

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
NÍVEL MESTRADO PROFISSIONAL

GUSTAVO BYSTRONSKI VIER

**MANUTENÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO:
METODOLOGIA MULTICRITÉRIO PARA PRIORIZAÇÃO DA CORREÇÃO DE
DEFEITOS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO**

São Leopoldo

2019

Gustavo Bystronski Vier

**MANUTENÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO:
METODOLOGIA MULTICRITÉRIO PARA PRIORIZAÇÃO DA CORREÇÃO DE
DEFEITOS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

Orientador: Dr. José Vicente Canto dos Santos

São Leopoldo

2019

V665m Vier, Gustavo Bystronski
Manutenção de linhas de transmissão: metodologia multicritério para priorização da correção de defeitos em linhas de transmissão / Gustavo Bystronski Vier. -- 2019.
68 f. : il. ; color. ; 30cm.
Dissertação (mestrado em Engenharia de Elétrica) -- Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Elétrica, São Leopoldo, RS, 2019.
Orientador: Prof. Dr. José Vicente Canto dos Santos.
1. Engenharia de elétrica. 2. Métodos multicritérios de análise de decisão (MMAD). 3. Energia elétrica - Linha de transmissão. 4. Priorização de defeito. I. Título. II. Santos, José Vicente Canto dos.
CDU 621.3

A minha esposa Daniela e ao meu filho Vicente, pelo incentivo, paciência e apoio incondicional.

“A nossa recompensa está no esforço, não no resultado. Um esforço total é uma vitória completa”.
Mahatma Gandhi

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador do mestrado o professor Dr. José Vicente Canto dos Santos pelos ensinamentos, contribuições técnicas e críticas durante a elaboração da dissertação.

Agradeço ao professor Dr. Thair Ibrahim Abdel H. Mustafa da Fundação Universidade Regional de Blumenau - FURB pela coorientação, sugestões de melhoria da dissertação e apoio.

Ao colega de empresa e de mestrado o Eng. Leandro Henrique Bona Puchale pela grande amizade, parceria ao longo do curso e todos os auxílios no desenvolvimento do trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS, em especial ao professor Dr. Paulo Ricardo da Silva Pereira (coordenador do PPGEE).

Ao apoio financeiro e incentivo de pesquisa da Companhia Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica - CEEE-GT através do projeto de P&D ANEEL PD-5785-4202/2015.

RESUMO

No setor elétrico interrupções no sistema de transmissão por desligamentos imprevistos geram grandes transtornos para as concessionárias e para a sociedade, além de elevados prejuízos financeiros. Assim, estabelece-se a necessidade de que a prestação do serviço público de transmissão de energia elétrica seja realizada com muita qualidade e associada à altíssimos níveis de disponibilidade das instalações. Verifica-se que grande parte das indisponibilidades dos sistemas de transmissão ocorrem nas linhas de transmissão, as quais apresentam uma grande variedade e quantidade de defeitos que necessitam ser corrigidos, antes que evoluam para falhas. Com isso, é necessário estabelecer os critérios para a correta priorização da correção de defeitos, num cenário onde, normalmente, os recursos disponíveis não são suficientes para atuar em todas as atividades de manutenção necessárias. O problema de priorização de defeitos em linhas de transmissão não foi observado em outros trabalhos, mas verifica-se que os Métodos Multicritérios de Análise de Decisão (MMAD) são ferramentas adequadas para esse desenvolvimento. Esse trabalho versa sobre estabelecer uma metodologia para priorizar os defeitos que devem ser corrigidos em linhas de transmissão de uma concessionária de transmissão, através do MMAD *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Leva-se em consideração as características técnicas dos defeitos e o seu potencial de causar uma falha, além da importância sistêmica das linhas de transmissão e o impacto regulatório da sua indisponibilidade. Desenvolveu-se uma ferramenta útil para a gestão das equipes de manutenção, que sistematiza e facilita a correta alocação de recursos que são limitados, fornecendo objetivamente a sequência dos defeitos que devem ser corrigidos pelas equipes de manutenção.

Palavras-chave: Métodos multicritérios de análise de decisão (MMAD). *Analytic hierarchy process* (AHP). Priorização de defeitos. Linhas de transmissão.

ABSTRACT

In the electrical sector, interruptions in the transmission system due to unforeseen disconnections generate great inconveniences for utilities and society, in addition to high financial losses. Therefore, it's established the need for the public electricity transmission service to be carried out with excellence and associated with high levels of availability of the assets. It's confirmed that a great part of the unavailability of the transmission systems occurs in the transmission lines, which have a big variety and quantity of defects that need to be corrected before they evolve to failures. Thus, it is necessary to establish the criteria for prioritization of defect correction, in a scenario where, normally, the available resources are not sufficient to perform all necessary maintenance activities. The problem of prioritization of defects to be corrected in transmission lines was not observed in other studies, but it's verified that the Multiple-criteria Decision Analysis methods (MCDA) are adequate tools for this development. This work is about establishing a methodology to prioritize the defects that must be corrected in transmission lines of a transmission concessionaire, through the MCDA Analytic Hierarchy Process (AHP). It takes into account the technical characteristics of the defects and their potential to cause a failure, in addition to the systemic importance of transmission lines and the regulatory impact of their unavailability. A useful tool for management of maintenance teams has been developed, which systematizes and facilitates the correct allocation of resources that are limited, objectively providing the sequence of defects that must be corrected by maintenance teams.

Keywords: Multiple-criteria decision analysis (MCDA). Analytic hierarchy process (AHP). Prioritization of defect. Transmission lines.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquemático do setor elétrico.	28
Figura 2: Estrutura básica de um sistema interligado.....	29
Figura 3: Mapa com os traçados esquemáticos das LT no Brasil em 2017.....	30
Figura 4: Croqui esquemático dos componentes de uma linha de transmissão.....	31
Figura 5: Principais etapas do processo de manutenção de LT.....	33
Figura 6: Fluxograma da metodologia.	36
Figura 7: Níveis hierárquicos de decisão.....	37
Figura 8: Hierarquia completa.....	42
Figura 9: Exemplo de vetor de prioridades de comparação entre critérios do especialista A..	44
Figura 10: Vetores de prioridade de cada um dos subcritérios do critério risco de falha.	45
Figura 11: Vetores de prioridade após ponderação do peso do critério risco de falha.....	45
Figura 12: Exemplo de valores globais de prioridade.	46
Figura 13: Agregação no nível de prioridades.....	47
Figura 14: Comparação das respostas dos especialistas para os pesos entre os critérios.....	49
Figura 15: Comparação das respostas dos especialistas para o subcritério componente do critério risco de falha.	49
Figura 16: Comparação das respostas dos especialistas para o subcritério criticidade do critério risco de falha.....	50
Figura 17: Comparação das respostas dos especialistas para o subcritério status do critério risco de falha.	50
Figura 18: Comparação das respostas dos especialistas para o critério importância sistêmica.	50
Figura 19: Comparação das respostas dos especialistas para o critério perda de receita.	51
Figura 20: Valores globais de prioridade agrupados.	51
Figura 21: Mapa das LTs avaliadas.....	52
Figura 22: Detalhamento do mapa das LTs.....	53
Figura 23: Gráfico acumulado da quantidade de defeitos por valor de importância normalizado.	55
Figura 24: Distribuição dos defeitos nos valores de importância.....	56
Figura 25: Detalhamento das alternativas dos valores de importância.	56
Figura 26: Porcentagem de correção dos primeiros 177 defeitos priorizados.....	58
Figura 27: Porcentagem de realização dos defeitos priorizados sem LT específica.	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: MMAD para problemas de priorização.....	23
Tabela 2: Entradas necessárias para MMAD de priorização ou escolha.....	25
Tabela 3: MMAD aplicados em pesquisas de confiabilidade e manutenção.....	26
Tabela 4: Escala de relativa importância.....	27
Tabela 5: Matriz de energia elétrica do Brasil.....	29
Tabela 6: Resumo das referências estudadas.....	35
Tabela 7: Critérios selecionados.....	37
Tabela 8: Componente com defeito.....	38
Tabela 9: Criticidade dos defeitos.....	39
Tabela 10: Status dos defeitos.....	39
Tabela 11: Níveis de impactos sistêmicos das LT.....	40
Tabela 12: Perda de receita por PVI do defeito.....	41
Tabela 13: Índice de consistência aleatória (ICA).....	44
Tabela 14: Vetor de prioridade do critério importância sistêmica.....	45
Tabela 15: Vetor de prioridade do critério perda de receita.....	46
Tabela 16: Alternativas de maior valor de importância.....	51
Tabela 17: Vinte primeiros grupos de resultados de valores de importância.....	54
Tabela 18: Comparação entre sequência dos defeitos corrigidos com os priorizados.....	59
Tabela 19: Resultados de valores de importância atuais.....	61

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	<i>Analytic Network Process</i>
CEEE-GT	Companhia Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i>
DIT	Demais Instalações de Transmissão
ELECTRE	<i>Elimination and Choice Expressing Reality</i>
FT	Função Transmissão
kV	Quilovolts
LT	Linha de Transmissão
MACBETH	<i>Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique</i>
MAUT	<i>Multi-Attribute Utility Theory</i>
MAVT	<i>Multi-Attribute Value Theory</i>
MC	Manutenção Corretiva
MMAD	Método Multicritério de Análise de Decisão
MP	Manutenção Preventiva
MPEE	Mestrado Profissional em Engenharia Elétrica
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PROMETHEE	<i>Preference Ranking Organization METHod for Enrichment of Evaluations</i>
PVI	Parcela Variável por Indisponibilidade
ReN	Resolução Normativa
RB	Rede Básica
RS	Rio Grande do Sul
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIN	Sistema Interligado Nacional
TOPSIS	<i>Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
UNISINOS	Universidade do Vale do Rio dos Sinos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	20
1.1 Objetivos	21
1.1.1 Objetivo geral	21
1.1.2 Objetivos específicos	21
1.2 Justificativa.....	21
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	22
2.1 Análise multicritério.....	22
2.1.1 Definição do modelo de análise	24
2.1.2 O método <i>Analytic Hierarchy Process</i> (AHP).....	26
2.2 Conceitos de linhas de transmissão (LT).....	28
2.2.1 Sistema elétrico brasileiro	28
2.2.2 Componentes das linhas de transmissão	30
2.3 Manutenção de linhas de transmissão (LT)	31
2.4 Trabalhos relacionados	33
3 METODOLOGIA	36
3.1 Seleção dos critérios	36
3.1.1 Risco de falha (RF)	38
3.1.2 Impacto sistêmico (IS).....	40
3.1.3 Perda de receita (PR).....	40
3.2 Seleção dos especialistas.....	42
3.3 Cálculo dos valores globais de prioridade.....	43
3.4 Avaliação das respostas	46
4 TESTES E RESULTADOS	48
4.1 Pesquisa com especialistas.....	48
4.2 Aplicação em defeitos de equipe de manutenção de LT	52
4.3 Avaliação da metodologia proposta	57
4.3.1 Comparação da sequência de defeitos com a execução da equipe	57
4.3.2 Comparação com as ocorrências no período	60
4.4 Aplicação em defeitos atuais	60
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	62
5.1 Sugestões para trabalhos futuros.....	62

1 INTRODUÇÃO

No setor elétrico as interrupções no fornecimento de energia elétrica por desligamentos não programados geram grandes problemas para a sociedade, além de elevados prejuízos financeiros para as concessionárias. Essas interrupções causam penalizações impostas por indisponibilidade operacional, desgaste na imagem das empresas e prejuízos para terceiros, sendo que esses fatos são maximizados quando tratamos do sistema de transmissão de energia elétrica, uma vez que esse é responsável pela interligação de grandes blocos de energia entre a geração e os centros de cargas (consumidores).

Atualmente, a legislação aplicável ao Setor Elétrico Brasileiro, e aos contratos de concessão das concessionárias de transmissão, estabelece a necessidade da prestação do serviço público adequado e que o mesmo contenha requisitos de qualidade de transmissão de energia elétrica associada à disponibilidade das instalações. Ou seja, a indisponibilidade de uma instalação pode acarretar descontos significativos de receita à concessionária, os quais dependem do tempo da indisponibilidade e das características de cada instalação.

A concessionária de transmissão, portanto, é obrigada a manter níveis de disponibilidade altíssimos sob pena de perder grande parte da receita com descontos por indisponibilidade, chamada de Parcela Variável por Indisponibilidade (PVI) (ANEEL, 2017). Nesse sentido, um programa de manutenção eficaz é fundamental, de forma a atuar evitando falhas e considerando as limitações dos recursos disponíveis (equipes, materiais e equipamentos).

Verifica-se que as linhas de transmissão (LT) são responsáveis, em média, por 70% da origem das perturbações envolvendo a Rede Básica (ONS, 2018a). As linhas, em países como o Brasil, possuem vastas extensões e estão expostas a diferentes condições climáticas e ambientais e, por consequência, apresentam uma grande variedade e quantidade de defeitos que necessitam ser corrigidos, antes que os mesmos causem falhas. Entretanto, nesse mesmo cenário a tomada de decisão sobre onde alocar os recursos de manutenção é normalmente um processo que envolve certo grau de subjetividade, baseado em conhecimentos tangíveis e intangíveis de quem toma a decisão. Além disso, normalmente, os recursos disponíveis não são suficientes para atuar em todas as atividades de manutenção necessárias.

Desta forma, discute-se a importância e os possíveis critérios para a priorização de serviços de manutenção preventiva (MP) para a correção de defeitos em linhas de transmissão, onde a quantidade de defeitos registrados nos sistemas de gestão da manutenção é grande e os gestores necessitam decidir onde atuar. A correta decisão de quais defeitos corrigir é crucial para garantir a disponibilidade das linhas de transmissão. Isso em um cenário onde as empresas necessitam ser competitivas, com recursos limitados e uma regulação rigorosa, necessitando que as equipes de manutenção sejam muito efetivas na priorização das suas ações.

Essa discussão conduz aos objetivos desse trabalho, o qual será dividido em Fundamentação Teórica, a Metodologia estabelecida, os Testes e Resultados e as Considerações Finais.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Estabelecer uma metodologia para priorizar os defeitos que devem ser corrigidos em linhas de transmissão de uma concessionária de transmissão, através de um Método Multicritério de Análise de Decisão (MMAD). A metodologia desenvolvida precisa levar em consideração as características técnicas dos defeitos e o seu potencial de causar uma falha, além da importância sistêmica das linhas e o impacto regulatório da sua indisponibilidade.

1.1.2 Objetivos específicos

Destacam-se os seguintes objetivos específicos:

- a) Desenvolver uma metodologia para a priorização de defeitos;
- b) Implantar a metodologia proposta na gestão das linhas de transmissão de uma equipe de manutenção de uma empresa de transmissão;
- c) Analisar os resultados encontrados.

1.2 Justificativa

O desenvolvimento de uma metodologia capaz de priorizar quais os defeitos das linhas de transmissão sob a responsabilidade de uma equipe de manutenção que devem ser corrigidos, levando em conta, além de critérios técnicos, a topologia e situação do sistema e, sobretudo, os impactos regulatórios de penalidades por PVI que falhas originadas por esses defeitos podem causar, é algo inovador e que não foi encontrado na pesquisa bibliográfica realizada, podendo ser uma ferramenta muito útil para a gestão das equipes de manutenção das empresas concessionárias de energia elétrica.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo trata da revisão bibliográfica para o embasamento teórico do trabalho. Está dividido nos tópicos: análise multicritério, conceitos de linhas de transmissão e manutenção de linhas de transmissão. Por último são apresentados alguns trabalhos relacionados com o objetivo fim deste trabalho.

2.1 Análise multicritério

Conforme Pomerol e Barba-Romero (2000), tanto na vida cotidiana como nas organizações, muitas vezes somos confrontados com escolhas difíceis, onde não podemos decidir entre uma série de imperativos. Aqui está um exemplo desse tipo de situação. Suponha que haja disponíveis modelos diferentes N_1, N_2, \dots, N_p de um produto N ; Todos querem comprar o modelo N_i , que é o mais barato, mais bonito, mais fácil de cuidar e o mais robusto (a lista não é exaustiva). Esses vários recursos são todos critérios de compra. Considere, por exemplo, o preço e a força; A experiência nos diz que o produto mais barato não é o mais forte: preço e força são dois critérios conflitantes. Se usarmos o preço como critério de escolha, podemos acabar comprando um produto que não está entre os mais fortes. Por outro lado, se comprarmos o produto mais forte, também podemos comprar os mais caros. Como diz o ditado, não se pode ter tudo, e é óbvio que desejos conflitantes sempre levarão a um compromisso. É neste tipo de situação que precisamos de um método para auxiliar na tomada de decisão.

Métodos Multicritérios de Análise de Decisão (MMAD) são teorias voltadas para estruturação, solução e planejamento das decisões quando estão envolvidos múltiplos critérios. O principal propósito é dar apoio aos tomadores de decisão nos problemas defrontados rotineiramente (BUSATTO, 2015).

Além disso, Ishizaka e Nemery (2013) afirmam que os MMAD fornecem atalhos e técnicas para encontrar uma solução de compromisso. Eles têm a distinção de colocar o tomador de decisão no centro do processo. Não são métodos automatizáveis que levam à mesma solução para cada tomador de decisões, mas incorporam informações subjetivas. Informações subjetivas, também conhecidas como informações de preferência, são fornecidas pelo tomador de decisão, o que leva à solução de compromisso.

Quando falamos em priorização está subentendido o processo decisório, de decidir entre um caminho ou outro, ou ainda entre um dentre outros caminhos possíveis. Pode ser também a lista de caminhos que devem ser seguidos. Ou seja, decidir conforme o cenário dentre as possibilidades de resolver o problema. Neste contexto os Métodos Multicritérios de Análise de Decisão (MMAD) aparecem como uma opção para a consecução desse propósito. Eles promovem um maior entendimento do contexto multidisciplinar do processo decisório (CANAL, 2017).

No dia-a-dia as pessoas enfrentam uma infinidade de decisões diferentes. No entanto, Ishizaka e Nemery (2013) identificou quatro tipos principais de decisão:

- a) **Problemas de escolha.** O objetivo é selecionar a melhor opção ou reduzir o grupo de opções para um subconjunto de opções "boas" equivalentes ou incomparáveis;
- b) **Problemas de classificação.** As opções são classificadas em grupos ordenados e predefinidos, denominados categorias. O objetivo é, então, reagrupar as opções com comportamentos ou características similares por motivos descritivos, organizacionais ou preditivos;
- c) **Problemas de priorização.** As opções são ordenadas do melhor para o pior por meio de pontuações ou comparações entre pares, etc. A ordem pode ser parcial, se forem consideradas opções incomparáveis, ou completas;
- d) **Problemas de descrição.** O objetivo é descrever as opções e suas consequências.

Para resolver esses problemas de decisão, foram desenvolvidos diversos métodos. Como o objetivo do trabalho é desenvolver uma metodologia para priorizar os defeitos em linhas de transmissão, será dada ênfase aos problemas de priorização e como resolvê-los. Assim, Ishizaka e Nemery (2013) listaram os MMAD mais populares desenvolvidos para problemas de priorização, os quais são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: MMAD para problemas de priorização.

Método	Descrição	Tradução
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>	Método de Análise Hierárquica
ANP	<i>Analytic Network Process</i>	Método de Análise em Redes
MAUT	<i>Multi-Attribute Utility Theory</i>	Teoria da Utilidade Multiatributo
MACBETH	<i>Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique</i>	Medir a Atratividade por uma Técnica de Avaliação Baseada em Categorias
PROMETHEE	<i>Preference Ranking Organization METHod for Enrichment of Evaluations</i>	Método de Organização de Ranking de Preferência de Avaliação de Enriquecimento
ELECTRE III	<i>Elimination and Choice Expressing Reality</i>	Eliminação e Escolha como Expressão da Realidade
TOPSIS	<i>Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution</i>	Técnica para Avaliar o Desempenho das Alternativas através da Similaridade com a Solução Ideal
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i>	Análise por Envoltória de Dados

Fonte: Adaptado de Ishizaka e Nemery (2013).

Santos, Rico Lugo e de Almeida (2015) afirmam que os problemas de decisão estão presentes no dia a dia da população e que a decisão selecionada resulta em alguma consequência, que poderá ser benéfica ou não. Levando em consideração esses aspectos é que se faz possível determinar qual o método que mais se adequa para encontrar uma solução. Visto que o tipo de modelo influencia no resultado, deve-se tomar muito cuidado nessa etapa.

2.1.1 Definição do modelo de análise

Conforme Ishizaka e Nemery (2013), considerando o número de métodos MMAD disponíveis, o tomador de decisão é confrontado com a árdua tarefa de selecionar uma ferramenta apropriada de suporte à decisão, e muitas vezes a escolha pode ser difícil de justificar. Nenhum dos métodos é perfeito nem pode ser aplicado a todos os problemas. Cada método tem suas próprias limitações, particularidades, hipóteses, premissas e perspectivas.

Existem diferentes maneiras de escolher os métodos apropriados de MMAD para resolver problemas específicos. Uma maneira é olhar para a informação de entrada necessária, isto é, os dados e parâmetros do método e, conseqüentemente, o esforço de modelagem, bem como analisar os resultados e as suas particularidades.


Se a "função de utilidade" para cada critério é conhecida, então é recomendado o método MAUT. No entanto, a construção da função de utilidade requer muito esforço, e, se for muito difícil, existem alternativas. Outra maneira é utilizando comparações entre pares entre critérios e opções, e os métodos AHP e MACBETH apoiam esta abordagem. A diferença é que as comparações são avaliadas em uma escala de proporção no AHP e numa escala de intervalo no MACBETH. O tomador de decisão precisa saber qual é a escala mais adequada para definir as suas preferências. A desvantagem é que é necessária uma grande quantidade de informações.

Outra maneira alternativa é definir parâmetros-chave. Por exemplo, o método PROMETHEE requer apenas limites de indiferença e preferência, enquanto que o ELECTRE requer limites de indiferença, preferência e veto. Existem os chamados métodos de levantamento para ajudar a definir estes parâmetros, mas se o usuário deseja evitar esses métodos ou parâmetros, o método TOPSIS pode ser usado porque apenas as opções ideais e anti-ideais são necessárias. Se os critérios forem dependentes, os métodos ANP ou *Integral Choquet* podem ser usados.

O esforço de modelagem geralmente define a riqueza da saída. Uma vantagem na definição de funções de utilidade é que as opções do problema de decisão têm uma pontuação global. Com base nesta pontuação, é possível comparar todas as opções e classificá-las da melhor para a pior, com classificações iguais permitidas. Isso é definido como uma classificação completa. Esta abordagem é referida como a abordagem de agregação total, onde uma pontuação ruim em um critério pode ser compensada por uma boa pontuação em outro critério.

A Tabela 2 resume os MMAD por suas entradas, esforço necessário para conseguir as informações e a saída obtida.

Tabela 2: Entradas necessárias para MMAD de priorização ou escolha.

Entradas	Esforço para entradas	Método MMAD	Saída
Função de utilidade	Muito alto	MAUT	Priorização completa com pontuações
Comparações entre pares em uma escala de proporção e interdependências		ANP	Priorização completa com pontuações
Comparações entre pares em uma escala de intervalo		MACBETH	Priorização completa com pontuações
Comparações entre pares em uma escala de proporção		AHP	Priorização completa com pontuações
Limiares de indiferença, preferência e de veto		ELECTRE	Priorização completa e parcial
Limiares de indiferença e preferência		PROMETHEE	Priorização completa e parcial
Opção ideal e restrições		Goal programming	Solução viável com pontuação de desvio
Opções ideais e anti-ideais		TOPSIS	Priorização completa com pontuação de proximidade
Não são necessárias entradas subjetivas	Muito baixo	DEA	Priorização parcial com pontuação de efetividade

Fonte: Ishizaka e Nemery (2013).

Baseado no problema a ser resolvido e analisando as características dos métodos disponíveis para priorização, neste trabalho foi decidido pela utilização do método AHP. Devido a subjetividade da análise a ser feita para priorizar defeitos de linhas de transmissão e a existência de diversos critérios para realizar essa atividade, o uso como entrada de comparações entre pares de opções, e avaliadas em uma escala de proporção, facilita o desenvolvimento da metodologia desejada. Também foi considerada a grande disponibilidade de dados sobre os defeitos e de se desejar uma priorização completa.

O AHP transforma as comparações, na maior parte das vezes baseadas na experiência, em números que são processados e comparados. Essa capacidade de conversão de dados empíricos em um modelo matemático é o principal diferencial do AHP com relação a outras técnicas comparativas (GOMEDE; BARROS, 2012).

Além disso, analisando de Almeida et al. (2015), observa-se que os MMAD são amplamente aplicados em contextos de análises de confiabilidade e de manutenção, sendo que a Tabela 3 mostra a porcentagem de uso das diferentes abordagens, onde verifica-se que o AHP é o terceiro método mais utilizado para esse tipo de problema.

Tabela 3: MMAD aplicados em pesquisas de confiabilidade e manutenção.

Método	Porcentagem
Pareto	48,39
MAUT	10,22
AHP	9,68
MACBETH ou outro MAVT	8,60
<i>Goal Programming</i>	3,23
ELECTRE	2,69
PROMETHEE	2,15
TOPSIS	1,08
Outros	13,96

Fonte: de Almeida et al. (2015).

2.1.2 O método *Analytic Hierarchy Process* (AHP)

Conforme Vargas (2010), a programação multicritério por meio do AHP é uma técnica estruturada para tomada de decisão em ambientes complexos em que diversas variáveis ou critérios são considerados para a priorização e seleção de alternativas ou projetos.

O método foi desenvolvido na década de 1970 por Thomas L. Saaty e foi extensivamente estudado a partir dessa época. Atualmente é aplicado para a tomada de decisão em diversos cenários complexos, em que pessoas trabalham em conjunto para tomar decisões e onde percepções humanas, julgamentos e consequências possuem repercussão de longo prazo.

O AHP baseia-se no lema dividir para conquistar. Os problemas que requerem técnicas MMAD são complexos e, como resultado, é vantajoso dividi-los e resolver um "subproblema" de cada vez. Esta separação é feita em duas fases do processo de decisão, durante (ISHIZAKA; NEMERY, 2013):

- A estruturação do problema;
- A obtenção de prioridades através de comparações por pares.

Já Busatto (2015) resumiu o método como as seguintes etapas:

- a) Identificação das alternativas e atributos significantes;
- b) Os responsáveis pela decisão indicam a significância relativa entre os atributos;
- c) Similarmente, para cada atributo, e para cada par de alternativas os responsáveis pela decisão especificam suas preferências;
- d) As comparações entre os atributos e as alternativas são registradas em matrizes na forma de frações entre 1/9 e 9 (Tabela 4). Cada matriz é avaliada pelo seu autovalor para verificar a coerência dos julgamentos;
- e) Calculam-se valores globais de preferência para cada alternativa.

O AHP fornece a matemática objetiva para processar as inevitáveis preferências subjetivas e pessoais de um indivíduo ou grupo na tomada de decisão. Com o AHP, um constrói hierarquias ou redes de feedback, em seguida, faz julgamentos ou realiza medições em pares de elementos para derivar escalas de razão que são então sintetizadas para selecionar a melhor alternativa. Fundamentalmente, o AHP trabalha desenvolvendo prioridades para alternativas e os critérios usados para julgar as alternativas (SAATY; VARGAS, 2012).

O método e, principalmente, os cálculos do autovalor e dos valores globais de prioridade, são melhor detalhados ao longo do capítulo 3 da Metodologia.

Tabela 4: Escala de relativa importância.

Escala	Avaliação Numérica	Recíproco (inverso)	Explicação
<i>Extremamente preferido</i>	9	1/9	<i>A evidência que favorece uma atividade sobre outra é a mais alta ordem possível de afirmação</i>
Muito forte a extremo	8	1/8	-
<i>Muito fortemente preferido</i>	7	1/7	<i>Uma atividade é favorecida muito fortemente sobre outra; seu domínio foi demonstrado na prática</i>
Forte a muito forte	6	1/6	-
<i>Fortemente preferido</i>	5	1/5	<i>Experiência e julgamento favorecem uma atividade em detrimento de outra</i>
Moderado a forte	4	1/4	-
<i>Moderadamente preferido</i>	3	1/3	<i>Experiência e julgamento favorecem ligeiramente uma atividade sobre outra</i>
Igual a moderado	2	1/2	-
<i>Igualmente preferido</i>	1	1/1	<i>Dois atividades contribuem igualmente para o objetivo</i>

Fonte: Saaty e Vargas (2012).

A Tabela 4 apresenta as opções da escala de proporções utilizada pelo método, que é necessária para a comparação entre cada par de alternativas de cada critério analisado. A escala e a explicação auxiliam a interpretação de qual valor escolher nas comparações.

Usualmente procura-se utilizar os números ímpares da Tabela 4 para assegurar razoável distinção entre os pontos da medição. O uso dos números pares só deve ser adotado quando existir a necessidade de negociação entre os avaliadores e quando o consenso natural não for obtido, gerando a necessidade de determinação de um ponto médio como solução negociada (VARGAS, 2010).

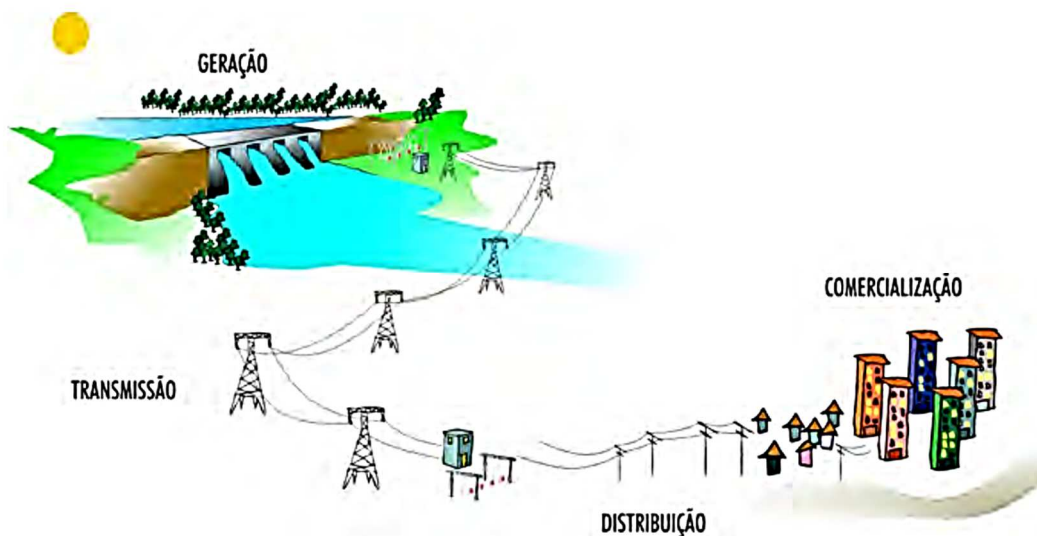
2.2 Conceitos de linhas de transmissão (LT)

Este capítulo apresenta conceitos básicos das linhas do sistema de transmissão de energia elétrica brasileiro. São abordados também os principais componentes das LTs e as suas particularidades.

2.2.1 Sistema elétrico brasileiro

Conforme ANEEL (2016), podemos resumir o setor elétrico como sendo as empresas geradoras que produzem a energia, as transmissoras que transportam do ponto de geração até os centros consumidores, de onde as distribuidoras a levam até a casa dos cidadãos. Há ainda as comercializadoras, empresas autorizadas a comprar e vender energia para os consumidores livres. Esse esquemático é visualizado na Figura 1.

Figura 1: Esquemático do setor elétrico.



Fonte: ANEEL (2016).

Na atual configuração do sistema elétrico brasileiro, a maior parte da energia gerada ocorre por meio de usinas hidrelétricas, sendo que grande parte se localiza em regiões afastadas dos grandes centros consumidores, que são os ambientes urbanos e as áreas industriais. Sendo assim, a eletricidade produzida necessita percorrer longas distâncias por meio de um complexo sistema de transmissão, o qual depende da operação de empreendimentos que se localizam nas diversas regiões do país (BARRETO, 2016).

A matriz de energia elétrica do Brasil atualmente está bem diversificada, sendo distribuída conforme verifica-se na Tabela 5.

Tabela 5: Matriz de energia elétrica do Brasil.

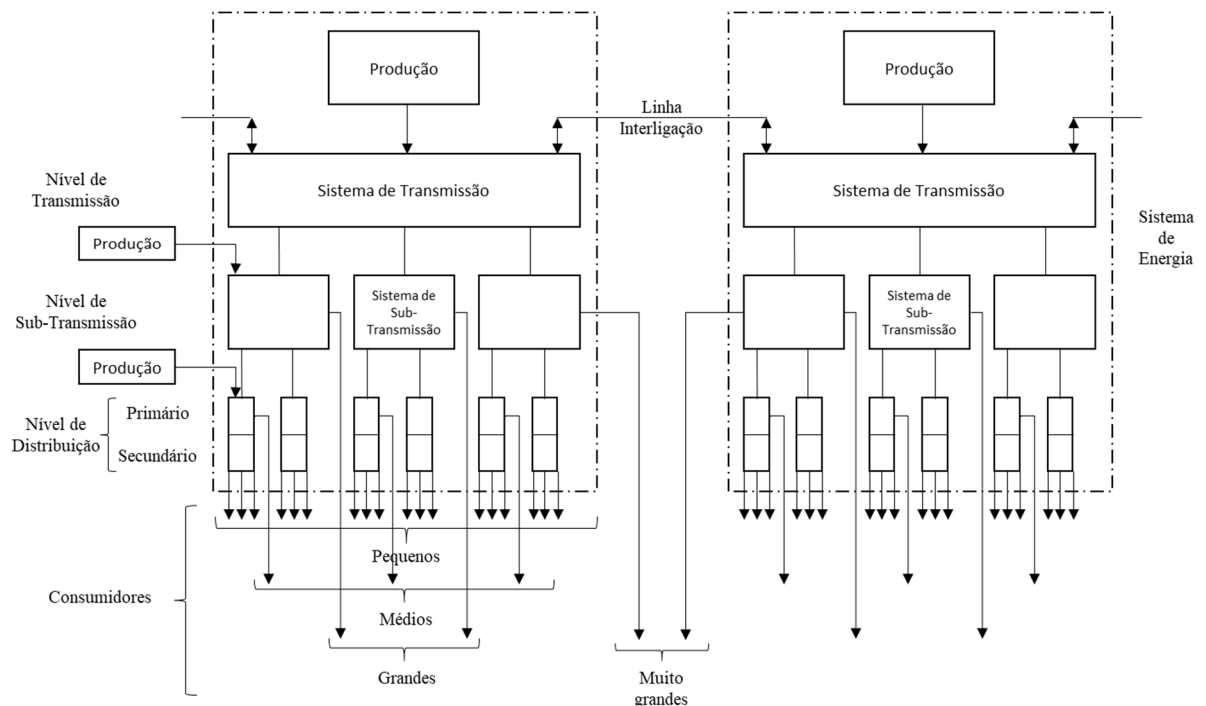
Matriz	Porcentagem
Hídrica	61,064
Fóssil	14,703
Eólica	8,642
Biomassa	8,408
Importação	4,573
Solar	1,496
Nuclear	1,114

Fonte: Adaptado de ANEEL (2019).

Já Fuchs (1977) detalha mais os sistemas elétricos, dividindo-os em cinco níveis:

- Rede de distribuição;
- Rede de subtransmissão;
- Rede de transmissão;
- Linhas de interligação;
- Geração.

Sendo que o transporte de energia é realizado em todos os níveis, diferenciando-se pelas tensões e quantidades de energia que cada um dos seus elementos básicos transporta.

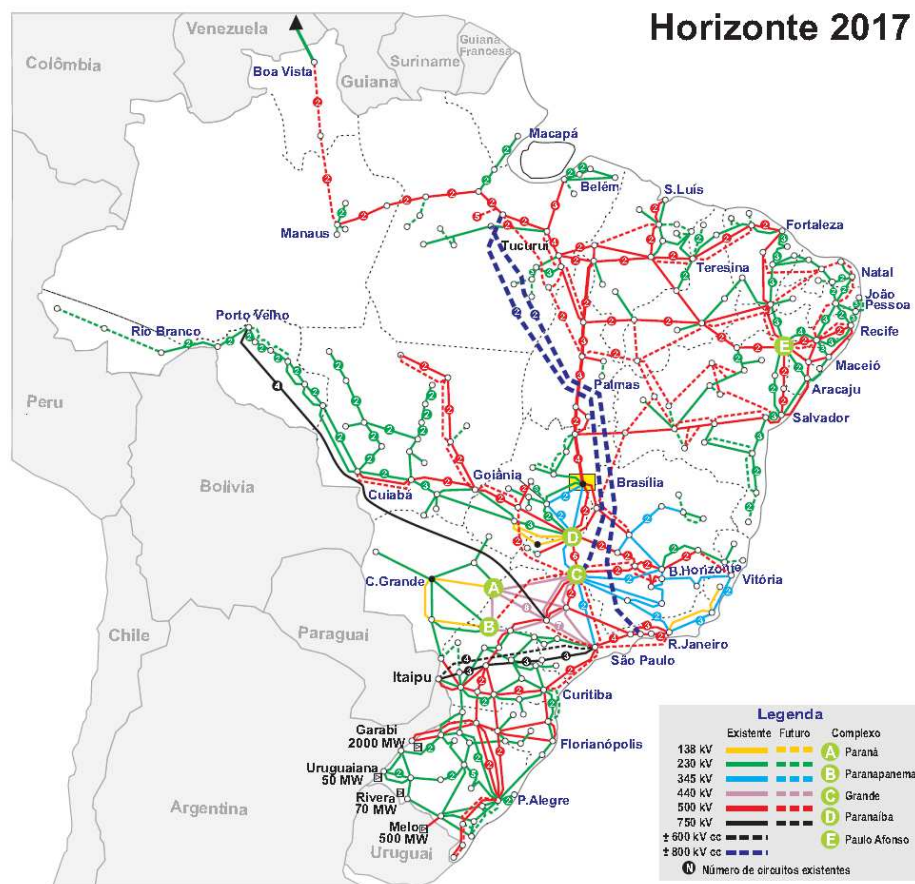
Figura 2: Estrutura básica de um sistema interligado.

Fonte: Adaptado de Fuchs (1977).

Nesse trabalho, o enfoque será dado na rede de transmissão, onde serão analisados os problemas de manutenção das linhas de transmissão. O Brasil, como país continental, possui uma vasta extensão de linhas por todo o seu território. Assim sendo, o sistema de transmissão é onde a eletricidade percorre longas distâncias e é mais suscetível à ocorrência de eventos indesejáveis que possam comprometer a transmissão dessa energia, necessitando assim de um sistema e métodos de manutenção eficientes.

Na Figura 3 podemos verificar o mapa das linhas de transmissão no Brasil.

Figura 3: Mapa com os traçados esquemáticos das LT no Brasil em 2017.



Fonte: ONS (2017).

2.2.2 Componentes das linhas de transmissão

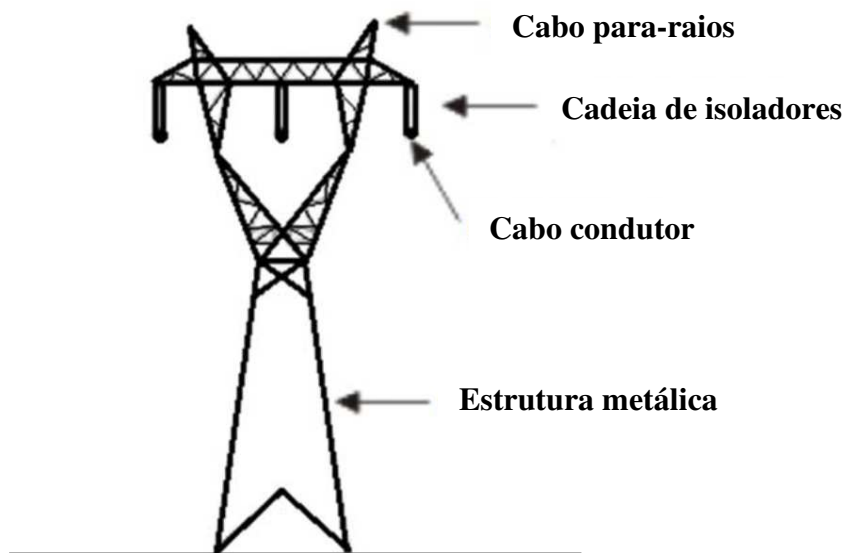
Para desenvolver uma metodologia de priorização da manutenção é importante conhecer a composição das linhas aéreas de transmissão, que são os objetos desse trabalho, sendo as mesmas divididas nos componentes abaixo, conforme Fuchs (1977):

- **Cabos condutores:** constituem os elementos ativos propriamente ditos das linhas de transmissão;

- **Isoladores e ferragens:** os cabos são suportados pelas estruturas através dos isoladores, que, como seu nome indica, os mantém isolados eletricamente das mesmas;
- **Estruturas das linhas de transmissão:** as estruturas constituem os elementos de sustentação dos cabos das linhas de transmissão;
- **Cabos para-raios:** ocupam a parte superior das estruturas e se destinam a interceptar descargas de origem atmosférica e descarregá-las para o solo, evitando que causem danos e interrupções nos sistemas.

A Figura 4 apresenta os principais componentes de uma LT de circuito simples e com tipologia de estrutura classificada como autoportante.

Figura 4: Croqui esquemático dos componentes de uma linha de transmissão.



Fonte: Barreto (2016).

2.3 Manutenção de linhas de transmissão (LT)

Conforme Kiessling et al. (2013) a manutenção efetiva de um sistema é tão essencial para um serviço de qualidade assim como um projeto de engenharia bem feito. De fato, um sistema bem projetado pode ficar aquém dos seus requisitos de serviço devido a manutenção incorreta. Além de alternar linhas para atender às condições de carga do sistema, a manutenção consiste não só em restaurar o serviço imediatamente após uma interrupção, mas também na previsão, detecção, remoção e substituição de componentes defeituosos, impedindo assim o desenvolvimento de falhas ou interrupções de longo prazo. As concessionárias de energia elétrica ou os proprietários das linhas, portanto, também estão preocupados em preservar a integridade dos componentes da linha durante a sua vida útil, especialmente em uma indústria de eletricidade orientada para o mercado.

Em manutenção, faz-se distinção entre defeito e falha; embora possa parecer sutil num primeiro instante, tal diferença é determinante na otimização dos processos de manutenção (FIDALGO, 2007).

Assim, conceitua-se **defeito** como qualquer anormalidade detectada em uma instalação que não a impossibilite de permanecer em funcionamento ou disponível para a operação, mas afete o grau de confiabilidade e/ou desempenho especificado ou esperado (ONS, 2016).

E **falha** como o efeito ou consequência de ocorrência em equipamento ou LT, que acarrete sua indisponibilidade operativa em condições não programadas e que, por isso, impede o equipamento ou a LT de desempenhar suas funções em caráter permanente ou temporário (ONS, 2016). As falhas normalmente são evoluções de defeitos que não foram corrigidos.

A manutenção de linhas de transmissão é dividida em manutenção preventiva e manutenção corretiva.

- **Manutenção preventiva:** É definida para a situação em que não se caracterizou um estado de falha, mas existe a situação de defeito. Sendo assim é uma forma de manutenção programada realizada em um equipamento com a intenção de reduzir a probabilidade de ocorrência de defeito ou do defeito detectado evoluir para uma falha (FIDALGO, 2007);
- **Manutenção corretiva:** Pode ser entendida como todo trabalho de manutenção (intervenção corretivas) realizado após a falha do equipamento, visando restabelecê-lo a sua função requerida, eliminando o estado de falha de forma provisória (manutenção paliativa) ou de forma definitiva (FIDALGO, 2007).

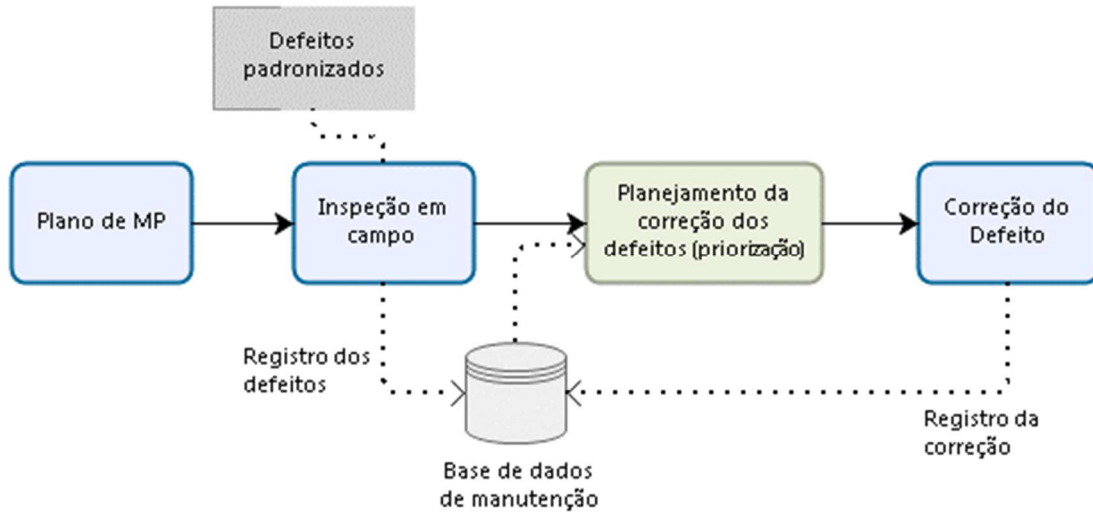
Sendo o objetivo da manutenção preventiva evitar a ocorrência de falhas e a necessidade de manutenções corretivas, as quais tem custos elevados de execução, além das penalidades pela indisponibilidade da linha.

A manutenção preventiva em linhas de transmissão é usualmente dividida nas seguintes atividades:

- Inspeções periódicas;
- Correção dos defeitos encontrados nas inspeções.

O foco desse trabalho é priorizar a correção dos defeitos encontrados nas inspeções periódicas, para que não evoluam para falhas e causem a indisponibilidade dos ativos. A Figura 5 mostra as principais etapas do processo de manutenção das linhas de transmissão, baseado na experiência do autor. É estabelecido um Plano de Manutenção Preventiva, com a periodicidade que devem ser realizadas as inspeções nos componentes das LT. As equipes de manutenção inspecionam os ativos, registrando todos os defeitos encontrados. Após, é realizado o planejamento de quais defeitos serão corrigidos e, então, é executada a correção em campo. As linhas tracejadas no processo representam as iterações com o sistema de gestão da manutenção.

Figura 5: Principais etapas do processo de manutenção de LT.



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.4 Trabalhos relacionados

Em relação à revisão de literatura, o problema de priorização de defeitos em linhas de transmissão não é muito comum, encontrando-se com mais frequência o problema de priorização de investimentos, que trata da escolha de onde construir novas LT. O enfoque deste trabalho é especificamente na priorização de defeitos de LT com a aplicação de um MMAD, com análises técnicas, sistêmicas e regulatórias, característica muito difícil de encontrar na literatura atual. Por esta razão, o problema foi observado com muita cautela para que possa haver um norteamento para a sua resolução.

A bibliografia mostra que a priorização de problemas é muito comum, principalmente no ambiente da manutenção, e que são utilizados diversos métodos para chegar nos resultados, havendo uma grande utilização de análises multicritérios. Também na área de manutenção identifica-se que os principais problemas atacados são a otimização dos planos de manutenção preventiva e a priorização de equipamentos e instalações críticas, não sendo encontrada referência onde foi realizada a priorização de defeitos específicos a serem corrigidos.

Um exemplo de otimização de manutenção é o artigo de Cavalcante e de Almeida (2007), que estabelece um modelo com o método PROMETHEE III para superar duas das principais dificuldades na elaboração de planos de manutenção preventiva de equipamentos, definir uma periodicidade de substituição baseada em mais de um critério e a habilidade de prover uma solução mesmo quando não se possui dados do histórico de falhas.

Já Lin et al. (2006) propõem um método de priorização para definir em quais linhas devem ser realizadas manutenções, utilizando o AHP e considerando critérios de confiabilidade e eficiência econômica. O método é utilizado em linhas de transmissão chinesas, utilizando uma metodologia semelhante a proposta nessa dissertação, entretanto o mesmo não classifica os defeitos detalhadamente e sim realiza uma classificação mais simplificada para as linhas de transmissão inteiras.

Em outro trabalho da área de manutenção, Schmitz, Canha e Marchesan (2017) estabelecem uma metodologia de hierarquização das subestações para manutenção ou substituição dos transformadores de potência, tendo como ponto de vista as subestações e não os transformadores em si. Foi utilizado o MMAD PROMETHEE para realizar o ranking, juntamente com o método AHP para a definição dos pesos dos critérios. Foram analisados critérios técnicos médios dos transformadores de cada subestação para chegar na priorização das subestações críticas.

Foram também procurados trabalhos referentes a priorização de problemas com métodos multicritérios na área de expansão de sistemas elétricos, além da área de manutenção. Nessa especialidade, a qual é bastante explorada, foram encontrados trabalhos preferencialmente na priorização de investimentos ou de características dos empreendimentos.

Em Dedemen (2013), por exemplo, são utilizados MMAD para estabelecer a rota preferencial de novas linhas de transmissão. Utilizando dados de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) a proposta combina os métodos AHP e PROMETHEE, resolvendo o problema de traçados de LT, considerando diversos critérios para a análise.

Semelhantemente, Bahmani, Hosseini e Shabannejad (2011) estabelecem um critério eficiente para selecionar onde instalar torres de transmissão utilizando o AHP, verificando quais locais não são apropriados. Utilizam o MMAD para calcular a função de custo da LT entre as torres. Após, a rota ótima é estabelecida com algoritmos genéticos. Para estabelecer os traçados ótimos e com custos menores, são utilizados critérios técnicos, de meio ambiente e sociais.

No trabalho de Loken, Botterud e Holen (2006) são comparados os métodos MAUT e AHP, verificando como os dois tratam as incertezas em um problema de planejamento de um sistema de distribuição de energia. Verifica-se que o método MAUT é mais adaptado para lidar com as incertezas, mas existem procedimentos para aplicar o AHP nessas situações.

Ainda em Busatto (2015) buscou-se o desenvolvimento de um método para análise de alternativas de investimentos na expansão das redes de distribuição, relacionando os tradicionais indicadores técnicos aos aspectos econômicos, utilizando o AHP para a avaliação dos critérios selecionados. Observando os resultados dos diversos indicadores pelos aspectos econômicos, é possível priorizar os melhores investimentos.

Com isso, a Tabela 6 resume os principais trabalhos analisados, as suas áreas de aplicação e qual método foi utilizado. Verificou-se que realmente poucos trabalhos atuam em priorização de atividades de manutenção a serem realizadas, ainda mais considerando as particularidades da regulação do setor elétrico brasileiro. Assim, estabelecer uma metodologia com essa análise completa dos fatores que influenciam a manutenção de linhas de transmissão no Brasil, com um procedimento sistematizado e de fácil aplicação, contribuirá para aprimorar essa área pouco explorada no meio científico.

Tabela 6: Resumo das referências estudadas.

Referência	Área	Método
(LOKEN; BOTTERUD; HOLEN, 2006)	Distribuição Expansão	MAUT e AHP comparados
(LIN et al., 2006)	Transmissão Manutenção	AHP
(CAVALCANTE; DE ALMEIDA, 2007)	- Manutenção	PROMETHEE III
(BAHMANI; HOSSEINI; SHABANNEJAD, 2011)	Transmissão Expansão	AHP
(DEDEMEN, 2013)	Transmissão Expansão	AHP e PROMETHEE integrados
(BUSATTO, 2015)	Distribuição Expansão	AHP
(SCHMITZ; CANHA; MARCHESAN, 2017)	Transmissão Manutenção	AHP e PROMETHEE integrados

Fonte: Elaborado pelo autor.

Verifica-se também a grande utilização do método AHP na priorização de atividades em diversas especialidades, muitas vezes em conjunto com outros métodos.

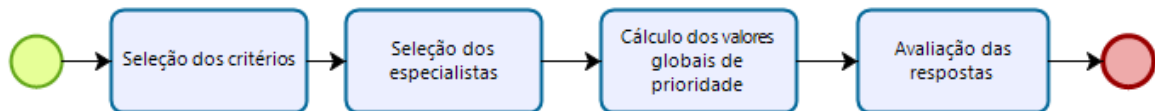
3 METODOLOGIA

Realizar a priorização entre os diversos defeitos que são encontrados em linhas de transmissão não é uma atividade trivial. Normalmente o gestor utiliza da sua experiência em conjunto com classificações técnicas desenvolvidas pelo setor de engenharia de manutenção da concessionária. Entretanto, sem uma metodologia estabelecida, fica difícil analisar todos os critérios técnicos e ainda considerar as particularidades sistêmicas entre as linhas de transmissão e, principalmente, o impacto de eventuais multas regulatórias causadas por indisponibilidades.

Assim, a fim de sistematizar a priorização dos defeitos, a metodologia proposta está basicamente dividida em quatro etapas. A primeira trata da seleção e detalhamento dos critérios para aplicação na metodologia de priorização de quais defeitos devem ser corrigidos. O modelo proposto é pautado na aplicação do MMAD AHP, conforme definido no capítulo 2, item 2.1.1. Na segunda etapa é realizada a pesquisa com especialistas em manutenção de LT para estabelecer as comparações entre os critérios definidos. A terceira etapa apresenta os cálculos do método utilizado para as respostas de cada um dos especialistas, chegando nos valores globais de prioridade entre os critérios. A quarta e última etapa consiste em agrupar os valores globais de prioridades de todos especialistas, chegando na resposta final da metodologia proposta.

Com isso, a Figura 6 apresenta de forma resumida e ilustrativa as principais etapas da metodologia descrita.

Figura 6: Fluxograma da metodologia.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1 Seleção dos critérios

O primeiro passo para a aplicação do método AHP é a determinação dos critérios que serão utilizados. Essa etapa de escolha e identificação de critérios é de extrema importância para a qualidade do modelo de decisão que será desenvolvido.

Conforme Saaty e Vargas (2012) decidir quais fatores incluir na estrutura hierárquica talvez seja a tarefa mais criativa ao tomar uma decisão. Ao construir hierarquias, deve-se incluir detalhes relevantes suficientes para representar o problema da forma mais completa possível, mas não tão completamente a ponto de perder a sensibilidade à mudança nos elementos. Considerando o ambiente que envolve o problema, identificar os problemas ou atributos que um membro considera que devem contribuir para a solução e quem são os participantes associados ao problema, são questões importantes ao construir uma hierarquia. Organizar as metas, atributos, questões e partes interessadas em uma hierarquia serve a dois propósitos: fornece uma visão geral das relações complexas inerentes à situação e ao processo de julgamento, e também permite que o tomador de decisão avalie se está ou não comparando questões da mesma ordem de magnitude.

Para selecionar os critérios que impactam na priorização de defeitos de linhas de transmissão, a escolha foi baseada em premissas previamente estabelecidas, pois sabe-se que existem muitas variáveis que influenciam o desempenho de linhas de transmissão e a escolha de como analisar os defeitos existentes. Também é importante analisar quais são os dados disponíveis para serem utilizados no modelo, para que o mesmo seja de fácil aplicação.

A partir dessa problemática, foram estabelecidas as seguintes premissas para a escolha dos critérios:

- **Técnicas.** Critérios que tecnicamente avaliem os fatores mais importantes dos defeitos;
- **Sistêmicas.** Critérios que avaliem os impactos sistêmicos de falhas decorrentes dos defeitos;
- **Regulatórias.** Critérios que avaliem os impactos regulatórios de falhas decorrentes dos defeitos.

Assim, com base nas três premissas estabelecidas, os critérios de interesse foram selecionados e são mostrados na Tabela 7. A escolha dos critérios foi baseada na experiência na gestão de manutenção de linhas de transmissão.

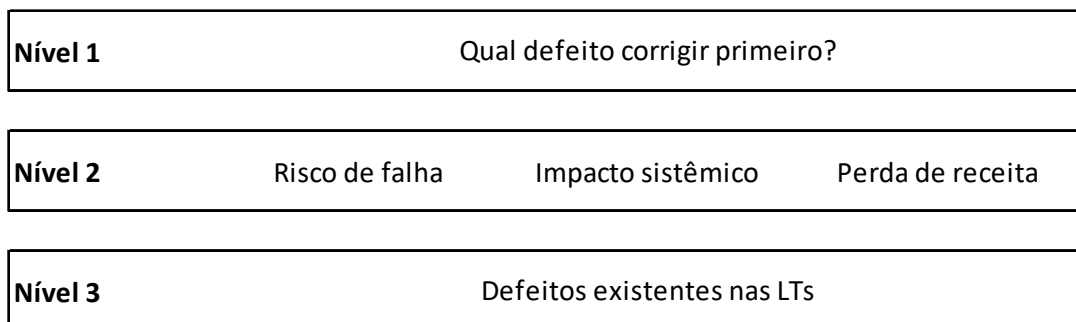
Tabela 7: Critérios selecionados.

Premissa	Critério
Técnica	Risco de falha
Sistêmica	Impacto sistêmico
Regulatória	Perda de receita

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com isso, seguindo com o método AHP, chega-se na representação hierárquica dos critérios de interesse na Figura 7. O que se deseja avaliar é qual defeito corrigir primeiro. Desse modo, deve-se analisar o risco de falha, impacto sistêmico e perda de receita, isso aplicando para cada um dos defeitos existentes nas linhas de transmissão sob enfoque.

Figura 7: Níveis hierárquicos de decisão.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A lista de critérios poderia ser ampliada, pois existem outras variáveis que também influenciam no desempenho dos defeitos, porém, devido ao escopo deste trabalho, foram elencados os mais importantes, que serão detalhados abaixo.

3.1.1 Risco de falha (RF)

Esse é o critério que analisa tecnicamente cada defeito pendente nas linhas de transmissão, avaliando baseado nas suas características qual o risco de o defeito evoluir para uma falha, o que causará a indisponibilidade da função transmissão. Assim, seu efeito deve ser maximizado para a decisão de qual defeito corrigir primeiro.

Como a análise dos defeitos em relação a risco de falha é muito complexa, o trabalho divide esse critério em três subcritérios: o componente com defeito, a criticidade do defeito e o status do defeito.

a) Componente com defeito (COM):

Um dos fatores técnicos mais importantes para o risco de falha é o componente da linha de transmissão que está com o defeito. Cada componente tem defeitos típicos que apresentam um comportamento comum em relação ao histórico de falhas. Eles são agrupados por tipo de componentes a fim de reduzir o número de possibilidades da análise. Os grupos de componentes objeto de análise e seus defeitos típicos estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Componente com defeito.

Componente	Defeitos típicos
Cadeia/Isolador (CISO)	Ferragens oxidadas ou com desgaste, isoladores quebrados ou com oxidação/corrosão.
Faixa (Vegetação) (FAIX)	Vegetação na faixa de passagem ou fora da faixa com risco de aproximação do condutor.
Cabo Cobertura (COBE)	Cabo oxidado, desgaste em ferragens dos conjuntos de suspensão e ancoragem.
Torre (TORR)	Peças ausentes, oxidadas ou corroídas e danos na fundação.
Cabo Condutor (COND)	Cabo oxidado e conectores/emendas danificados.
Aterramento (ATER)	Cabos ou conectores do aterramento ausentes, oxidados ou corroídos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

b) Criticidade do defeito (CRI):

Os defeitos possíveis de identificação são previamente padronizados e codificados e, à medida que são registrados no sistema de gestão da manutenção, recebem uma criticidade/prazo de correção automática, conforme configuração pré-estabelecida para cada código de defeito. A criticidade do defeito é definida pelo setor de engenharia de manutenção com base no potencial de evolução de cada defeito em falha e apresenta cinco níveis, conforme elencados na Tabela 9.

Tabela 9: Criticidade dos defeitos.

Criticidade	Prazo de correção
C0 - Urgente 15 D	Corrigir em até 15 dias.
C1 - Necessária 60 D	Corrigir em até 60 dias.
C2 - Necessária 180 D	Corrigir em até 180 dias.
C3 - Desejável 01 A	Corrigir em até 01 ano.
C4 - Gerenciável	Monitorável, passível de avaliação antes da correção.

Fonte: CEEE-GT.

c) Status do defeito (STA):

O risco de falha dos defeitos também é fortemente influenciado pelo tempo que ele já foi detectado e se o mesmo já ultrapassou o prazo previsto pelo setor de engenharia de manutenção como o limite de correção antes que ele evolua para uma falha. Com isso, o status do defeito, se ele já está vencido, baseado na sua criticidade e prazo de correção, é importante e pode ser classificado conforme a Tabela 10.

Tabela 10: Status dos defeitos.

Status	Prazo de correção
P - Pendente	Defeito pendente de correção dentro do prazo previsto.
A - Atrasado	Defeito pendente de correção, mas atrasado no prazo previsto.

Fonte: CEEE-GT.

3.1.2 Impacto sistêmico (IS)

Conforme CIGRE (2012), algumas linhas de transmissão são mais importantes que outras e não podem ser retiradas de serviço sem grandes penalidades financeiras e políticas para o proprietário do ativo. Essas linhas precisam ser identificadas e classificadas em importância (ou seja, risco e consequência).

Esse é o critério que analisa o grau de importância da linha de transmissão relacionado com a sua condição sistêmica, ou seja, topologia do sistema e o impacto em termos de corte de carga que a indisponibilidade irá causar. Assim, ele deve ser maximizado para a decisão de qual defeito corrigir primeiro. Para efeito de ponderação foram adotados quatro níveis de criticidade, conforme Tabela 11 a seguir:

Tabela 11: Níveis de impactos sistêmicos das LT.

Impacto sistêmico	Consequência
I0 - Crítico	Indisponibilidade da LT implica em corte de carga ao consumidor ou limitação de geração.
I1 - Alto	Indisponibilidade da LT implica em tornar uma subestação radial, com somente mais uma alternativa de LT para ocorrer o corte de carga.
I2 - Médio	Indisponibilidade sem impacto significativo em LT classificada como Rede Básica (RB).
I3 - Baixo	Indisponibilidade sem impacto significativo em LT classificada como Demais Instalações de Transmissão (DIT).

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1.3 Perda de receita (PR)

Esse é o critério que analisa o impacto regulatório de cada defeito pendente nas linhas de transmissão, avaliando a perda de receita se o defeito evoluir para uma falha, o que causará a indisponibilidade da função transmissão. Assim, seu efeito deve ser maximizado para a decisão de qual defeito corrigir primeiro.

Para calcular a perda de receita que cada combinação dos critérios dos defeitos pode vir a causar, levou-se em consideração se cada defeito pendente na LT resultasse em uma falha e que fossem aplicadas as penalidades previstas no mecanismo regulatório da Resolução Normativa ANEEL 729/2016 (ANEEL, 2017) da Parcela Variável por Indisponibilidade (PVI) para cada falha. Abaixo é detalhada a expressão utilizada para PVI.

$$PVI = \frac{PB}{24 \times 60 \times D} \times \left(\sum_{j=1}^{NO} Ko \times PAODj \right) \quad (1)$$

Sendo:

- D: Número de dias no mês da ocorrência;
- 24 X 60 X D: Número de minutos no mês da ocorrência;
- PB: Pagamento Base da Função Transmissão (FT) relativo ao mês de início da ocorrência do evento;
- PAODj Período Associado a Outro Desligamento j, em minutos;
- Ko: Fator multiplicador para Outros Desligamentos, sendo que esse fator será reduzido para Kp após o 300º minuto;
- NO: Número de Outros Desligamentos da FT ocorrido ao longo do mês.

Para a aplicação dos cálculos de perda de receita desse trabalho, tem-se as seguintes considerações:

- Como todas Funções Transmissão analisadas são do tipo linha de transmissão, foi utilizado os $Ko = 150$ e $Kp = 10$;
- Todas as ocorrências serão consideradas Outros Desligamentos, que são desligamentos não programados que ocorrem após uma falha.

Em relação ao período da indisponibilidade (PAOD) foi considerada a soma do Tempo Médio de Reparo (TMR), que é o tempo médio necessário para realizar o reparo da falha causada pelo defeito, com o Tempo Médio de Deslocamento (TMD), que é o tempo médio de deslocamento da equipe de manutenção da sua sede até a LT afetada pela falha. Foi estabelecido um tempo médio de reparo para cada código de defeito possível, considerando que a forma de correção é semelhante para os defeitos do mesmo código. Também foi feita uma simplificação, considerado o tempo médio de deslocamento para cada linha de transmissão, e não o deslocamento para cada estrutura da LT.

$$PAOD = (TMR + TMD) \quad (2)$$

Para possibilitar a ponderação entre as possíveis perdas de receita, estabeleceram-se faixas de perdas possíveis, conforme Tabela 12 a seguir.

Tabela 12: Perda de receita por PVI do defeito.

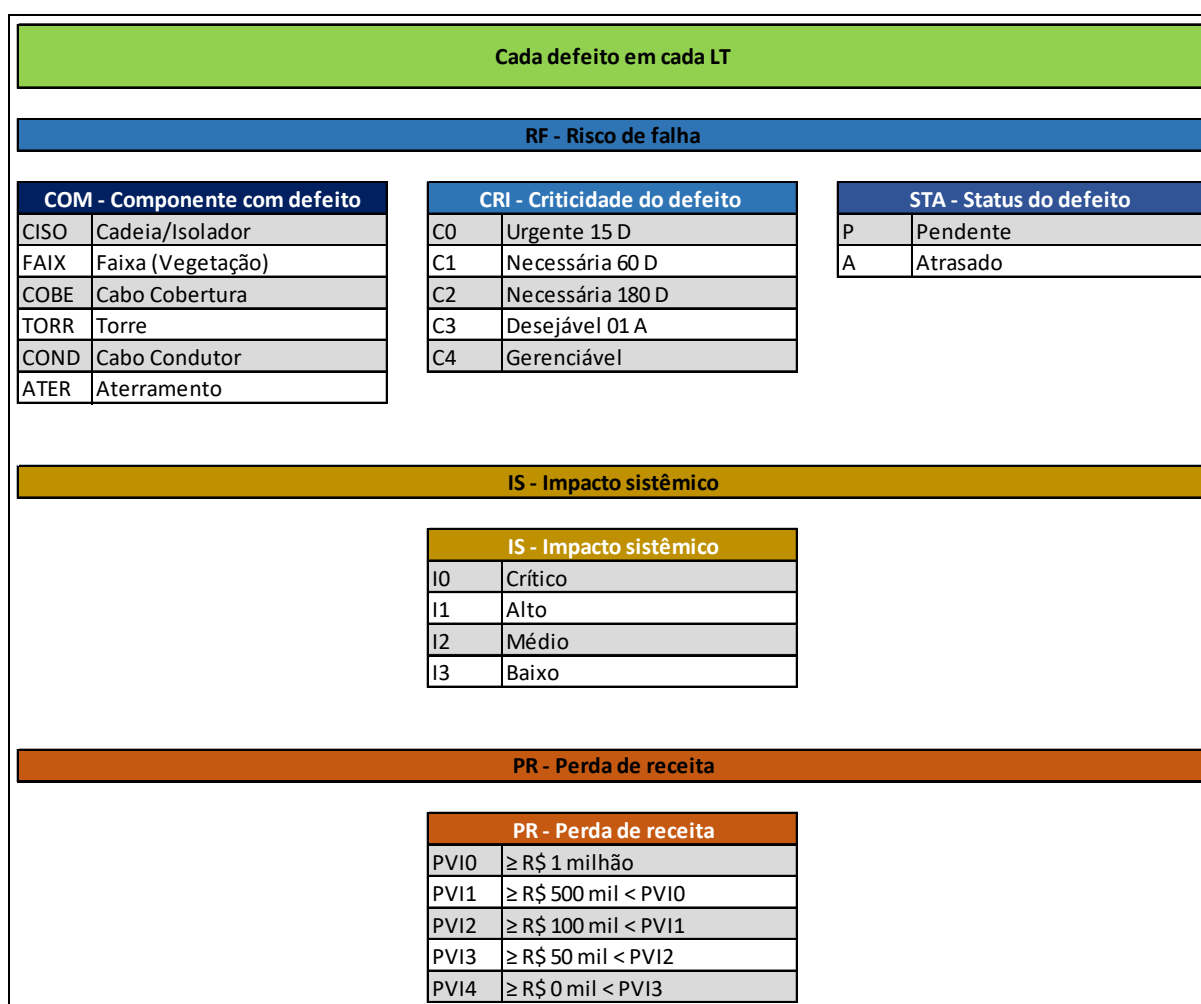
Escala de Perda	Faixa de Valores
PVI0	≥ R\$ 1 milhão
PVI1	≥ R\$ 500 mil < PVI0
PVI2	≥ R\$ 100 mil < PVI1
PVI3	≥ R\$ 50 mil < PVI2
PVI4	≥ R\$ 0 mil < PVI3

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2 Seleção dos especialistas

Após o estabelecimento dos critérios a próxima etapa da metodologia com base no AHP, conforme detalhado no capítulo 2, item 2.1.2, é indicar a significância relativa entre os critérios, subcritérios e alternativas, para que os defeitos possam ser classificados com as alternativas, conforme hierarquia detalhada na Figura 8, que servirá de base para a pesquisa.

Figura 8: Hierarquia completa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da montagem da hierarquia, os critérios precisam ser avaliados dois a dois, visando determinar a importância relativa entre eles e seu peso relativo na meta global (VARGAS, 2010).

Para cada critério e subcritério é realizada uma pesquisa com especialistas em manutenção de linhas de transmissão de uma concessionária, para chegar na sua valoração. A pesquisa é qualitativa e baseada no conhecimento subjetivo dos profissionais especialistas. Para critérios em que não é possível realizar uma pesquisa, são utilizados valores da escala.

Neste contexto foi solicitado aos especialistas que respondam ao formulário da pesquisa, conforme o Apêndice 1 - Formulário da Pesquisa. Onde solicita-se que sejam comparadas as características (conforme Figura 8), duas por vez, definindo a importância relativa entre elas para cada um dos critérios avaliados. O objetivo era marcar um "x" ao lado da característica que o especialista entendesse que teria maior influência no fator que estava sendo analisado, utilizando os níveis (de 1 a 9) para representar o grau das diferenças.

Na pesquisa, além de solicitar a avaliação das alternativas de cada critério e subcritério, também foi solicitada a análise da importância relativa entre os três critérios (risco de falha, impacto sistêmico e perda de receita).

3.3 Cálculo dos valores globais de prioridade

Com as respostas das pesquisas realizadas com os especialistas, a próxima etapa da aplicação do método AHP consistiu no cálculo dos valores globais de preferência. Para se chegar aos valores globais foi necessário seguir os seguintes passos:

- a) Elaborar a matriz comparativa de cada critério e subcritério;
- b) Normalizar a matriz comparativa;
- c) Calcular o vetor de prioridade ou autovetor;
- d) Calcular o autovalor máximo (λ_{Max});
- e) Calcular o índice de consistência (IC)
- f) Calcular a taxa de consistência (TC);
- g) Avaliar os pesos relativos de todos os critérios e subcritérios da hierarquia;
- h) Calcular a prioridade global de cada um dos critérios.

Primeiro montou-se a matriz comparativa de cada critério e subcritério com as respostas dos especialistas, conforme item 3.2 da metodologia. Após essa etapa, foi necessário normalizar a matriz comparativa.

Assim, a determinação da contribuição de cada critério na meta é calculada a partir do vetor de prioridade ou autovetor. O autovetor apresenta os pesos relativos entre os critérios e é obtido de modo aproximado através da média aritmética dos valores de cada um dos critérios (adaptado de VARGAS, 2010).

Os valores encontrados para o autovetor significam a participação ou o peso daquele critério no resultado total da meta. Após, foi necessário verificar a consistência dos dados, para confirmar que os especialistas foram consistentes nas suas opiniões para a tomada de decisão. Para isso foi necessário calcular o índice de consistência (IC), que tem como base o autovalor máximo (λ_{Max}). O autovalor máximo foi calculado através do somatório do produto de cada elemento do autovetor pelo total da respectiva coluna da matriz comparativa original.

Assim, conforme Saaty e Vargas (2012), pode-se calcular o índice de consistência (IC) com a seguinte equação:

$$IC = \frac{\lambda_{Max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

Onde n é o número de critérios avaliados.

Para verificar se o valor encontrado no índice de consistência (IC) é adequado, é necessário calcular também a taxa de consistência (TC). Ela é determinada pela razão entre o valor do índice de consistência (IC) e o índice de consistência aleatória (ICA). A matriz será considerada consistente se a razão for menor que 10%.

$$TC = \frac{IC}{ICA} \quad (4)$$

O valor de ICA é fixo e tem como base o número de critérios avaliados, conforme a Tabela 13.

Tabela 13: Índice de consistência aleatória (ICA).

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Saaty e Vargas (2012).

Assim, feito o cálculo desses índices, se o valor da TC for menor que 10%, a matriz pode ser considerada consistente, e os resultados do vetor de prioridades podem ser considerados para a análise do critério ou subcritério que está sendo desenvolvido e avaliado.

Para chegar-se na prioridade global, ainda é necessário ponderar os vetores de prioridade de cada critério ou subcritério com a importância do próprio critério. Utilizando-se o vetor de prioridades da comparação entre os critérios, multiplicando-se o valor da prioridade de cada critério com os vetores de prioridades internos dos critérios, conforme exemplo nas Figuras 9 a 11.

Figura 9: Exemplo de vetor de prioridades de comparação entre critérios do especialista A.

	Especialista A
RF - Risco de falha	63,3%
IS - Impacto sistêmico	10,6%
PR - Perda de receita	26,0%
	100%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 10: Vetores de prioridade de cada um dos subcritérios do critério risco de falha.

RF		
COM		
CISO	34,0%	
FAIX	32,9%	
COBE	10,6%	
TORR	5,0%	
COND	14,5%	
ATER	3,0%	
		100%
CRI		
C0	45,0%	
C1	26,6%	
C2	15,8%	
C3	9,4%	
C4	3,1%	
		100%
STA		
P	12,5%	
A	87,5%	
		100%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o critério risco de falha, foi considerado que cada um dos seus três subcritérios tem a mesma importância.

Figura 11: Vetores de prioridade após ponderação do peso do critério risco de falha.

RF		
COM		
CISO	7,2%	
FAIX	7,0%	
COBE	2,2%	
TORR	1,1%	
COND	3,1%	
ATER	0,6%	
		21,1%
CRI		
C0	9,5%	
C1	5,6%	
C2	3,3%	
C3	2,0%	
C4	0,7%	
		21,1%
STA		
P	2,6%	
A	18,5%	
		21,1%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim, verifica-se que a soma dos valores de prioridade de cada uma das alternativas dos três subcritérios do critério risco de falha (21,1%+21,1%+21,1%) resulta no total do critério (63,3%).

O mesmo cálculo é realizado para os critérios de importância sistêmica e de perda de receita, conforme Tabelas 14 e 15.

Tabela 14: Vetor de prioridade do critério importância sistêmica.

Alternativa	Vetor de prioridade	Vetor de prioridade após ponderação
10	55,8%	5,9%
11	26,3%	2,8%
12	12,2%	1,3%
13	5,7%	0,6%
100,0%		10,6%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 15: Vetor de prioridade do critério perda de receita.

Alternativa	Vetor de prioridade	Vetor de prioridade após ponderação
PVI0	54,3%	14,1%
PVI1	24,9%	6,5%
PVI2	10,7%	2,8%
PVI3	6,4%	1,7%
PVI4	3,7%	1,0%
	100,0%	26,0%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim, chega-se aos valores globais de prioridade para um dos especialistas, onde na Figura 12 verificamos o valor para cada alternativa.

Figura 12: Exemplo de valores globais de prioridade.

Critério	CISO	FAIX	COBE	TORR	COND	ATER	CO	C1	C2	C3	C4	P	A	I0	I1	I2	I3	PVI0	PVI1	PVI2	PVI3	PVI4	
Valor	7,2%	7,0%	2,2%	1,1%	3,1%	0,6%	9,5%	5,6%	3,3%	2,0%	0,7%	2,6%	18,5%	5,9%	2,8%	1,3%	0,6%	14,1%	6,5%	2,8%	1,7%	1,0%	100%

Fonte: Elaborado pelo autor.

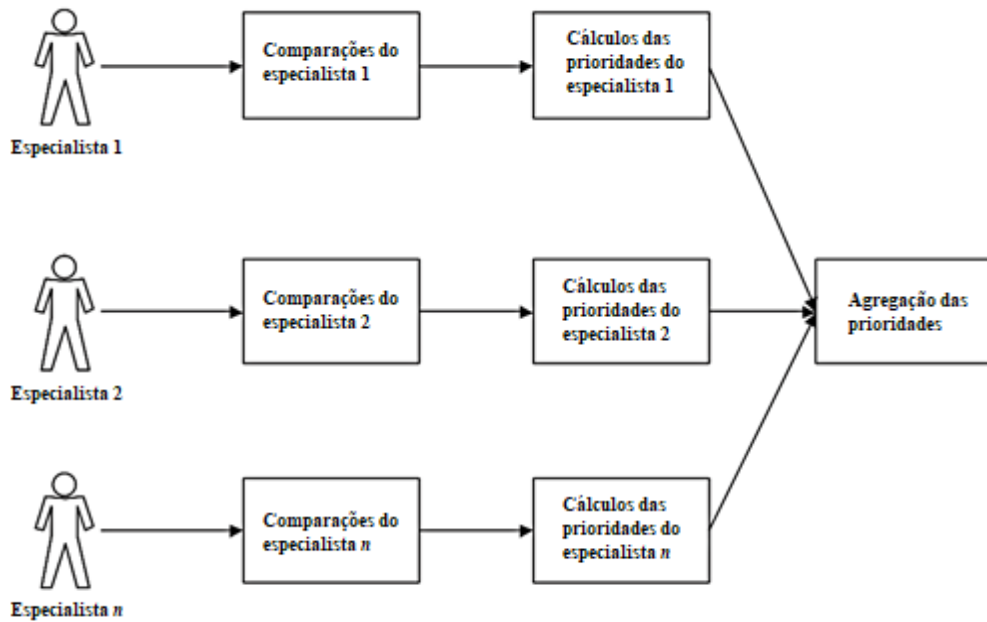
No final dessa etapa da metodologia, tem-se calculado os valores globais de prioridade para cada um dos especialistas.

3.4 Avaliação das respostas

Na última etapa da implementação da metodologia são utilizados os grupos de valores globais de prioridade das respostas de cada um dos especialistas. O objetivo é agrupar todas as prioridades calculadas, chegando em uma única resposta final da metodologia.

Para agrupar as análises dos diversos especialistas foi utilizado o método descrito por Ishizaka e Nemery (2013), onde as prioridades são calculadas baseadas nas análises de cada especialista e depois agregadas usando a média aritmética ponderada, conforme Figura 13.

Figura 13: Agregação no nível de prioridades.



Fonte: Adaptado de Ishizaka e Nemery (2013).

Optou-se por utilizar o agrupamento das prioridades pelo cálculo da média aritmética após os cálculos das prioridades, do que a outra opção que seria a média geométrica diretamente nas comparações dos especialistas. Entendeu-se que assim seria melhor para avaliar o resultado das respostas de cada especialista, pois visualiza-se os valores globais de prioridades onde é possível verificar discrepâncias, do que com a média das respostas que gera um resultado do cálculo das prioridades que não representa a opinião de nenhum especialista. Foi utilizado o mesmo peso para a ponderação de cada especialista. Essa opção de agrupamento também possibilita desconsiderar os valores dos especialistas que apresentam inconsistências.

Após o agrupamento chegou-se nos valores globais que são utilizados na metodologia, que consiste em classificar os defeitos em cada um dos critérios e subcritérios, verificando o valor de prioridade de cada alternativa e somando as alternativas encontradas, para chegar no valor de importância de cada defeito.

No próximo capítulo, será apresentada a aplicação da metodologia em dados reais de uma concessionária.

4 TESTES E RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos na aplicação da metodologia em uma concessionária de transmissão de energia elétrica. Está dividido em quatro etapas: a pesquisa com especialistas, a aplicação em defeitos de equipe de manutenção de LT, a avaliação da metodologia proposta e a aplicação em defeitos atuais.

4.1 Pesquisa com especialistas

Primeiramente, seguindo a etapa da metodologia descrita no item 3.2, foram selecionados onze profissionais especialistas das áreas de operação, manutenção, engenharia e gestão do setor elétrico para a realização da pesquisa e para indicar a significância relativa entre os critérios, subcritérios e alternativas. Trata-se do corpo técnico responsável pelas linhas de transmissão em uma concessionária de transmissão.

Das pesquisas enviadas, foram obtidas as respostas de oito dos especialistas e suas qualificações estão listadas abaixo:

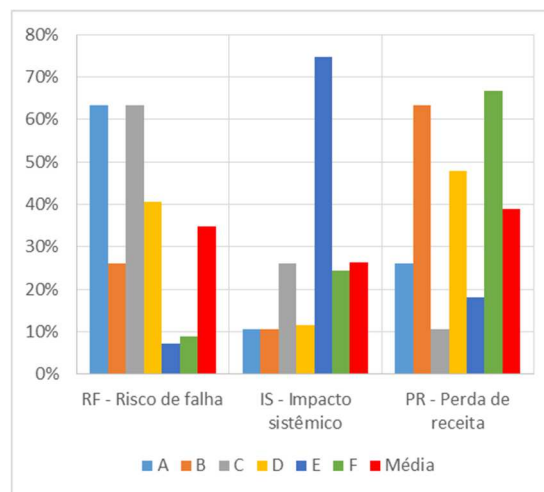
- **Especialista A:** Engenheiro Eletricista, área de engenharia de manutenção de linhas de transmissão. 13 anos de experiência no setor elétrico.
- **Especialista B:** Engenheiro Eletricista, área de engenharia de manutenção de linhas de transmissão. 17 anos de experiência no setor elétrico.
- **Especialista C:** Engenheiro Eletricista, área de gestão de operação e manutenção. 17 anos de experiência no setor elétrico.
- **Especialista D:** Engenheiro Eletricista, área de gestão de operação e manutenção. 13 anos de experiência no setor elétrico.
- **Especialista E:** Engenheiro Eletricista, área de gestão de operação e manutenção. 12 anos de experiência no setor elétrico.
- **Especialista F:** Técnico Eletrotécnico, área de manutenção de linhas de transmissão. 14 anos de experiência no setor elétrico.
- **Especialista G:** Técnico Eletrotécnico, área de manutenção de linhas de transmissão. 14 anos de experiência no setor elétrico.
- **Especialista H:** Técnico Eletrotécnico, área de manutenção de linhas de transmissão. 14 anos de experiência no setor elétrico.

Com as respostas dos especialistas, realizou-se os cálculos dos valores globais de prioridade para cada um, conforme item 3.3 da metodologia. Com isso, verificou-se que algumas das respostas de dois especialistas, dos oito que responderam à pesquisa, o valor de taxa de consistência foi maior do que 10%, sendo então suas respostas consideradas inconsistentes. Assim, optou-se em não utilizar as respostas dos especialistas G e H para a aplicação dos testes.

Verificou-se que houveram diferenças significativas nas opções selecionadas pelos especialistas para responder quais critérios são mais importantes na priorização de defeitos a serem corrigidos, conforme podemos ver nas Figuras 14 a 19. Utilizando a média aritmética foram agrupadas as prioridades dos especialistas, determinando desta forma o valor que foi utilizado nos testes.

Na Figura 14 observa-se as diferenças na comparação entre os critérios propriamente ditos. Essa avaliação é a mais importante presente na pesquisa, pois os pesos das alternativas dos critérios e subcritérios são ponderados por essas respostas.

Figura 14: Comparação das respostas dos especialistas para os pesos entre os critérios.

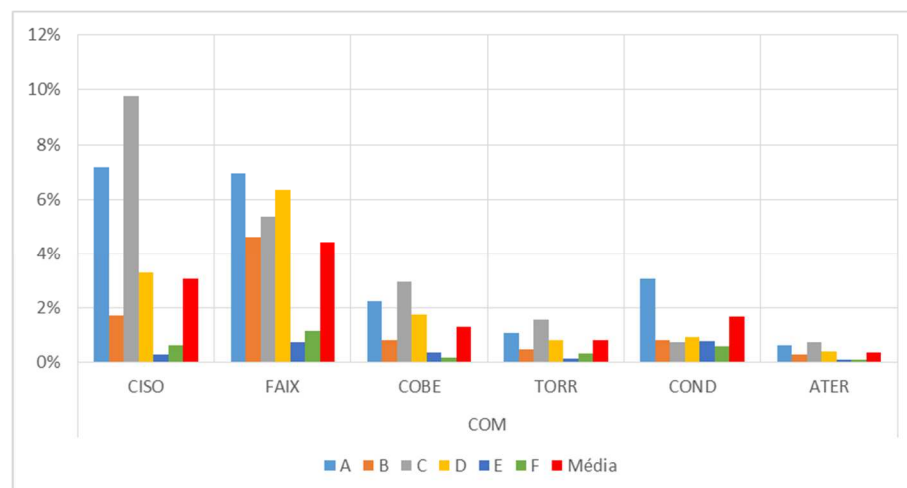


Fonte: Elaborado pelo autor.

Cada barra nas figuras representa a resposta de um dos especialistas, sendo que a letra da legenda significa um especialista específico.

O critério risco de falha ficou com o segundo maior valor (34,9%) e ele se subdivide em três subcritérios, que foram ponderados igualmente. A Figura 15 exhibe as respostas para o subcritério componente com defeito, onde a faixa (vegetação) ficou com a maior importância.

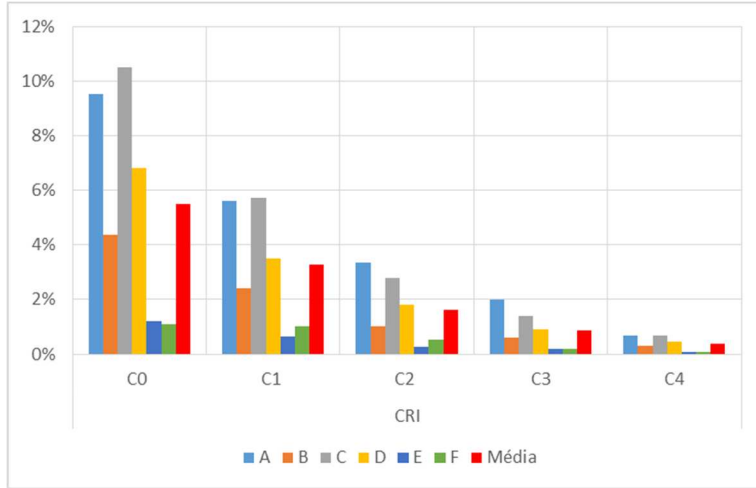
Figura 15: Comparação das respostas dos especialistas para o subcritério componente do critério risco de falha.



Fonte: Elaborado pelo autor.

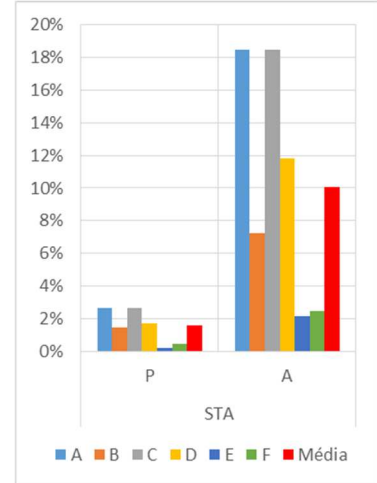
Na Figura 16 verificou-se o resultado do subcritério criticidade do defeito, onde as maiores criticidades apresentaram os maiores pesos. No subcritério status do defeito, exibido na Figura 17, o resultado foi o esperado, dos defeitos atrasados terem maior peso do que os pendentes.

Figura 16: Comparação das respostas dos especialistas para o subcritério criticidade do critério risco de falha.



Fonte: Elaborado pelo autor.

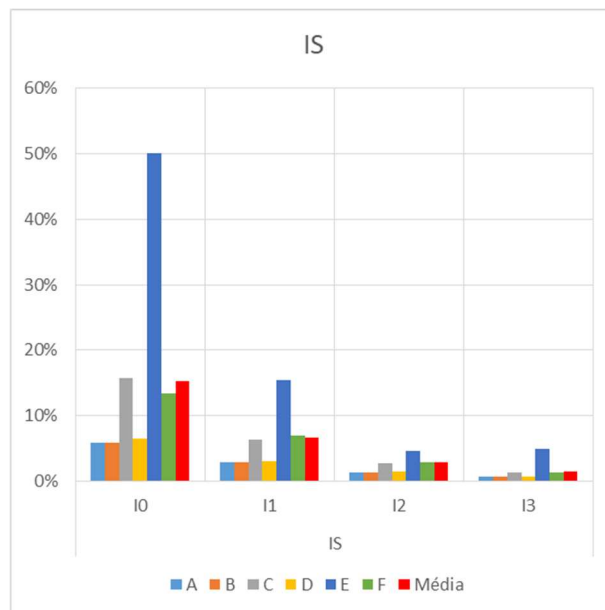
Figura 17: Comparação das respostas dos especialistas para o subcritério status do critério risco de falha.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O critério importância sistêmica foi o que ficou com o menor valor (26,3%), onde as alternativas com maior importância apresentaram os maiores pesos, conforme Figura 18.

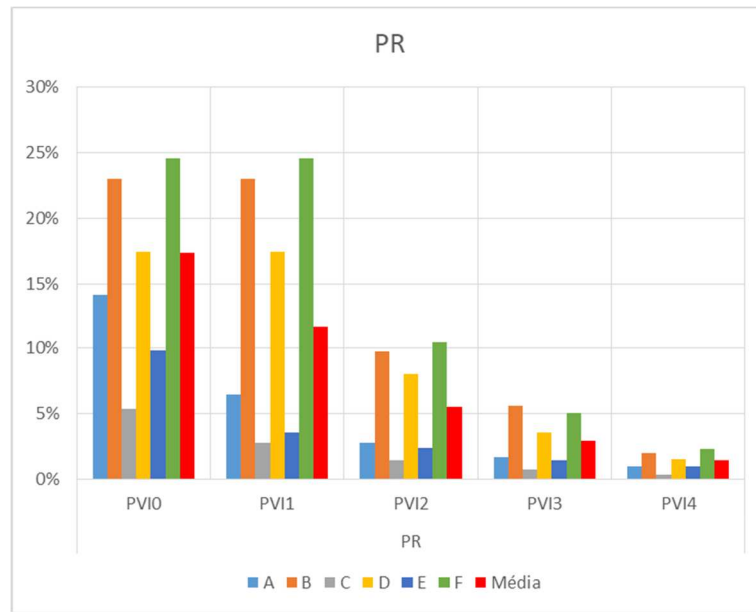
Figura 18: Comparação das respostas dos especialistas para o critério importância sistêmica.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por último, o critério perda de receita foi o que ficou com o maior valor (38,8%) após a média das respostas dos especialistas. Isso torna essa característica da linha de transmissão, onde os defeitos estão localizados, como a mais importante para definição da prioridade da correção, pela aplicação da metodologia nessa concessionária. Na Figura 19 visualiza-se as respostas entre as alternativas.

Figura 19: Comparação das respostas dos especialistas para o critério perda de receita.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim, chegou-se na resposta final da aplicação da metodologia, na qual os valores globais de prioridade de todos os especialistas são agrupados, conforme a Figura 20. Esses foram os pesos utilizados para classificar os defeitos e com isso realizar a sua priorização.

Figura 20: Valores globais de prioridade agrupados.

RF - Risco de falha												IS - Impacto sistêmico				PR - Perda de receita					
COM - Componente com defeito						CRI - Criticidade do defeito				STA - Status		IS - Impacto sistêmico				PR - Perda de receita					
FAIX	CISO	COND	COBE	TORR	ATER	C0	C1	C2	C3	C4	A	P	I0	I1	I2	I3	PVI0	PVI1	PVI2	PVI3	PVI4
4,4%	3,1%	1,7%	1,3%	0,8%	0,4%	5,5%	3,3%	1,6%	0,9%	0,4%	10,1%	1,6%	15,3%	6,7%	2,8%	1,5%	17,3%	11,6%	5,5%	2,9%	1,4%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Verificou-se, pelos valores de prioridade encontrados, que o valor máximo de importância que um defeito pode atingir com a pesquisa realizada é de 52,6%, isto utilizando as alternativas de maior valor de cada critério e subcritério, conforme Tabela 16.

Tabela 16: Alternativas de maior valor de importância.

Componente com defeito	Criticidade do defeito	Status do defeito	Impacto sistêmico	Perda de receita	Soma
Faixa (Vegetação) - FAIX	Urgente 15 D - C0	Atrasado - A	Crítico - I0	≥ R\$ 1 milhão - PVI0	
4,4%	5,5%	10,1%	15,3%	17,3%	52,6%

Fonte: Elaborado pelo autor.

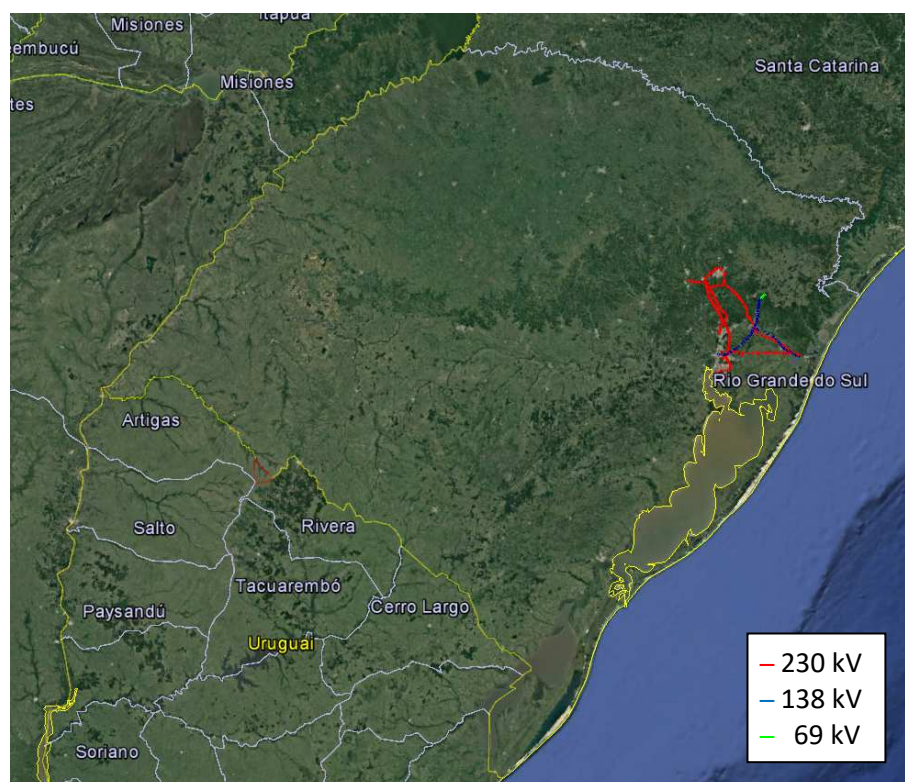
4.2 Aplicação em defeitos de equipe de manutenção de LT

Com o resultado dos valores globais de prioridade agrupados, a metodologia para priorização foi testada com os defeitos da base de dados de uma equipe de manutenção de linhas de transmissão de uma empresa concessionária de transmissão de energia do estado do Rio Grande do Sul (RS).

A equipe de manutenção selecionada para o teste da metodologia tem uma grande importância na concessionária analisada, devido a sua posição geográfica e a grande quantidade de defeitos penderes, com isso necessitando de uma metodologia para priorizá-los. Tratam-se de 950 km de linhas de transmissão que passam por regiões metropolitanas densamente ocupadas, além de serras com difíceis acessos e regiões próximas ao litoral, sendo a área com as cargas mais importantes do estado. As linhas são principalmente na classe de tensão de 230 kV, com algumas nas tensões de 138 kV e 69 kV.

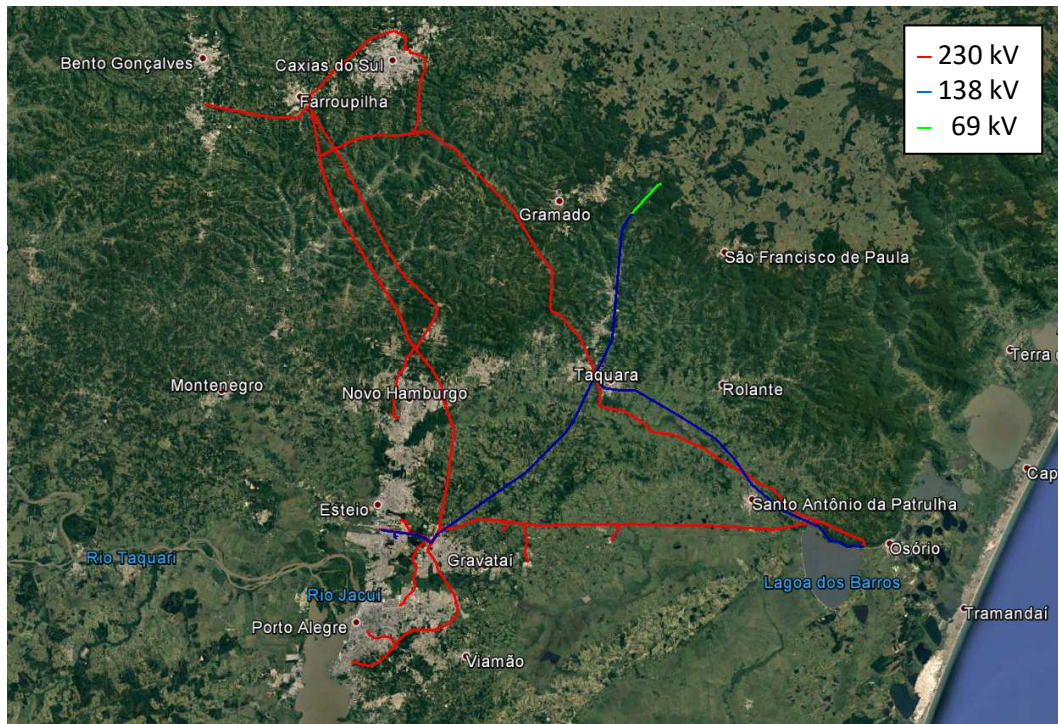
Nas Figuras 21 e 22 visualiza-se geograficamente as linhas de transmissão que foram avaliadas. Os traçados em vermelho são da classe de tensão 230 kV, os em azul são em 138 kV e os em verde são em 69 kV.

Figura 21: Mapa das LTs avaliadas.



Fonte: Mapa Google Earth e Traçado das LTs CEEE-GT.

Figura 22: Detalhamento do mapa das LTs.



Fonte: Mapa Google Earth e Traçado das LTs CEEE-GT.

Na aplicação da metodologia, o processo consistiu em analisar os dados dos defeitos de LT pendentes de correção extraídos do sistema de gestão da manutenção da empresa, sendo necessário organizar e formatar os dados. Cada defeito de cada LT foi classificado conforme os critérios técnicos, sistêmicos e regulatórios definidos no item 3.1. Com essa classificação foi possível chegar no nível de importância de cada defeito, onde pode-se verificar a lista dos defeitos mais prioritários de serem corrigidos, conforme a metodologia desenvolvida.

Para os testes utilizou-se uma extração do sistema de gestão na data de dezembro/2017, onde haviam 2.452 defeitos pendentes para as linhas de transmissão analisadas. Verificou-se uma grande quantidade de defeitos pendentes e a consequente dificuldade da equipe de manutenção em priorizá-los, sem uma metodologia específica.

Também se avaliou o impacto regulatório e financeiro que esses defeitos poderiam vir a causar, pela perda de receita por parcela variável por indisponibilidade, caso todos resultassem em falhas. Essa perda poderia chegar a R\$ 326 milhões, somente pela aplicação dos cálculos previstos no item 3.1.3. Como referência, sabe-se que a perda por parcela variável no setor elétrico brasileiro no último ciclo de apuração completo (2017/2018) foi de R\$ 384 milhões, o que equivaleu a uma perda de 1,72% de toda a receita das transmissoras (ONS, 2018b).

Portanto, pelos expressivos prejuízos que as concessionárias podem ter por falhas no sistema elétrico, observa-se a importância de uma metodologia para priorizar os defeitos considerando o critério impacto regulatório.

A fim aplicar a metodologia de priorização, realizou-se os seguintes passos para cada defeito pendente:

- Verificação do componente do defeito;

- Verificação da criticidade do defeito;
- Verificação se o defeito já estava atrasado na data de extração;
- Verificação da importância sistêmica da LT onde o defeito está localizado;
- Cálculo da faixa de PVI que o defeito poderá causar, baseado no TMR do defeito e no TMD da LT, além do valor do Pagamento Base da LT, utilizando os cálculos detalhados no item 3.1.3;
- Para cada um dos critérios encontrados para o defeito, aplicação dos valores globais de prioridade, conforme calculados no item 4.1;
- Soma de todos os valores globais de prioridade encontrados para o defeito.

Com isso, calculou-se o valor de importância para cada defeito pendente encontrado. Ordenando-os por esse valor chegou-se na priorização dos defeitos a serem corrigidos. Na Tabela 17 pode-se observar os primeiros vinte maiores valores de importância e seus respectivos critérios e subcritérios. É possível que mais de um defeito seja classificado com as mesmas combinações de alternativas, com isso possuindo o mesmo valor de importância.

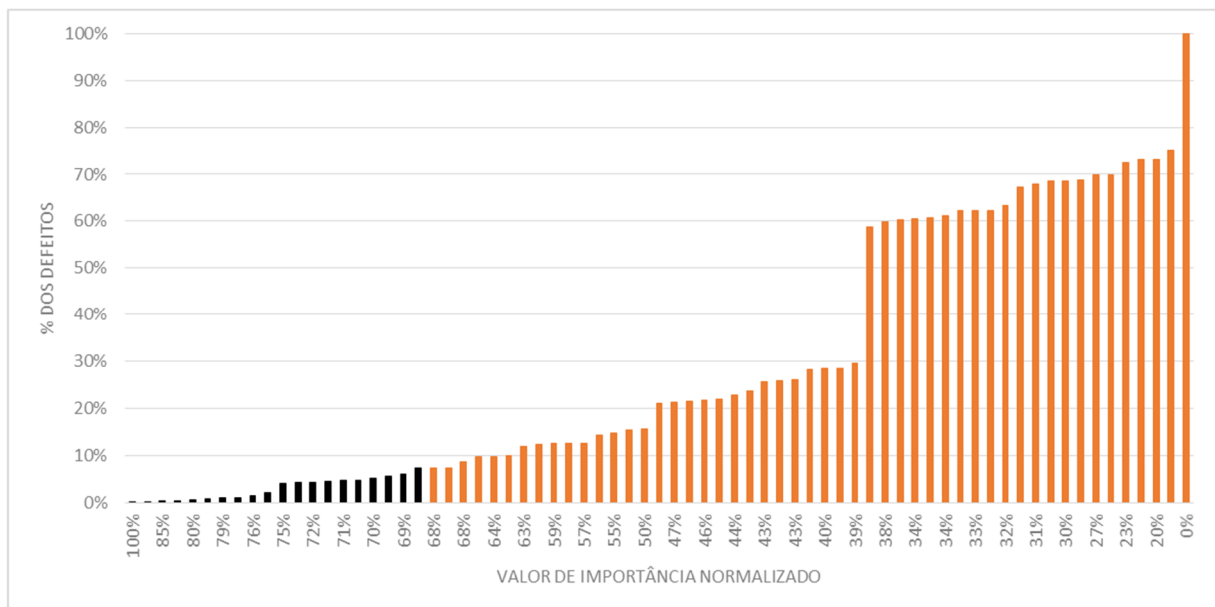
Tabela 17: Vinte primeiros grupos de resultados de valores de importância.

Seq.	Valor de importância	Valor normalizado	Qtd. Defeitos	Critérios/Subcritérios				
				COM	CRI	STA	IS	PR
1	34,5%	100,0%	1	FAIX	C1	A	I0	PVI4
2	32,9%	95,1%	4	FAIX	C2	A	I0	PVI4
3	29,5%	85,5%	1	FAIX	C0	A	I1	PVI3
4	28,1%	81,3%	1	FAIX	C0	A	I1	PVI4
5	27,6%	80,0%	4	FAIX	C3	P	I0	PVI2
6	27,3%	79,2%	9	FAIX	C1	A	I1	PVI3
7	27,2%	78,7%	3	FAIX	C4	P	I0	PVI2
8	26,3%	76,0%	3	CISO	C3	P	I0	PVI2
9	26,1%	75,6%	10	FAIX	C1	A	I2	PVI2
10	25,9%	75,0%	14	FAIX	C1	A	I1	PVI4
11	25,8%	74,7%	49	CISO	C4	P	I0	PVI2
12	25,7%	74,3%	6	FAIX	C2	A	I1	PVI3
13	24,7%	71,6%	1	CISO	C1	A	I2	PVI2
14	24,7%	71,5%	1	FAIX	C4	P	I1	PVI1
15	24,4%	70,7%	8	FAIX	C2	A	I2	PVI2
16	24,4%	70,5%	2	FAIX	C2	P	I0	PVI4
17	24,2%	70,1%	7	FAIX	C2	A	I1	PVI4
18	24,1%	69,7%	15	COBE	C4	P	I0	PVI2
19	23,8%	68,8%	9	CISO	C3	P	I1	PVI1
20	23,6%	68,3%	29	FAIX	C3	P	I0	PVI4

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se na Tabela 17 que o maior valor de importância para um defeito na amostra analisada ficou em 34,5%, quando o máximo seria 52,6%, segundo os valores globais de prioridade encontrados no item 4.1. Para efeito de priorização o que importa são os primeiros defeitos classificados, pois a metodologia deve ser aplicada periodicamente, assim verificando novamente as prioridades incluindo os novos defeitos que vão sendo encontrados nas inspeções e os antigos que vão ficando atrasados. No teste analisou-se os vinte primeiros grupos de resultados, que representam 7,22% (177) da quantidade dos defeitos analisados. O vigésimo valor de importância representa 68,3% da importância do maior defeito, conforme valores normalizados exibidos na Figura 23, isto representou uma importância de 31,7% menor do que o defeito mais crítico.

Figura 23: Gráfico acumulado da quantidade de defeitos por valor de importância normalizado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os defeitos ficaram distribuídos em diversos valores de importância, sendo que alguns valores acumularam grandes quantidades de defeitos, conforme Figura 24. Isto não representa um problema para a metodologia, pois nas maiores importâncias, que são as utilizadas, a distribuição foi pouco concentrada, sendo então possível decidir entre esses defeitos utilizando critérios de logística da equipe de manutenção.

Figura 24: Distribuição dos defeitos nos valores de importância.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 25 verificou-se as variações das alternativas de cada critério ou subcritério dos defeitos que tiveram os maiores valores de importância. É interessante observar que mesmo defeitos classificados com alternativas de menor prioridade em algum critério, podem ter altos valores de importância pela soma de todos os critérios. Esse tipo de análise completa, dependendo da resposta de todos os critérios, é um dos principais benefícios da metodologia desenvolvida. Sem uma metodologia específica os defeitos acabam sendo priorizados ou por simplificações ou por métodos empíricos. Por exemplo, a quinta combinação de critérios com maior importância na Figura 25 refere-se a defeitos que ainda estão com o status pendente, normalmente esses defeitos não seriam priorizados enquanto defeitos atrasados ainda existem. Entretanto, devido à importância sistêmica da linha de transmissão e da perda de receita potencial, esse defeito teve uma alta priorização.

Figura 25: Detalhamento das alternativas dos valores de importância.

Seq.	Valor de importância	RF - Risco de falha												IS - Impacto sistêmico				PR - Perda de receita						
		COM - Componente com defeito						CRI - Criticidade do defeito						STA - Status		IS - Impacto sistêmico				PR - Perda de receita				
		FAIX	CISO	COND	COBE	TORR	ATER	CO	C1	C2	C3	C4	A	P	I0	I1	I2	I3	PV10	PV11	PV12	PV13	PV14	
		4,4%	3,1%	1,7%	1,3%	0,8%	0,4%	5,5%	3,3%	1,6%	0,9%	0,4%	10,1%	1,6%	15,3%	6,7%	2,8%	1,5%	17,3%	11,6%	5,5%	2,9%	1,4%	
1	34,5%	4,4%						3,3%					10,1%		15,3%									1,4%
2	32,9%	4,4%							1,6%				10,1%		15,3%									1,4%
3	29,5%	4,4%						5,5%					10,1%		6,7%									2,9%
4	28,1%	4,4%						5,5%					10,1%		6,7%									1,4%
5	27,6%	4,4%							0,9%				1,6%		15,3%									5,5%
6	27,3%	4,4%						3,3%					10,1%		6,7%									2,9%
7	27,2%	4,4%								0,4%			1,6%		15,3%									5,5%
8	26,3%		3,1%										1,6%		15,3%									5,5%
9	26,1%	4,4%						3,3%					10,1%			2,8%								5,5%
10	25,9%	4,4%						3,3%					10,1%		6,7%									1,4%
11	25,8%		3,1%								0,4%		1,6%		15,3%									5,5%
12	25,7%	4,4%							1,6%				10,1%		6,7%									2,9%
13	24,7%		3,1%						3,3%				10,1%			2,8%								5,5%
14	24,7%	4,4%								0,4%			1,6%		6,7%									11,6%
15	24,4%	4,4%							1,6%				10,1%		2,8%									5,5%
16	24,4%	4,4%							1,6%				1,6%		15,3%									1,4%
17	24,2%	4,4%							1,6%				10,1%		6,7%									1,4%
18	24,1%			1,3%						0,4%			1,6%		15,3%									5,5%
19	23,8%		3,1%							0,9%			1,6%		6,7%									11,6%
20	23,6%	4,4%								0,9%			1,6%		15,3%									1,4%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim, ao final da aplicação da metodologia, tem-se os defeitos ordenados pelo seu valor de importância, resultando na sequência de correção que deve ser seguida pela equipe de manutenção.

4.3 Avaliação da metodologia proposta

Para avaliar a metodologia desenvolvida, utilizou-se de duas comparações, entre a execução das correções de defeitos realizadas pela equipe de manutenção e com as ocorrências registradas no período de análise.

4.3.1 Comparação da sequência de defeitos com a execução da equipe

Foi comparada a sequência de defeitos priorizada pela metodologia, com a sequência efetiva que a equipe de manutenção realizou a correção dos defeitos sem um critério objetivo, utilizando-se da sua experiência. Para isso foram extraídos do sistema de gestão da manutenção da concessionária os defeitos pendentes e os corrigidos pela mesma equipe de manutenção no período de março/2019. Assim, como a extração original priorizada foi de dezembro/2017, foram analisados 16 meses de trabalho da equipe de manutenção.

Para realizar a análise, foram necessárias algumas considerações. As extrações de defeitos tiveram exclusões para possibilitar a correta interpretação, conforme detalhadas abaixo:

- Exclusão dos defeitos corrigidos que foram criados depois da extração original;
- Exclusão dos defeitos priorizados que depois foram repassados para outra equipe de manutenção;
- Exclusão dos defeitos priorizados que foram reavaliados e postergados com novas criticidades.

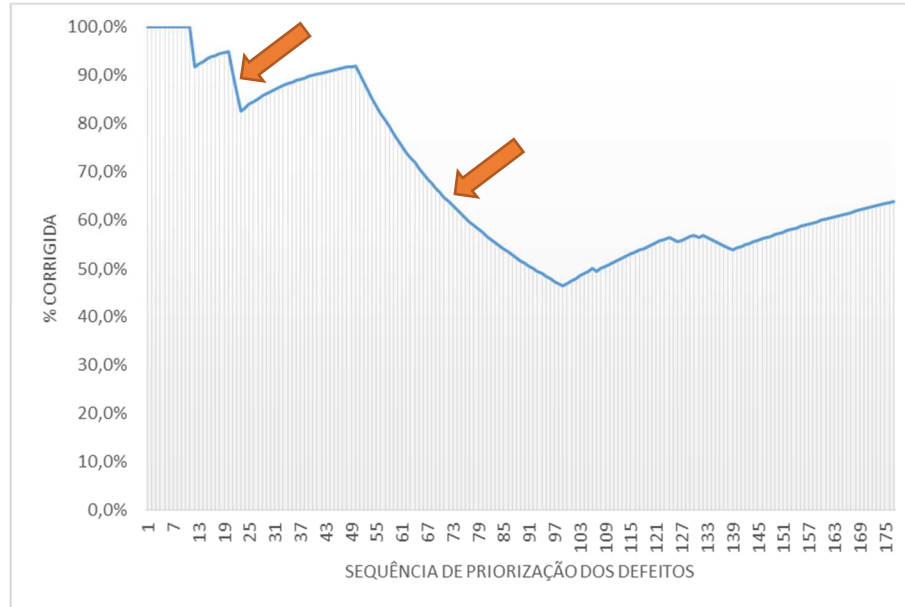
Após essas considerações, foram obtidos os seguintes resultados:

- Em dezembro/2017 haviam 2.452 defeitos pendentes que foram priorizados;
- Em março/2019 427 (17,4%) desses defeitos haviam sido corrigidos pela equipe de manutenção.

Dos 50 primeiros defeitos que foram priorizados, 92% foram corrigidos nesses 16 meses da análise. Entretanto, quando estudados os primeiros 177 defeitos priorizados, que são os 20 primeiros grupos de critérios, apenas 63,8% deles foram corrigidos, conforme verifica-se na Figura 26. Ao realizar uma análise mais detalhada, verificou-se que as duas grandes e importantes quedas de desempenho apontadas referem-se a uma linha de transmissão específica. Ao questionar a equipe de manutenção o porquê da não correção dos defeitos, foi

informado que, por mais que a LT fosse crítica, eles estavam aguardando uma obra estrutural que iria resolver os problemas.

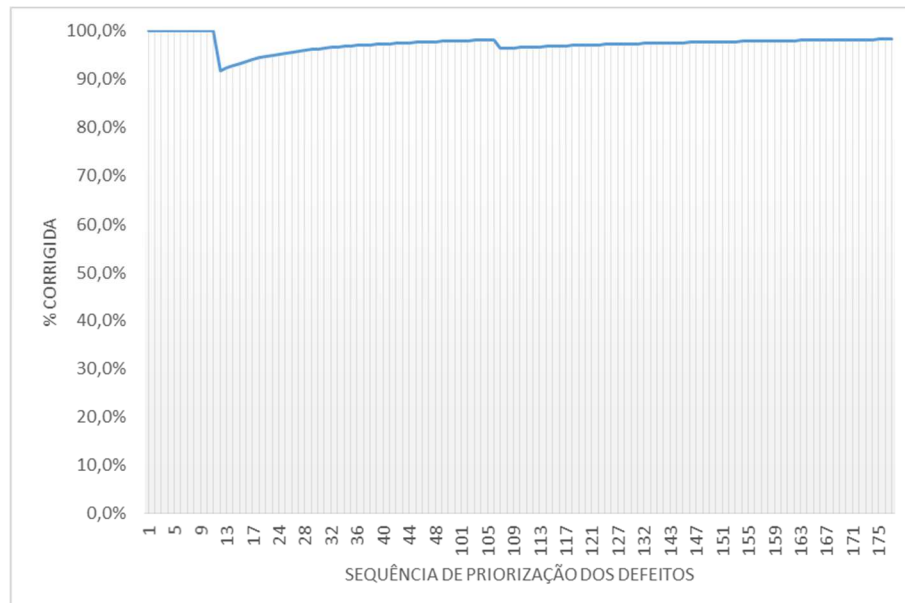
Figura 26: Porcentagem de correção dos primeiros 177 defeitos priorizados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No momento que retirou-se essa linha de transmissão específica, a porcentagem de realização dos defeitos priorizados subiu para 98,3%, conforme Figura 27. Esse valor mostra uma boa aderência da metodologia com o efetivo realizado pela equipe de manutenção.

Figura 27: Porcentagem de realização dos defeitos priorizados sem LT específica.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Esse resultado da metodologia ter apresentado uma alta aderência ao trabalho já realizado pela equipe de manutenção, considerando a exclusão da linha específica, é importante, ainda mais que a concessionária em análise apresenta ótimos resultados nos seus indicadores de disponibilidade, assim sendo desejável que a metodologia coincida com o trabalho atual.

Entretanto, nesse período a equipe corrigiu 427 defeitos e a quantidade analisada (177) representa apenas 41,5% desse total. Além disso, em relação a ordem específica em que os defeitos foram corrigidos, verificou-se que houve uma grande variação com a sequência priorizada, onde vários dos defeitos que foram corrigidos primeiros foram classificados com uma prioridade baixa pela metodologia, conforme pode-se verificar na Tabela 18.

Tabela 18: Comparação entre sequência dos defeitos corrigidos com os priorizados.

Seq. de correção	Seq. de priorização	Seq. de correção	Seq. de priorização	Seq. de correção	Seq. de priorização
1	11	29	715	57	560
2	1.687	30	18	58	561
3	6	31	19	59	562
4	13	32	104	60	179
5	15	33	102	61	563
6	16	34	517	62	564
7	17	35	7	63	566
8	101	36	50	64	568
9	727	37	121	65	569
10	728	38	122	66	570
11	729	39	123	67	571
12	730	40	124	68	572
13	34	41	624	69	573
14	35	42	625	70	574
15	14	43	626	71	579
16	100	44	627	72	698
17	379	45	628	73	702
18	380	46	575	74	704
19	32	47	27	75	705
20	33	48	28	76	706
21	112	49	29	77	707
22	544	50	30	78	708
23	545	51	31	79	713
24	716	52	36	80	603
25	118	53	110	81	567
26	381	54	111	82	241
27	382	55	113	83	710
28	516	56	542	84	164

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.2 Comparação com as ocorrências no período

Outra comparação que foi realizada foi verificar as ocorrências que aconteceram nesses 16 meses, para analisar se teriam sido evitadas pela correção de defeitos pendentes pela priorização da metodologia.

No período indicado ocorreram 34 falhas, onde apenas 5 foram consideradas permanentes. Analisando essas ocorrências, somente em uma havia um defeito cadastrado no sistema na data da extração (dezembro/2017) que estava relacionado com a ocorrência. Pela metodologia aplicada o defeito estava priorizado como número 1.521 na sequência e a falha ocorreu em 27/08/2018. Verificou-se que a prioridade estabelecida foi muito baixa, entretanto esse caso teve uma particularidade, pois a falha foi prejudicada pela ação de vandalismo em um cabo de cobertura que estava danificado e foi cortado.

Analisando as falhas transitórias, dos 29 eventos, em 23 não foram encontrados defeitos e em 6 foram encontrados defeitos relacionados. Na sequência das ocorrências verificou-se abaixo como elas estavam priorizadas pela metodologia:

- Ocorrida em 09/12/2017 e defeito priorizado como 32;
- Ocorrida em 24/01/2018 e defeito priorizado como 531;
- Ocorrida em 08/02/2018 e defeito priorizado como 603;
- Ocorrida em 09/02/2018 e defeito priorizado como 578;
- Ocorrida em 10/07/2018 e defeito priorizado como 267;
- Ocorrida em 05/10/2018 e defeito priorizado como 640.

Pelo curto período de análise, onde ocorreram poucas ocorrências e de difícil previsão, com muitas falhas transitórias com causas indeterminadas, verificou-se que pelo menos o evento ocorrido em 09/12/2017, que era de vegetação na faixa, priorizado como número 32 poderia ter sido evitado se tivesse sido corrigido pela sequência proposta pela metodologia. Como a maioria das falhas não tinha defeitos relacionados, entendeu-se que foram adequados os resultados dessa comparação com a metodologia estabelecida.

4.4 Aplicação em defeitos atuais

Resolveu-se testar a metodologia também com os dados de defeitos atuais, para analisar como se comportaria a priorização novamente. Foi utilizada a mesma extração do sistema de gestão da manutenção de março/2019, onde verificou-se 4.118 defeitos pendentes.

A quantidade de defeitos pendentes aumentou significativamente, devido a maior utilização do sistema de gerenciamento da manutenção, que foi implantado na concessionária em análise em novembro/2016. Com a maior quantidade de defeitos, maior a importância de uma metodologia para auxiliar na priorização da correção.

Na Tabela 19 observa-se os resultados dessa nova aplicação da metodologia, onde houveram diferenças em relação a primeira aplicação. Apareceram nos defeitos prioritários uma maior quantidade de classificados com status pendente e com menor criticidade do defeito. Isso é explicado, pois os defeitos atualmente priorizados pela equipe de manutenção são os pendentes e de maior criticidade, os quais já foram corrigidos, necessitando agora de uma metodologia mais completa, como a proposta, que utiliza mais critérios como o impacto regulatório e a importância sistêmica das linhas de transmissão.

Tabela 19: Resultados de valores de importância atuais.

Seq.	Valor de importância	Valor normalizado	Qtd. Defeitos	Critérios/Subcritérios				
				COM	CRI	STA	IS	PR
1	32,1%	100,0%	1	FAIX	C3	A	I0	PVI4
2	27,2%	84,7%	4	FAIX	C4	P	I0	PVI2
3	26,3%	81,8%	1	CISO	C3	P	I0	PVI2
4	26,1%	81,3%	1	FAIX	C1	A	I2	PVI2
5	25,8%	80,4%	56	CISO	C4	P	I0	PVI2
6	24,9%	77,6%	1	FAIX	C3	A	I1	PVI3
7	24,7%	76,9%	1	FAIX	C4	P	I1	PVI1
8	24,4%	76,1%	2	FAIX	C2	A	I2	PVI2
9	24,4%	75,9%	4	FAIX	C2	P	I0	PVI4
10	24,1%	75,0%	13	COBE	C4	P	I0	PVI2
11	23,8%	74,1%	1	CISO	C3	P	I1	PVI1
12	23,7%	73,7%	1	FAIX	C3	A	I2	PVI2
13	23,6%	73,5%	19	FAIX	C3	P	I0	PVI4
14	23,5%	73,2%	1	FAIX	C1	A	I2	PVI3
15	23,5%	73,1%	4	FAIX	C3	A	I1	PVI4
16	23,3%	72,6%	37	CISO	C4	P	I1	PVI1
17	23,1%	72,1%	35	FAIX	C4	P	I0	PVI4
18	22,2%	69,3%	1	CISO	C3	P	I0	PVI4
19	22,1%	68,8%	2	CISO	C3	A	I1	PVI4
20	21,8%	68,0%	1	COND	C4	P	I0	PVI3

Fonte: Elaborado pelo autor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Desenvolver uma metodologia para a priorização de defeitos em linhas de transmissão utilizando um Método Multicritério de Análise de Decisão (MMAD), que leve em consideração as características técnicas dos defeitos, além dos impactos sistêmicos e regulatórios que sua indisponibilidade pode causar, foi possível e a pesquisa atingiu plenamente o seu objetivo.

O método AHP se mostrou adequado para a aplicação desejada, possibilitando utilizar da experiência dos especialistas em manutenção de linhas de transmissão, estabelecendo uma metodologia num cenário onde as decisões são muito complexas.

As avaliações de relativa significância foram para o contexto de uma empresa transmissora do Rio Grande do Sul. Para outros casos os valores comparativos podem não ser adequados, portanto sugere-se reavaliar esta valoração para outras aplicações.

Os resultados obtidos nos testes se mostraram válidos e coerentes nas análises realizadas, fornecendo uma sequência priorizada de defeitos a serem corrigidos. Além disso, a maior contribuição do trabalho é o estabelecimento de uma metodologia que pode ser aplicada tanto para outras concessionárias de energia elétrica, quanto para outras atividades.

É difícil comparar os resultados da metodologia com outros trabalhos, pois pouco se encontrou sobre priorizações de atividades de manutenção. O trabalho de Lin et al. (2006) foi o que realizou um desenvolvimento mais semelhante, utilizando o AHP para priorizar quais linhas de transmissão devem receber manutenção. Entretanto, a metodologia proposta nessa dissertação é mais completa, analisando cada um dos defeitos que necessitam ser corrigidos.

Os resultados desse trabalho possibilitaram o desenvolvimento de uma ferramenta útil para a gestão das equipes de manutenção, facilitando a correta alocação de recursos que são limitados. O gestor tem acesso a uma informação livre de subjetividade, permitindo o embasamento das suas decisões e reduzindo os riscos e perdas financeiras.

A metodologia propiciou o benefício da sistematização na priorização da correção de defeitos, não dependendo mais diretamente da experiência de especialistas e possuindo repetibilidade.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Com base no potencial do trabalho apresentado, cabe como recomendação para trabalhos futuros, avaliar a possibilidade de inclusão de outros critérios na metodologia, permitindo uma análise ainda mais completa dos defeitos encontrados nas linhas de transmissão.

Também, em relação ao impacto regulatório, nesse trabalho foram consideradas somente as perdas possíveis por parcela variável por indisponibilidade, todavia as linhas de transmissão com classe de tensão inferior a 230 kV não são impactadas por essa regulação e sim por perdas devido a qualidade das demais instalações da transmissão, que dependem das interrupções dos pontos de conexão com as distribuidoras. Essa complementação poderá ser desenvolvida em trabalhos futuros.

Outro fator que pode ser considerado na continuidade da pesquisa, é a questão de logística das equipes de manutenção. A sequência de deslocamento entre os defeitos a serem

corrigidos deve ser minimizada, considerando que esse é um fator de muita importância na manutenção de linhas de transmissão, devido aos difíceis acessos as estruturas e os elevados tempos e custos de deslocamento.

Por último, para garantir a efetiva utilização da metodologia desenvolvida, a mesma deve ser implementada diretamente no sistema de gestão da manutenção da concessionária, possibilitando assim a sua rápida e frequente atualização.

REFERÊNCIAS

- ANEEL. **Por dentro da conta de luz**, 2016. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Por+dentro+da+conta+de+luz/9b8bd858-809d-478d-b4c4-42ae2e10b514>>
- ANEEL. **Resolução normativa n° 729**, 2017. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2016729.pdf>>
- ANEEL. **Matriz de energia elétrica**. 2019. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>. Acesso em: 28 dez. 2019.
- BAHMANI, Homa Famil; HOSSEINI, Mostafa; SHABANNEJAD, Fatemeh. An AHP based way to evaluate appropriate points for installing power towers and finding the best way for power transmission lines by GA Algorithm. **Geospatial World Forum**, Hyderabad, p. 15, 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/268198765_An_AHP_Based_Way_to_Evaluate_Appropriate_Points_for_Installing_Power_Towers_and_Finding_the_Best_Way_for_Power_Transmission_Lines_by_GA_Algorithm>
- BARRETO, André Viola. **Vulnerabilidade de linhas de transmissão a desligamentos por descargas atmosféricas: uma proposta de classificação como suporte para o planejamento**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (Coppe). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2016.
- BUSATTO, Tatiano. **Metodologia multicritério para priorização de investimentos no planejamento da expansão de sistemas de distribuição de energia elétrica**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2015.
- CANAL, Luiz Antonio. **Proposta de um método para priorização de investimento em monitoramento instrumentado contínuo de equipamentos dinâmicos aplicado em planta petroquímica**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2017.
- CAVALCANTE, C. A. V; DE ALMEIDA, A. T. A multi-criteria decision-aiding model using PROMETHEE III for preventive maintenance planning under uncertain conditions. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, Recife, v. 13, n. 4, p. 385–397, 2007. Disponível em: <www.emeraldinsight.com/1355-2511.htm>
- CIGRE. **Green books: overhead lines**. Paris: Springer, 2017. Disponível em: <<https://www.springer.com/gp/book/9783319317465>>
- DE ALMEIDA, Adiel Teixeira et al. **Multicriteria and multiobjective models for risk, reliability and maintenance decision analysis**. Recife: Springer, 2015. v. 231 Disponível em: <<http://www.springer.com/series/6161>>

DEDEMEN, Yiğit. **A multi-criteria decision analysis approach to GIS-based route selection for overhead power transmission lines**. 2013. Thesis (Master of Science) - Geodetic and Geographic Information Technologies Department. Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2013.

FIDALGO, João Emanuel Lós Reis. **Maximização de receita de concessionária de transmissão de energia elétrica através da otimização da manutenção**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2007.

FUCHS, Rubens Dario. **Transmissão de energia elétrica - vol.1**. Itajubá: Escola Federal de Engenharia de Itajubá, 1977.

GOMEDE, Everton; BARROS, Rodolfo Miranda De. Utilizando o método analytic hierarchy process (AHP) para priorização de serviços de TI: um estudo de caso. **VIII Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação (SBSI 2012)**, São Paulo, p. 408–419, 2012. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/sbsi/2012/0041.pdf>>

ISHIZAKA, Alessio; NEMERY, Phillipe. **Multi-criteria decision analysis: methods and software**. [s.l.] : Wiley, 2013. Disponível em: <<https://www.wiley.com/en-us/Multi+criteria+Decision+Analysis%3A+Methods+and+Software-p-9781119974079>>

KIESSLING, F. et al. **Overhead power lines - planning, design, construction**. [s.l.] : Springer, 2013. Disponível em: <<http://www.springer.com/br/book/9783540002970>>

LIN, Zhiling et al. Application of analytic hierarchy process in power lines maintenance. **6th World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA)**, Dalian, p. 7596–7599, 2006. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1713443/>>

LOKEN, Espen; BOTTERUD, Audun; HOLEN, Arne T. Decision analysis and uncertainties in planning local energy systems. **9th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems**, Stockholm, p. 8, 2006. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4202255>>

ONS. **Submódulo 20.1 glossário de termos técnicos**, 2016. Disponível em: <http://ons.org.br/_layouts/download.aspx?SourceUrl=http://ons.org.br%2FProcedimentosDeRede%2FMódulo%20%2FSubmódulo%20.1%2FSubmódulo%20.1.pdf>

ONS. **Sistema de transmissão - horizonte 2017**, 2017. Disponível em: <http://ons.org.br/_layouts/download.aspx?SourceUrl=http://ons.org.br/Mapas/SistemadeTransmissao_Horizonte2017.pdf>

ONS. **Resultados da operação: qualidade do suprimento**. 2018a. Disponível em: <<http://ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/qualidade-do-suprimento-paineis.aspx>>. Acesso em: 7 abr. 2019.

ONS. **Síntese da apuração mensal - junho/2018**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <http://ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/SEAMSE_201806.pdf>.

POMEROL, Jean-Charles; BARBA-ROMERO, Sergio. **Multicriterion decision in management**. [s.l.] : Springer, 2000. Disponível em: <<http://www.springer.com/gp/book/9780792377566>>

SAATY, Thomas L.; VARGAS, Luis G. **Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process**. [s.l.] : Springer, 2012. v. 175 Disponível em: <<http://www.springer.com/series/6161>>

SANTOS, Viviane Alves Pereira dos Anjos; RICO LUGO, Sinndy Dayana; DE ALMEIDA, Adiel Teixeira. Decisão multicritério por critério único de síntese: aplicação a uma compra de tecnologia. **XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Fortaleza, p. 24, 2015. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_211_251_26676.pdf>

SCHMITZ, William Ismael; CANHA, Luciane Neves; MARCHESAN, Tiago Bandeira. Ranking de subestações para manutenção ou substituição de transformadores de potência com foco na manobrabilidade e flexibilidade. **XVII ERIAC**, Ciudad del Este, p. 9, 2017. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/318311774>>

VARGAS, Ricardo Viana. Utilizando a programação multicritério (AHP) para selecionar e priorizar projetos na gestão de portfólio. **PMI Global Congress 2010**, Washington, p. 23, 2010. Disponível em: <<https://ricardo-vargas.com/pt/articles/analytic-hierarchy-process/>>

APÊNDICE 1 - FORMULÁRIO DA PESQUISA

Pesquisa com especialistas

Preencha os retângulos vermelhos!

Marque um "x" por linha no lado da característica que você entender que tenha maior influência no fator que está sendo analisado, e utilize os níveis (de 1 a 9) para representar o grau das diferenças.

Atenção para o "Teste de consistência", que é uma das ferramentas da metodologia que verifica se as respostas estão consistentes entre si.

RF - Risco de falha

Esse é o critério que analisa tecnicamente cada defeito pendente nas linhas de transmissão, avaliando baseado nas suas características qual o risco de o defeito evoluir para uma falha permanente, o que causará a indisponibilidade da função transmissão, assim devendo ser priorizada a sua correção.

Esse critério foi subdividido em três subcritérios: o componente com defeito, a criticidade do defeito e o status do defeito.

COM - Componente com defeito

COM - Componente com defeito											Teste de consistência
O Componente do lado esquerdo tem mais risco de causar uma falha permanente do que o Componente do lado direito					O Componente do lado direito tem mais risco de causar uma falha permanente do que o Componente do lado esquerdo					#DIV/0!	
9	7	5	3	1	3	5	7	9			#DIV/0!
Componente lado esquerdo	Extremamente preferido	Muito fortemente preferido	Fortemente preferido	Moderadamente preferido	Igualmente preferido	Moderadamente preferido	Fortemente preferido	Muito fortemente preferido	Extremamente preferido	Componente lado direito	#DIV/0!
Cadeia/Isolador										Faixa (Vegetação)	#DIV/0!
Cadeia/Isolador										Cabo Cobertura	#DIV/0!
Cadeia/Isolador										Torre	
Cadeia/Isolador										Cabo Condutor	
Cadeia/Isolador										Aterramento	
Faixa (Vegetação)										Cabo Cobertura	
Faixa (Vegetação)										Torre	
Faixa (Vegetação)										Cabo Condutor	
Faixa (Vegetação)										Aterramento	
Cabo Cobertura										Torre	
Cabo Cobertura										Cabo Condutor	
Cabo Cobertura										Aterramento	
Torre										Cabo Condutor	
Torre										Aterramento	
Cabo Condutor										Aterramento	

CRI - Criticidade do defeito

CRI - Criticidade do defeito											Teste de consistência
A Criticidade do lado esquerdo tem mais risco de causar uma falha permanente do que a Criticidade do lado direito					A Criticidade do lado direito tem mais risco de causar uma falha permanente do que a Criticidade do lado esquerdo					#DIV/0!	
9	7	5	3	1	3	5	7	9			#DIV/0!
Criticidade lado esquerdo	Extremamente preferido	Muito fortemente preferido	Fortemente preferido	Moderadamente preferido	Igualmente preferido	Moderadamente preferido	Fortemente preferido	Muito fortemente preferido	Extremamente preferido	Criticidade lado direito	#DIV/0!
Urgente 15 D										Necessária 60 D	#DIV/0!
Urgente 15 D										Necessária 180 D	#DIV/0!
Urgente 15 D										Desejável 01 Ano	
Urgente 15 D										Gerenciável	
Necessária 60 D										Necessária 180 D	
Necessária 60 D										Desejável 01 Ano	
Necessária 60 D										Gerenciável	
Necessária 180 D										Desejável 01 Ano	
Necessária 180 D										Gerenciável	
Desejável 01 Ano										Gerenciável	

STA - Status do defeito

STA - Status do defeito											Teste de consistência
O Status do lado esquerdo tem mais risco de causar uma falha permanente do que o Status do lado direito					O Status do lado direito tem mais risco de causar uma falha permanente do que o Status do lado esquerdo					#DIV/0!	
9	7	5	3	1	3	5	7	9			#DIV/0!
Status lado esquerdo	Extremamente preferido	Muito fortemente preferido	Fortemente preferido	Moderadamente preferido	Igualmente preferido	Moderadamente preferido	Fortemente preferido	Muito fortemente preferido	Extremamente preferido	Status lado direito	#DIV/0!
Pendente										Atrasado	#DIV/0!

IS - Impacto sistêmico

Esse é o critério que analisa o grau de importância da LT relacionado com a sua condição sistêmica, ou seja, topologia do sistema e o impacto em termos de corte de carga que a indisponibilidade da linha irá causar.

Para efeitos de ponderação adotamos quatro níveis de criticidade:

I0 - Crítico: Indisponibilidade da LT implica em corte de carga ao consumidor ou limitação de geração.

I1 - Alto: Indisponibilidade da LT implica em tornar uma subestação radial, com somente mais uma alternativa de LT para o corte de carga.

I2 - Médio: Indisponibilidade sem impacto significativo em LT classificada como Rede Básica (RB).

I3 - Baixo: Indisponibilidade sem impacto significativo em LT classificada como Demais Instalações da Transmissão (DIT).

Baseado nos níveis de criticidade da LT avalia-se a importância na priorização de defeitos.

IS - Impacto sistêmico

9	7	5	3	1	3	5	7	9	
O Impacto sistêmico do lado esquerdo deve ser priorizado antes do que o Impacto sistêmico do lado direito						O Impacto sistêmico do lado direito deve ser priorizado antes do que o Impacto sistêmico do lado esquerdo			

Impacto sistêmico lado esquerdo	Extremamente preferido	Muito fortemente preferido	Fortemente preferido	Moderadamente preferido	Igualmente preferido	Moderadamente preferido	Fortemente preferido	Muito fortemente preferido	Extremamente preferido	Impacto sistêmico lado direito	Teste de consistência
Crítico										Alto	#DIV/0!
Crítico										Médio	#DIV/0!
Crítico										Baixo	
Alto										Médio	
Alto										Baixo	
Médio										Baixo	

PR - Perda de receita

Esse é o critério que analisa o impacto regulatório de cada defeito pendente nas linhas de transmissão, avaliando a perda de receita se o defeito evoluir para uma falha permanente, o que causará a indisponibilidade da função transmissão.

Assim, deve-se avaliar a importância de cada escala na priorização de defeitos.

Escala	Faixa	Limite
PV10	≥ R\$ 1 milhão	1.000.000,00
PV11	≥ R\$ 500 mil < PV10	500.000,00
PV12	≥ R\$ 100 mil < PV11	100.000,00
PV13	≥ R\$ 50 mil < PV12	50.000,00
PV14	≥ R\$ 0 mil < PV13	0,00

PR - Perda de receita

9	7	5	3	1	3	5	7	9	
A Perda de receita do lado esquerdo deve ser priorizada antes do que a Perda de receita do lado direito						A Perda de receita do lado direito deve ser priorizada antes do que a Perda de receita do lado esquerdo			

Perda de receita lado esquerdo	Extremamente preferido	Muito fortemente preferido	Fortemente preferido	Moderadamente preferido	Igualmente preferido	Moderadamente preferido	Fortemente preferido	Muito fortemente preferido	Extremamente preferido	Perda de receita lado direito	Teste de consistência
≥ R\$ 1 milhão										≥ R\$ 500 mil < PV10	#DIV/0!
≥ R\$ 1 milhão										≥ R\$ 100 mil < PV11	#DIV/0!
≥ R\$ 1 milhão										≥ R\$ 50 mil < PV12	
≥ R\$ 1 milhão										≥ R\$ 0 mil < PV13	
≥ R\$ 500 mil < PV10										≥ R\$ 100 mil < PV11	
≥ R\$ 500 mil < PV10										≥ R\$ 50 mil < PV12	
≥ R\$ 500 mil < PV10										≥ R\$ 0 mil < PV13	
≥ R\$ 100 mil < PV11										≥ R\$ 50 mil < PV12	
≥ R\$ 100 mil < PV11										≥ R\$ 0 mil < PV13	
≥ R\$ 50 mil < PV12										≥ R\$ 0 mil < PV13	

Entre os Critérios

Aqui realizamos a análise entre os Critérios escolhidos, avaliando a importância geral de cada um deles na priorização de defeitos.

O resultado geral do Critério impactará no peso que ele terá na priorização, afetando proporcionalmente as suas características.

9	7	5	3	1	3	5	7	9	
O Critério do lado esquerdo deve ser priorizado antes do que o Critério do lado direito						O Critério do lado direito deve ser priorizado antes do que o Critério do lado esquerdo			

Critério lado esquerdo	Extremamente preferido	Muito fortemente preferido	Fortemente preferido	Moderadamente preferido	Igualmente preferido	Moderadamente preferido	Fortemente preferido	Muito fortemente preferido	Extremamente preferido	Critério lado direito	Teste de consistência
Risco de falha										Impacto sistêmico	#DIV/0!
Risco de falha										Perda de receita	#DIV/0!
Impacto sistêmico										Perda de receita	