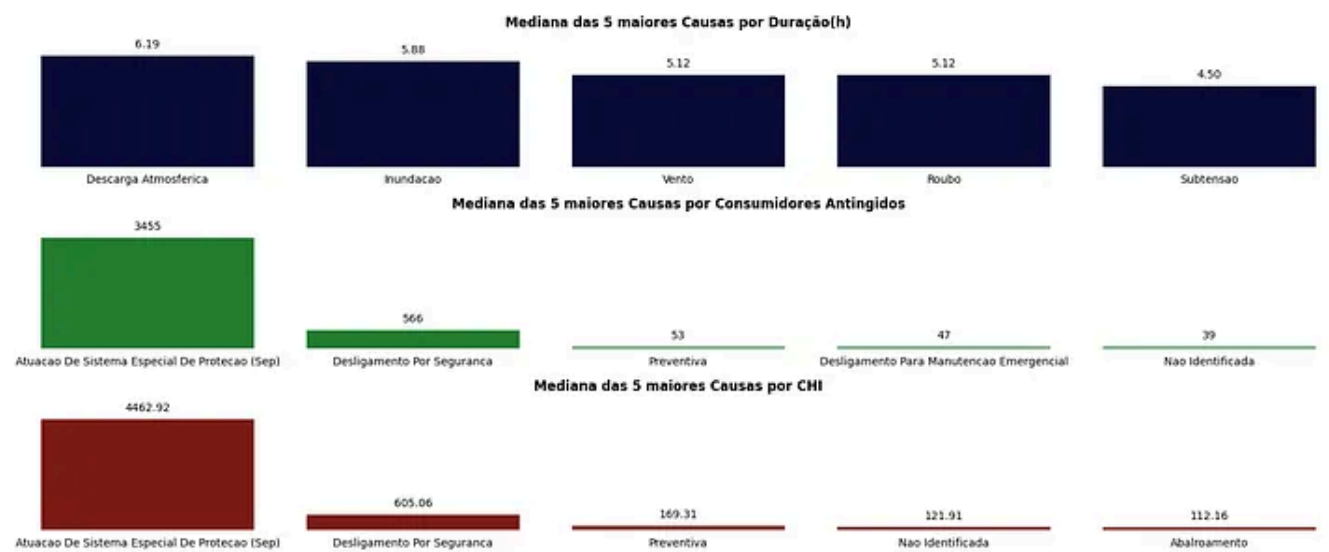
Com uma análise aprofundada das principais causas, as distribuidoras de energia podem priorizar investimentos e ações corretivas, melhorando assim a confiabilidade e a eficiência do serviço prestado aos consumidores.



Como podemos observar, das diversas causas de interrupção, as oito principais apresentam um padrão interessante e semelhante ao da responsabilidade. A causa mais frequente de interrupções no sistema elétrico de distribuição são as relacionadas à falha de material ou equipamentos. Isso se deve à complexidade e extensão da rede elétrica, sujeita a vários tipos de desgaste como efeito Joule, desgaste mecânico e outros aspectos relacionados à sua estrutura física ao longo do tempo.

Outra causa significativa no sistema de distribuição são as interrupções causadas por árvores ou vegetação. A queda de materiais vegetais na rede é uma fonte comum de danos, especialmente devido à natureza aérea da infraestrutura elétrica, que frequentemente entra em contato com árvores e vegetação.

Além disso, as descargas atmosféricas representam outra causa relevante de interrupções na rede de distribuição. Eventos climáticos que incluem raios podem causar danos substanciais aos equipamentos e à infraestrutura elétrica, resultando em interrupções significativas no fornecimento de energia.



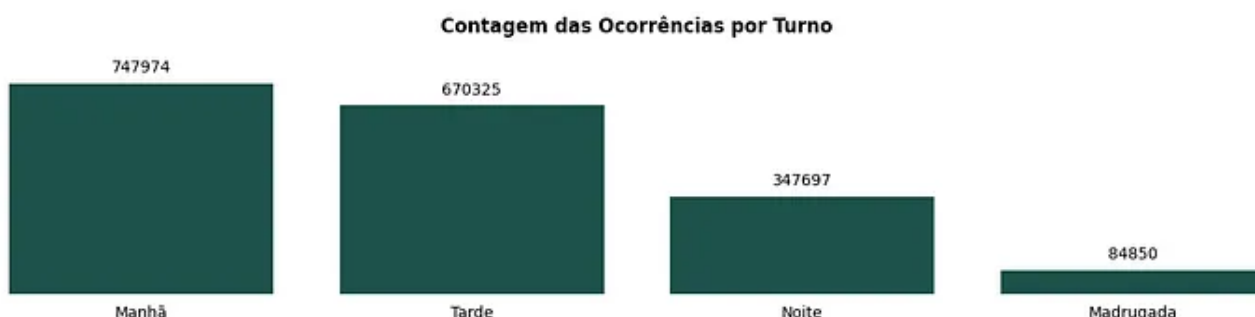
Ao analisar as medianas relacionadas às diferentes causas de interrupção, observamos um top 5 que difere significativamente em relação à contagem das ocorrências. Em termos de duração, a causa com maior mediana é relacionada às descargas atmosféricas, seguida por inundação, vento, roubo e subtensão. Notavelmente, as duas principais causas em termos de volume de ocorrências, falha de equipamento e quedas de árvores/vegetação, não estão entre as cinco com maior duração, indicando que, embora comuns, não são necessariamente as mais graves em termos de tempo de interrupção.

Por outro lado, ao considerar o número de consumidores afetados e o CHI (Clientes-Hora Interrompidos), observamos que a “Atuação do Sistema Especial de Proteção (SEP)” se destaca como a principal causa. Isso é amplamente influenciado pelo apagão ocorrido em 15 de agosto, que impactou todo o sistema de distribuição no Nordeste. O “Desligamento por Segurança” também figura entre as principais causas, sendo frequentemente resultado de outras condições que afetam a rede elétrica.

Essa análise destaca a importância de estratégias específicas de mitigação e de resposta rápida para diferentes tipos de causas de interrupção, visando reduzir tanto a duração das interrupções quanto o número de clientes afetados.

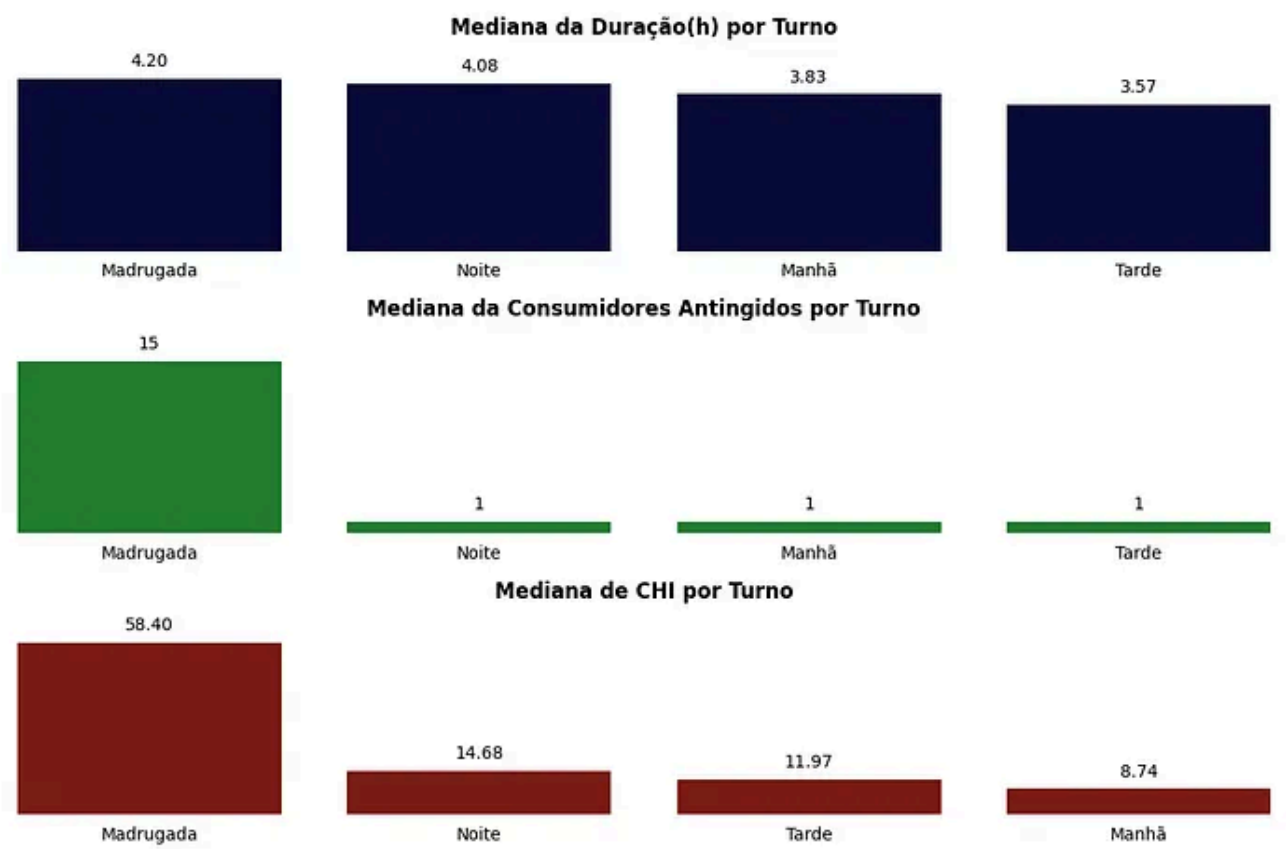
#### 4.3.6 Turno

Nossa última análise com relação a fatores relacionados à interrupção é analisando o turno que se iniciam as ocorrências queremos saber se há um turno onde as ocorrências são mais frequentes ou que duram mais, ou afetam mais clientes.



Podemos observar que as ocorrências de interrupções de energia são mais comuns no turno da manhã, seguidas pelo turno da tarde, enquanto que os turnos da noite e madrugada apresentam um número significativamente menor de ocorrências. Uma possível explicação para esse comportamento é que durante a manhã e a tarde, a

população está acordada e utilizando ativamente energia elétrica, percebendo mais facilmente qualquer interrupção. Já nos turnos da noite e madrugada, devido ao comportamento usual da população, as falhas de energia podem passar despercebidas até a manhã seguinte, quando então os consumidores entram em contato com a distribuidora para solicitar reparos. Isso resulta em um registro das interrupções na base de dados predominantemente durante os turnos da manhã e tarde, explicando a grande diferença no número de ocorrências entre os períodos.



Por outro lado, ao analisarmos a relação entre os turnos e os fatores de duração das interrupções, número de consumidores atingidos e CHI, observamos um cenário oposto em comparação à quantidade de ocorrências. Durante o turno da madrugada, tanto a duração das interrupções quanto o número de consumidores afetados apresentam medianas significativamente maiores, resultando em um CHI consequentemente mais elevado. Um aspecto notável é a mediana do número de clientes interrompidos, que durante a madrugada é aproximadamente 15 vezes maior do que nos outros turnos.

Esse fenômeno pode ser explicado por alguns fatores. Durante a madrugada, o número de equipes disponíveis pelas distribuidoras é geralmente menor em comparação aos turnos diurnos. A ausência de iluminação natural e o horário noturno também tornam o trabalho de reparo mais desafiador, contribuindo para



tempos de resposta e resolução mais longos. Esses fatores combinados explicam por que as interrupções durante a madrugada tendem a ser mais extensas e a afetar um maior número de consumidores.

## 5. Conclusão

A análise das interrupções na rede de distribuição de energia elétrica no Nordeste brasileiro em 2023 revelou insights importantes sobre os principais desafios e áreas de melhoria para garantir um serviço elétrico mais confiável e eficiente na região. Através dos dados conseguimos descobrir que :

### -Análise das Variáveis quantitativas

#### a) Duração:

- A média é relativamente alta em comparação com a mediana, sugerindo a presença de eventos de longa duração que influenciam significativamente a média.
- A dispersão ampla dos dados indica que há uma variedade de eventos, desde curtos até muito longos.

#### b) Consumidores Atingidos:

- A média é muito maior que a mediana, indicando que algumas interrupções afetam um número significativo de consumidores.
- A presença de um valor máximo alto (103.581 consumidores afetados) destaca o impacto considerável de eventos de alta magnitude nesse indicador.

#### c) CHI (Clientes-Hora Interrompidos):

- A diferença entre a média e o desvio padrão sugere a presença de outliers que exercem uma influência significativa no CHI.
- Os outliers podem representar eventos graves ou incomuns que demandam atenção especial durante a análise.
- O pico observado em agosto foi causado por eventos de alívio de carga em 15 de agosto, impactando significativamente a média de consumidores afetados.

### -Comportamento ao Longo dos Meses

- a) O número de ocorrências ao longo de 2023 não é uniforme, variando significativamente de mês a mês.
- b) A análise sazonal mostra que o verão e o outono tendem a ter mais interrupções, enquanto o inverno apresenta o menor número.
- c) A correlação entre as interrupções e o volume de chuva mensal é moderada a alta, indicando que períodos chuvosos estão associados a mais interrupções.

#### - Análise dos Fatores Geradores da Interrupção

- a) Origem: A maioria das interrupções é de origem interna, destacando a necessidade de melhorias e manutenção dentro do sistema de distribuição.
- b) Tipo: A grande maioria das interrupções é não programada, o que implica em eventos inesperados e não planejados.
- c) Responsabilidade: As ocorrências próprias do sistema e relacionadas ao meio ambiente são predominantes, exigindo medidas preventivas para minimizar seu impacto.
- d) Causa: Uma ampla gama de motivos contribui para as interrupções, cada um exigindo uma estratégia específica para mitigação.

Entre os principais insights obtidos estão:

- **Impacto das Condições Climáticas:** As condições climáticas adversas, como tempestades e ventos fortes, foram responsáveis por uma parte significativa das interrupções. Investimentos em infraestrutura resiliente e sistemas de monitoramento avançados podem ajudar a mitigar esses impactos.
- **Manutenção Preventiva:** A falta de manutenção preventiva em alguns trechos da rede contribuiu para o aumento das interrupções. Estratégias proativas de manutenção, incluindo inspeções regulares e atualizações de equipamentos, são essenciais para reduzir falhas não programadas.
- **Capacidade de Resposta:** A capacidade de resposta rápida das equipes de manutenção foi fundamental para minimizar o tempo de indisponibilidade do serviço. Investimentos em treinamento e tecnologia para melhorar a eficiência

das equipes podem resultar em tempos de reparo mais rápidos e menor impacto para os consumidores.

- **Monitoramento e Análise de Dados:** A utilização de sistemas avançados de monitoramento e análise de dados pode proporcionar insights em tempo real sobre o estado da rede, permitindo a identificação precoce de potenciais pontos de falha e a implementação de medidas corretivas proativas.
- **Engajamento com Stakeholders:** O envolvimento contínuo com os stakeholders, incluindo consumidores, órgãos reguladores e comunidades locais, é crucial para entender as necessidades específicas da região e implementar soluções personalizadas que promovam a resiliência do sistema elétrico.

**Link do Github:** [github.com/victorbarros/eda-rede-eletrica-nordeste](https://github.com/victorbarros/eda-rede-eletrica-nordeste)

## 5. Referências

ABRADEE. Redes de Energia Elétrica. Associação Brasileira de Distribuidores de Energia

Elétrica (ABRADEE). Disponível em: <<https://abradee.org.br/redes-de-energia-eletrica/>>. Acesso em: 18 jun. 2024.

ANEEL. Módulo 1 — Glossário de termos técnicos do prodist. Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional — PRODIST, 2021. Disponível em: <[https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956\\_2.pdf](https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_2.pdf)>. Acesso em: 15 jun 2024.

ANEEL. Módulo 8 — Qualidade do fornecimento de energia elétrica. Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional — PRODIST, 2021. Disponível em: <[https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956\\_2.pdf](https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_2.pdf)>. Acesso em: 15 jun 2024.

ANEEL Interrupções de Energia Elétrica nas Redes de Distribuição, 2023. Disponível em: <<https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/interruptoes-de-energia-eletrica-nas-redes-dedistribuicao>>. Acesso em: 15 jun 2024.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa — BDMEP. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 15 jun 2024.

Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Ocorrência no SIN em 15/08/2023: energia restabelecida em todo o país. Disponível em:  
<https://www.ons.org.br/Paginas/Noticias/20230815-OCORR%C3%80NCIA-NO-SIN-EM-15-08-2023-ENERGIA-RESTABELECIDADA-EM-TODO-O-PA%C3%80S.aspx>. Acesso em: 18 jun. 2024.

KAGAN, N.; OLIVEIRA, C. C. B. D.; ROBBIA, E. J. Introdução aos sistemas dedistribuição de energia elétrica. 1ª. ed. São Paulo: Blucher, 2005. 328 p.

- Data
- Análise De Dados
- Energy
- Engenharia
- Distribuição De Energia



Edit profile

Written by Victor Barros

0 Followers

Electrical Engineer diving into the world of data and technology!

Recommended from Medium