

# Aplicação do Método AHP para Priorização de Equipamentos de RDA

Tema: Gestão Ativos e Manutenção

Subtema: -

Autores: Guilherme Perdigão Rocha

Co-Autores: Romero Bento Fernandes

Palavras-chave: AHP - DATA-DRIVEN - Eficiência Operacional - Hierarquia - Priorização - Religadores

## Resumo

A análise de dados é uma das bases da indústria 4.0, possibilitando tomadas de decisões mais assertivas. Nesse contexto, a Cemig vem buscando aumentar sua eficiência operacional através de ações orientadas a dados. Este trabalho aborda a aplicação do método AHP (Analytical Hierarchy Process) para ranquear os religadores trifásicos telecontrolados por importância para o sistema elétrico, de acordo com os dados de equipamentos. Foram escolhidos sete critérios, sendo eles objetivos ou subjetivos. A análise é possível através da criação de uma hierarquia entre cada critério, resultando em pesos específicos para cada um. Dessa forma, é possível priorizar equipamentos de acordo com a visão global de maior importância para a companhia. O ranking obtido ao final do trabalho foi aplicado duas vezes e se mostrou estratégico para as tomadas de decisões.

## Introdução

A infinidade de dados disponíveis oriundos de diversas fontes tornou cada vez mais desafiador tomar decisões empresariais. Incontestavelmente, a análise de dados é uma das bases da indústria 4.0, auxiliando, entre outros aspectos, nas decisões relativas a manutenções e investimentos (BOUSDEKIS et al., 2021). A CEMIG vem investindo na automação da sua planta a fim de atender as exigências regulatórias estabelecidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), especialmente aquelas que dizem respeito à continuidade do fornecimento de energia elétrica. Nesse processo de automação, os religadores trifásicos desempenham um papel crucial.

Atualmente, a CEMIG possui cerca de 18 mil desses equipamentos, dos quais 15 mil são telecomandados. Estes, permitem que o Centro de Operações da Distribuição (COD) recuperem grandes blocos de clientes durante uma falta permanente na rede de média tensão. Desta forma, a disponibilidade destes equipamentos é um ponto crucial para a operação. Devido à diversidade geográfica, climática e demográfica do território de concessão da CEMIG, é natural que cada equipamento apresente um grau de importância distinto para a operação e, conseqüentemente, diferentes impactos potenciais na Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC).

A relevância de cada equipamento é uma informação estratégica, com potencial para auxiliar nas tomadas de decisões em diferentes âmbitos. Essa informação pode ser utilizada no contexto de manutenção, per-

mitindo que a atuação nos equipamentos seja priorizada com base nos ganhos potenciais para o sistema. Além disso, conhecer o grau de importância dos equipamentos contribui na análise de investimentos em soluções de telecomunicações para os religadores. Atualmente a manutenção atua de forma regionalizada, priorizando equipamentos sem critérios definidos. Assim, nem sempre os equipamentos eram avaliados sob uma ótica generalista. Da mesma forma, os investimentos nos equipamentos nem sempre eram assertivos, podendo se basear em um critério para priorizar erroneamente algum dispositivo em detrimento de outro mais importante.

Este trabalho visa, baseado em dados, classificar os equipamentos de acordo com seu respectivo grau de importância para a operação do sistema. Foram levantadas informações operacionais dos equipamentos, como o número de clientes atendidos por cada dispositivo, função operativa, quantidade total de operações realizadas e o percentual dessas operações realizadas remotamente, sem a necessidade de envolvimento de equipes de campo. Também foram coletados os dados de DEC do conjunto ao qual o equipamento pertence, além de dados geográficos, como a distância do equipamento até as bases de equipes de atendimento emergencial e de manutenção especializada. Por fim, foram coletados os dados do sistema SCADA referentes ao desempenho de comunicação dos equipamentos. Todas as informações foram coletadas através dos sistemas já existentes na CEMIG Distribuição e podem ser atualizadas sob necessidade em poucos minutos.

Por se tratar de uma análise de multicritérios, definir a relevância de cada informação é um grande desafio. Portanto, para classificar os equipamentos de acordo com os critérios levantados foi aplicado o Método de Análise Hierárquica (AHP – *Analytic Hierarchy Process*). O método consiste na decomposição e síntese das relações entre os critérios, de forma que se obtenha a priorização dos indicadores elencados. Com o AHP, foi possível classificar os equipamentos, conforme mostrado a seguir.

## Desenvolvimento

Para a construção do ranking de equipamentos, primeiro é necessário levantar as informações disponíveis sobre os equipamentos, de forma automatizada e confiável. Com os dados organizados, é aplicado o método AHP para definir a importância de cada critério.

### 2.1 O método AHP

O AHP é um método para auxiliar na tomada de decisões criado pelo professor Thoma L. Saaty em 1980. Mesmo quando é possível mensurar quantitativamente as variáveis relacionadas a um processo, é um desafio definir a relevância de cada fator em relação ao resultado global. A ideia central da análise hierárquica é realizar comparações aos pares dos critérios estabelecidos. A estratégia de reduzir problemas multivariáveis a comparações paritárias permite uma aproximação à forma natural de funcionamento da mente humana. Dessa forma, o cérebro é capaz de formar a hierarquia dos critérios elencados.

O Decision Support Systems Glossary (DSS, 2006) define AHP como “uma aproximação para tomada de decisão que envolve estruturação de multicritérios de escolha numa hierarquia. O método avalia a importância relativa desses critérios, compara alternativas para cada critério, e determina um ranking total das alternativas”.

As comparações por pares permitem a análise relativa de fatores objetivos e subjetivos, tendo como resultado um peso calculado para cada um. Esse representa um dos maiores benefícios do método, que pode lidar simultaneamente com aspectos qualitativos e quantitativos. Entretanto, por vezes os participantes responsáveis pelas comparações respondem de maneira incerta ou precipitada. Para mitigar esses efeitos, o método precisa envolver comparações redundantes.

O método funciona sob a lógica hierárquica que divide um problema complexo em avaliações de menor importância. A soma dos resultados individuais representa a resolução do problema. Ao hierarquizar um sistema, pode-se descrever como as mudanças em níveis mais altos da hierarquia afetam os níveis inferiores. Além disso, cada fator tem sua influência representada pelo dado nível na hierarquia, garantindo estabilidade dos resultados, já que pequenas alterações têm efeitos igualmente pequenos e grandes alterações também são recíprocas. A hierarquia também admite adições posteriores, trazendo flexibilidade para o modelo.

Apesar de ser útil, a hierarquia por si própria não é suficiente para um processo de tomada de decisão ou planejamento. É preciso compreender a relação entre os níveis além do impacto individual de cada uma no objetivo geral. Portanto, a metodologia do AHP constrói uma escala de prioridades que define pesos relativos entre os níveis hierárquicos.

A relação entre dois elementos é representada numericamente e os resultados são agrupados em uma matriz quadrada. Nesta, cada julgamento representa a dominância do elemento especificado na coluna da esquerda em relação ao especificado na linha superior. Cada comparação é avaliada segundo uma escala que vai de 1 a 9. Na escala, 1 representa indiferença de importância de um critério em relação a outro, enquanto 9 significa extrema importância de um critério sobre outro. Há estágios intermediários entre os níveis descritos. Os níveis podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1 - Escala de comparação do método AHP

| Intensidade de Importância | Definição   | Explicação   |
|----------------------------|---|--|
| 1                          | Mesma importância.                                  | As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.  |
| 3                          | Importância pequena de uma sobre a outra.           | A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.                                     |
| 5                          | Importância grande ou essencial.                    | A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.                                    |
| 7                          | Importância muito grande ou demonstrada.            | Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática. |
| 9                          | Importância absoluta.                               | A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.                                 |
| 2,4,6,8                    | Valores intermediários entre os valores adjacentes. | Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.   |

Para a construção da hierarquia, dois critérios devem ser avaliados sob duas óticas. A primeira questão a ser avaliada é qual elemento é mais relevante em relação ao outro. Em segundo lugar, se for determinada que há diferença de importância, qual a intensidade. O elemento mais importante recebe um valor inteiro da escala, enquanto o critério menos relevante recebe o inverso deste valor. O resultado de cada comparação é inserido na linha e coluna dos elementos participantes da comparação. Quando um valor é inserido na matriz, insere-se também o valor recíproco, na posição onde os elementos avaliados invertem suas posições de linha e coluna. A diagonal principal da matriz sempre será 1, pois cada critério é igualmente importante a ele mesmo.

As informações da matriz devem ser consistentes, de forma que se o critério A é 3 vezes mais dominante que B, e B é 2 vezes mais dominante que C, logo A é 6 vezes mais dominante do que C. Dessa forma, a partir de uma certa quantidade de dados, todos os outros podem ser logicamente deduzidos. Para que a matriz construída seja considerada consistente, o método aponta o cálculo da Razão de Consistência. Para obter seu valor, é necessário encontrar o Índice de Consistência, que é definido pela Equação 1.

$$IC = \frac{\text{Autovalor} - n}{n - 1} \quad (1)$$

Sendo “IC” o Índice de Consistência e “n” a quantidade de critérios avaliados ou a ordem da matriz gerada.

Já o cálculo da Razão de Consistência é representado pela Equação 2.

$$RC = \frac{IC}{RI} \quad (2)$$

Sendo “RC” a Razão de Consistência, “IC” o Índice de Consistência e “RI” o Índice Aleatório (*Random Index*). Este é um índice aleatório calculado para matrizes quadradas de ordem  $n$  pelo Laboratório Nacional de Oak Ridge, nos EUA e tem os valores representados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores de RI

| n  | 1 | 2 | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8   | 9    | 10   |
|----|---|---|------|------|------|------|------|-----|------|------|
| RI | 0 | 0 | 0,52 | 0,89 | 1,11 | 1,25 | 1,35 | 1,4 | 1,45 | 1,49 |

De acordo com Saaty (1991) a matriz é considerada consistente quando o valor calculado para RC é inferior a 0,1.

## 2.2 Levantamento e aquisição dos dados

Seguindo o conceito de análise orientada a dados, foi construída uma base de dados que demandou a coleta das informações a partir de fontes robustas e confiáveis. Portanto, foram utilizadas apenas fontes oficiais da companhia, que garantem a auditabilidade e rastreabilidade. Tal abordagem, intrínseca ao pensamento *Data Driven*, assegura que as informações utilizadas fundamentam devidamente toda a análise realizada neste trabalho.

A base de dados que gerou o ranking dos equipamentos foi construída a partir do sistema de georreferenciamento da CEMIG Distribuição. Foram obtidas as informações de localização dos equipamentos, como a regional, base operativa, município, conjunto e coordenadas. O sistema também dispõe da quantidade de clientes que cada dispositivo atende, bem como sua função operativa. Com a informação de conjunto de cada equipamento, foi possível obter o DEC do conjunto ao qual cada equipamento faz parte.

A base de dados também foi conectada ao sistema de gerenciamento de serviços da CEMIG, o GDIS, para obter as informações de histórico de atuações e efetividade do telecontrole no último ano. Além das informações históricas, ainda foi obtido a localização das bases das equipes emergenciais e das equipes de manutenção especializadas. Com essas informações foi possível calcular a distância de cada equipamento até a equipe mais próxima, seja para o contexto de atendimento emergencial ou para manutenção. Por fim,

as informações relativas ao telecontrole dos equipamentos foram coletadas do sistema SCADA, tal qual o percentual de disponibilidade.

Após a organização dos dados, será aplicado o método AHP para ranquear os equipamentos baseados em sete critérios levantados. São eles:

- Quantidade de clientes atendidos pelo equipamento;
- Disponibilidade do telecontrole do equipamento nos últimos 7 dias completos;
- Taxa de falhas durante manobras Emergenciais nos últimos 12 meses;
- Quantidade de manobras no equipamento nos últimos 12 meses;
- Desempenho de DEC do conjunto;
- Distância entre o equipamento e local de cadastro de equipe multifuncional;
- Distância entre o equipamento e base operativa da equipe de manutenção;

Parte das informações reunidas são dinâmicas, podendo se alterar diariamente. Portanto, todos os dados foram adquiridos de forma contínua, garantindo que as informações analisadas reflitam o estado mais recente do sistema. Dessa forma, a análise precisa ser desenvolvida apenas uma vez, mas os resultados sempre serão atuais.

### 2.3 Cálculo dos pesos por critério

Parte crucial do método AHP é definir a importância relativa entre os critérios elencados. Para isso, foi realizada uma pesquisa através do Microsoft Forms, na qual líderes e especialistas de diferentes áreas responderam o comparativo entre os critérios, de acordo com os valores da escala de comparação definida por Saaty (1991), apresentada anteriormente na Tabela 1.

Os resultados da pesquisa formaram a seguinte matriz de comparação:

|                                     | Quantidade de clientes | Disponibilidade do telecontrole | Taxa de falhas durante manobras | Quantidade de manobras | DEC do conjunto | Distância até equipe multifuncional | Distância até equipe de manutenção |
|-------------------------------------|------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------|-----------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| Quantidade de clientes              | 1                      | 3                               | 1/3                             | 1/3                    | 1               | 1/3                                 | 5                                  |
| Disponibilidade do telecontrole     | 1/3                    | 1                               | 1/7                             | 1/3                    | 1               | 1/5                                 | 5                                  |
| Taxa de falhas durante manobras     | 3                      | 7                               | 1                               | 1                      | 3               | 1                                   | 9                                  |
| Quantidade de manobras              | 3                      | 3                               | 1                               | 1                      | 5               | 1                                   | 7                                  |
| DEC do conjunto                     | 1                      | 1                               | 1/3                             | 1/5                    | 1               | 1                                   | 9                                  |
| Distância até equipe multifuncional | 3                      | 5                               | 1                               | 1                      | 1               | 1                                   | 9                                  |
| Distância até equipe de manutenção  | 1/5                    | 1/5                             | 1/9                             | 1/7                    | 1/9             | 1/9                                 | 1                                  |

Com a definição da matriz de comparação, foi utilizada a biblioteca pyAHP do Python para calcular os pesos para cada um dos critérios. A biblioteca requer como entrada os valores comparativos entre os critérios, neste trabalho obtidos através da pesquisa. O próprio código normaliza a matriz e calcula os pesos. Foram obtidos os pesos conforme exibidos na Tabela 3.

Tabela 3 – Peso obtido para cada critério

| <b>Crítérios</b>  | <b>Peso</b> |
|---|-------------|
| Quantidade de clientes atendidos pelo equipamento                           | 0,0965      |
| Disponibilidade do telecontrole do equipamento nos últimos 7 dias completos | 0,0613      |
| Taxa de falhas durante manobras Emergenciais nos últimos 12 meses           | 0,2570      |
| Quantidade de manobras no equipamento nos últimos 12 meses                  | 0,2471      |
| Desempenho de DEC do conjunto   | 0,1053      |
| Distância entre o equipamento e local de cadastro de equipe multifuncional  | 0,2127      |
| Distância entre o equipamento e base operativa da equipe de manutenção      | 0,0201      |

Os resultados obtidos apresentaram um Índice de Consistência de 0,09275. Considerando sete variáveis, de acordo com a Tabela 2, é considerado um RI de 1,35. Dessa forma, a Razão de Consistência é de 0,0687. Segundo os critérios de Saaty, a matriz é consistente, já que  $RC < 0,1$ .

## 2.4 Aplicação dos pesos para definição de importância

Com a aplicação do método AHP, foram obtidos os pesos relativos a cada um dos critérios levantados. Entretanto, antes de aplicar os respectivos pesos e ordenar os equipamentos de acordo com sua importância para o sistema elétrico, foi necessário normalizar os dados extraídos, para que todos estejam na mesma escala. Dessa forma, os critérios tornam-se numericamente comparáveis e os pesos definidos para cada um serão devidamente representativos. Todos os elementos foram normalizados para se adequarem a uma escala entre 0 e 1.

A quantidade de clientes atendidos pelo equipamento foi separada por faixas, conforme mostra a Tabela 4. Para equipamentos normalmente abertos, foi considerado o número de clientes potenciais que o equipamento pode atender durante operação de contingência.

Tabela 4 – Normalização da quantidade de clientes

| Quantidade de clientes | Valor adotado |
|------------------------|---------------|
| 1 a 500                | 0,2           |
| 501 a 1000             | 0,4           |
| 1001 a 2500            | 0,6           |
| 2501 a 4000            | 0,8           |
| Acima de 4000          | 1             |

A disponibilidade do telecontrole do equipamento é um valor percentual, inversamente proporcional à sua criticidade. Este critério foi normalizado calculando-se 1 menos seu próprio valor. Dessa forma, uma baixa disponibilidade é representada por um valor próximo a 1. A taxa de falhas durante manobras emergenciais não precisa ser normalizada, já que é um valor percentual diretamente proporcional à sua criticidade. A normalização da quantidade de manobras no equipamento é realizada calculando-se a quantidade de atuações do equipamento em relação à máxima quantidade de operações registradas por um equipamento. Da mesma forma é calculado o valor normalizado da distância do equipamento até as equipes multifuncionais e equipes de manutenção, proporcional à máxima distância registrada para cada critério. Por fim, o desempenho de DEC do conjunto foi separado por faixas. Se o conjunto está cumprindo o seu valor estipulado de DEC, ele recebe 0. Caso o conjunto esteja próximo de cumprir o indicador, até 40% acima do estipulado, ele recebe 1. Os demais conjuntos recebem 0,6.

Os valores normalizados de cada critério foram multiplicados com os pesos obtidos através do método AHP, resultando em uma pontuação geral. Seguindo a pontuação, os equipamentos foram ranqueados de acordo com sua importância para a Cemig. Como os dados podem ser atualizados sob demanda, as alterações na rede, troca de equipamentos, manutenções nos equipamentos, acréscimo de equipes tornando a lista sempre dinâmica e objetiva.

## 2.5 Resultados

O trabalho desenvolvido pôde ser aplicado em duas ocasiões. Ao final do ano de 2024, as equipes de manutenção se organizaram para atuar em equipamentos indisponíveis para a operação. As intervenções



foram programadas de acordo com o ranking fruto da aplicação do método. Com isso, foram atendidos primeiro aqueles equipamentos mais importantes para o cumprimento do DEC. Toda a ação aconteceu durante o período chuvoso, no qual é observada a maior quantidade de ocorrências na rede. A informação estratégica para atuação das equipes se mostrou de suma importância para minimizar os impactos das ocorrências.

O ranking de também foi utilizado para priorizar a aplicação de mídia satélite nos equipamentos. Considerando que o projeto possui um número pré-definido de dispositivos de comunicação satélite, foi necessário priorizar quais equipamentos receberiam a mídia. Além disso, ordenar a implantação, de forma a priorizar os equipamentos mais críticos. Dessa forma, foi possível tirar o máximo proveito do projeto, contemplando primeiro os pontos mais necessitados.

## Conclusão

O método AHP possibilita considerar aspectos objetivos e subjetivos, quantitativos e qualitativos. Através da comparação em pares dos critérios envolvidos na análise, é possível obter pesos relativos a cada fator. Assim, a análise para priorização passa a ser baseada em dados, mesmo que parte dos critérios não sejam inicialmente quantificáveis. Ainda foi possível verificar a consistência das comparações entre os critérios, indicando que os resultados encontrados se enquadram no esperado.

O resultado da aplicação do método representa uma informação estratégica nas tomadas de decisão relativas à gestão de ativos. Conhecendo os equipamentos mais importantes para o sistema, é possível priorizar as manutenções e orientar a aplicação dos investimentos. Como resultado indireto, a reunião dos dados dos equipamentos possibilitou avaliar cada critério individualmente, tornando-se fonte de outras análises.

## Referências bibliográficas

Bousdekis, Alexandros & Lepenioti, Katerina & Apostolou, Dimitris & Mentzas, Gregoris. (2021). A Review of Data-Driven Decision-Making Methods for Industry 4.0 Maintenance Applications. Electronics. 10. 828. 10.3390/electronics10070828.

CARVALHO, K. M.; PESSÔA, L. C. Classificação de Projetos: um estudo da aplicação do método AHP. GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, São Paulo, Ano 12, nº 1, jan-abr/2012, p. 280-298.

Deep dive into Analytical Hierarchy Process using Python. Disponível em: <<https://towardsdatascience.com/deep-dive-into-analytical-hierarchy-process-using-python-140385fabaa1>>. Acesso em 16 dez. 2024.

Vieira, G.H. (2006), Análise e comparação dos métodos de decisão multicritério AHP Clássico e Multiplicativo - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP.

SAATY, T. L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. International Journal of Services Sciences, v. 1, n. 1, p. 80-100, 2008.

SAATY, T.L. The Analytic Hierarchy Process. Tradução e revisão por Wainer da Silveira e Silva, McGraw-Hill, Makron, São Paulo, SP, Brasil, pp. 278, 1991.

ZELENY, M. Multiple Criteria Decision Making. McGraw-Hill, 1982.