

## Impacto nas compensações financeiras considerando nova configuração de conjuntos de unidades consumidoras de uma distribuidora de energia elétrica

André R. Borniatti\*. Vinicius J. Garcia\*\* Wanderson L. Pereira\*\*\*.  
Laura L.C. dos Santos\*\*\*\*. Nelson Knak Neto\*\*\*\*\*. Rui A.F. Garcia\*\*\*\*\*

\*Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS (e-mail: andre.borniatti@ufsm.br)

\*\*Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS (e-mail: viniciusjg@ufsm.br)

\*\*\*Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS (e-mail: wandersonlombardy@gmail.com)

\*\*\*\*Universidade Federal de Santa Maria, Cachoeira do Sul, RS (e-mail: laura.santos@ufsm.br)

\*\*\*\*\*Universidade Federal de Santa Maria, Cachoeira do Sul, RS (e-mail: nelson.knak@ufsm.br)

\*\*\*\*\*CEEE-D Equatorial Energia,, Porto Alegre, RS (e-mail: ruifg@cee.eequatorialenergia.com.br)

---

**Abstract:** The regulation in the public electric energy distribution service considers quality and continuity indicators, presented in Module 8 of the Electric Energy Distribution Procedures in the National Electric System (PRODIST), established by the National Electric Energy Agency (ANEEL). Collective continuity indicators are defined for measuring the distribution quality services, such as: Equivalent Interruption Duration per Consumer Unit (DEC) and Equivalent Interruption Frequency per Consumer Unit (FEC). Also, there are several individual indicators of continuity that deal with the single consumer unit interruption, such as: duration (DIC), frequency (FIC), maximum duration (DMIC) and on a critical day (DICRI). Each of these individual indicators has a established limit value, which, if exceeded, results in financial compensation by the distributor (utility) directly to the consumer units. In this way, this paper presents a methodology applied in an algorithm developed using the Matlab software with the purpose of analyzing these indicators impacts along with their financial compensation for modified configuration of the current sets of consumer units of an energy utility. This configuration change is based on the contiguity criteria, which appear in Module 8 of PRODIST. For the development and application of the methodology, initially each substation is considered as a unit of consumers combined. The new proposed configuration achieved a reduction of around 1% in the total amount of financial compensation paid by the utility between the years of 2017 to 2020. This compensation refers to the monthly period, for the DIC, FIC and DMIC indicators. Meaning there is a possibility of future gains by carrying out a reconfiguration of sets without the requiring investment in the grid system.

**Resumo:** A regulação no serviço público de distribuição de energia elétrica considera indicadores de qualidade e continuidade, constantes no Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), estabelecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Particularmente quanto à qualidade do serviço são definidos os indicadores de continuidade coletivos, Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) e Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC), além dos indicadores de continuidade individuais que tratam sobre a interrupção por unidade consumidora, quanto à duração (DIC), frequência (FIC), duração máxima (DMIC) e ocorrida em dia crítico (DICRI). Cada um destes indicadores individuais tem um valor estabelecido como limite, que se caso ultrapassado, incide em pagamento de compensação financeira pela distribuidora diretamente às unidades consumidoras. Dessa forma, este trabalho apresenta uma metodologia, aplicada em um algoritmo desenvolvido com o software Matlab, para análise dos impactos nos indicadores e compensações financeiras com mudança de configuração dos atuais conjuntos de unidades consumidoras de uma concessionária. Essa alteração de configuração é baseada nos critérios de contiguidade, que constam no Módulo 8 do PRODIST. Para desenvolvimento e aplicação da metodologia, inicialmente cada subestação é considerada como sendo um conjunto. A nova configuração proposta alcançou uma redução em torno de 1% do valor total de compensações financeiras pagas pela concessionária nos anos de 2017 a 2020. As compensações são referentes ao período mensal, para os indicadores DIC, FIC e DMIC. Destaca-se a possibilidade de ganhos futuros, realizando uma reconfiguração de conjuntos, sem necessidade de investimento.

**Keywords:** continuity and quality indicators; financial compensation; substation reconfiguration method.

**Palavras-chaves:** indicadores de continuidade; qualidade do serviço; compensações financeiras; conjuntos de unidades consumidoras; subestações.

---

### LISTA DE SÍMBOLOS

ABRADEE	Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CEEE-D	Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica, Grupo Equatorial Energia
CELPA	Centrais Elétricas do Pará. Atual Equatorial Energia Pará
DEC	Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
DIC	Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora
DICRI	Duração da interrupção individual ocorrida em dia crítico por unidade consumidora ou ponto de conexão
DMIC	Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora
EUSD	Encargos do Uso de Sistema de Distribuição
FEC	Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
FIC	Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora
kei	Fator de majoração, valor de acordo com nível de tensão contratada
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
PEL1	Subestação PEL1 – pertencente ao conjunto 15987 – Pelotas 1
PEL2	Subestação PEL2 – pertencente ao conjunto 15988 – Pelotas 2
PEL3	Subestação PEL3 – pertencente ao conjunto 15989 – Pelotas 3
PEL4	Subestação PEL4 – pertencente ao conjunto 15990 – Pelotas 4
PEL5	Subestação PEL5 – pertencente ao conjunto 15988 – Pelotas 2
SED	Subestação de Distribuição
UC	Unidade Consumidora

## 1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica possibilita a realização de diversas atividades, desde as mais simples, até as mais complexas. Por isto, além do fornecimento de energia elétrica é importante que este serviço seja realizado com a melhor qualidade possível, de forma a atender os consumidores finais. De acordo com Barbosa (2018) “o desempenho dos serviços prestados pelas distribuidoras pode ser avaliado de duas formas: por meio de pesquisas de opinião com os consumidores ou por meio da apuração de indicadores”. De forma regular a qualidade do serviço público de distribuição de energia elétrica considera indicadores de qualidade e continuidade, constantes nos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), o qual contém 11 módulos e são documentos elaborados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), “normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica” (ANEEL, 2016). Especificamente no Módulo 8, que trata dos procedimentos relativos à qualidade do fornecimento de energia elétrica, tem-se uma divisão em três seções, onde a seção 8.1 é relacionada à Qualidade do Produto, a 8.2 refere-se à Qualidade do Serviço, e seção 8.3 trata sobre a qualidade no tratamento de reclamações (ANEEL, 2020).

Particularmente quanto à qualidade do serviço, no Módulo 8 do PRODIST são definidos os indicadores de continuidade coletivos: Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) e Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC), além dos indicadores de continuidade individuais, destacando-se: Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora (DIC), Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora (FIC), Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora (DMIC) e Duração da

interrupção individual ocorrida em dia crítico por unidade consumidora ou ponto de conexão (DICRI). Destaca-se que são consideradas apenas as interrupções de longa duração, ou seja, iguais ou superior a três minutos.

Estes indicadores de continuidade possuem limites para cada conjunto de unidades consumidoras, definidos por meio dos indicadores coletivos DEC e FEC. Os limites são considerados para os períodos mensais, trimestrais e anuais, que caso violados implicam em pagamento de compensação financeira às Unidades Consumidoras (UCs), por parte das concessionárias. A regulação imposta pela ANEEL, sugerida através da Resolução ANEEL n. 24/2000, estimula a competitividade entre as concessionárias do País, visto que são comparadas entre si através dos indicadores de continuidade que medem o nível de qualidade do fornecimento e continuidade na prestação do serviço de distribuição de energia elétrica às unidades consumidoras (PESSANHA et al. 2005).

Os conjuntos de unidades consumidoras são definidos pelas concessionárias, respeitando critérios definidos no Módulo 8 do PRODIST, quanto ao número de unidades consumidoras e áreas de contiguidade.

O objetivo do presente estudo é realizar um diagnóstico de desempenho de conjuntos de unidades consumidoras da Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica (CEEE-D), Grupo Equatorial Energia, a partir da validação do atual processo de cálculo das compensações financeiras. Serão realizadas análises dos impactos nas compensações financeiras com a mudança da configuração dos atuais conjuntos de unidades consumidoras que atendem a cidade de Pelotas-RS. Inicialmente, cada subestação é considerada como sendo um conjunto e será considerado apenas o critério de contiguidade de áreas, sendo descartado o critério de número de unidades consumidoras, para possibilitar o desenvolvimento da

metodologia nos conjuntos estudados. Foi proposta uma metodologia, desenvolvida em software Matlab, para reconfiguração de conjuntos de unidades consumidoras, possibilitando analisar quais os impactos causados no cálculo de compensações relacionadas aos indicadores individuais DIC, FIC e DMIC no período de 2017 a 2020, com a finalidade de redução dos valores de compensações pagas às UCs.

De forma a introduzir a metodologia proposta, serão tratados sobre critérios para formação de conjuntos, definição de limites para os indicadores, bem como o procedimento para cálculo das compensações.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção serão descritos os fundamentos teóricos que compõem este trabalho, como a formação de conjuntos, os indicadores de continuidade e o cálculo das compensações financeiras, para após apresentar a metodologia proposta.

### 2.1 Formação de conjuntos

Os critérios para formação de conjuntos de unidades consumidoras estão definidos no Módulo 8 do PRODIST, mais especificamente na seção 8.2, onde consta que o conjunto de unidades consumidoras é definido por Subestação de Distribuição (SED). Basicamente, para a agregação de SEDs, devem ser obedecidos os critério de contiguidade das áreas e do número de unidades consumidoras. Quanto ao número de UCs, deve ser considerado o seguinte: até 1.000 (um mil), devem ser agrupadas, formando um único conjunto; entre 1.001 (um mil e um) e 10.000 (dez mil), podem ser agrupadas, formando um único conjunto. Já para um número maior que 10.000 (dez mil) unidades consumidoras, é vedado o agrupamento (ANEEL, 2020).

Com o objetivo de combinar consumidores de uma determinada concessionária em conjuntos, visando minimizar o risco de pagamento de compensação financeira por ultrapassagem de limites de indicadores de continuidade, Araújo (2011) trabalhou com um número de 419 conjuntos iniciais de uma concessionária, alterando estes conjuntos através de um algoritmo genético e outro imunológico, de forma a otimizar o resultado proposto. Com isto, desenvolveu uma ferramenta computacional. Desta pesquisa pode-se destacar duas contribuições: análise da evolução da normatização sobre a qualidade do fornecimento de energia e continuidade do serviço; apresenta estudos para otimização do processo de reconfiguração dos conjuntos de unidades consumidoras para uma determinada área de concessão.

Santos (2010), apresentou uma metodologia baseada em técnicas de aprendizado de máquina para auxiliar na tomada de decisão quanto à formação de conjuntos de unidades consumidoras, com a finalidade de encontrar uma melhor compatibilidade das metas para os indicadores de DEC e FEC. A metodologia foi aplicada em um estudo de caso na área de concessão da CELPA, Pará. O estudo apresentou análise de sete cenários, sempre constituídos com a união de dois conjuntos de unidades consumidoras. Em alguns casos, a união de conjuntos foi vantajosa. Sendo que a diferença entre os valores obtidos para os cenários onde a união foi considerada não satisfatória, não eram muito grandes,

Quando é realizada a reconfiguração de conjuntos de unidades consumidoras, os limites para os indicadores de continuidade coletivos, DEC e FEC, também devem ser redefinidos. Estes novos limites impactam nos limites referentes aos indicadores de continuidade individuais e seus períodos (mensal, trimestral e anual). Dessa forma, alguns trabalhos acadêmicos abordaram essa questão de definição de limites para os indicadores.

Tanure (2000) apresenta uma metodologia para o estabelecimento das metas de continuidade DEC e FEC, viabilizando a comparação entre as concessionárias do Brasil. Utilizou o algoritmo k-means para estabelecimento de clusters de conjuntos de unidades consumidoras semelhantes entre si. Essa metodologia, considerando apenas cinco atributos, foi aplicada em 4135 conjuntos de 56 concessionárias. Este estudo foi utilizado pela ANEEL como base para metodologia de definição de clusters e metas dos indicadores.

Verificando o não atendimento de metas de indicadores DEC e FEC por muitos conjuntos de uma concessionária, Sperandio (2004) estudou formas para reclassificar os conjuntos de consumidores, com a finalidade de obter conjuntos mais homogêneos, possibilitando à concessionária identificar se um conjunto foi mal classificado pela ANEEL. O autor utilizou métodos de agrupamento como k-means e mapa auto-organizáveis (SOM), fazendo uma validação cruzada entre estes dois métodos. Com isto, consolidou uma metodologia para classificar e analisar conjuntos de unidades consumidoras, desde a seleção de variáveis adequadas para o agrupamento de conjuntos, até a identificação de conjuntos críticos, onde a concessionária deve focalizar os investimentos, de maneira que aumente a qualidade do serviço fornecido, impactando na diminuição do valor referente à multas por transgressão dos limites de continuidade.

Com a finalidade de desenvolver uma metodologia para determinação de valores para os limites de indicadores de continuidade, de acordo com características físicas e operacionais de um determinado conjunto de unidades consumidoras, Knak (2012) desenvolveu uma ferramenta computacional, utilizando lógica Fuzzy, que considera todas as etapas de cálculo, utilizando base de dados fornecida pela distribuidora. Esta ferramenta propõe ajudar a concessionária na justificativa para solicitação de ajuste aos limites definidos pela ANEEL, visando corrigir possíveis incoerências. Também possibilita a identificação de conjuntos que devem ser priorizados para ações de melhoria nas redes, para se obter um melhor desempenho nos indicadores de continuidade.

O presente trabalho, concentra-se em uma área pouco explorada, o problema de reagrupamento de conjuntos conforme estudos de Araújo (2011) e Santos (2010). Com isto, este trabalho tem a finalidade de propor uma metodologia para reconfiguração de conjuntos de uma concessionária de energia elétrica, de maneira a viabilizar uma redução nos valores desembolsados pelas concessionárias, referente ao pagamento de compensações financeiras às unidades consumidoras por conta de violação dos limites dos indicadores de continuidade individuais.

Após entendimento quanto à formação de conjuntos e definição de limite de indicadores de continuidade, será tratado sobre os indicadores de continuidade coletivos e individuais.

## 2.2 Indicadores de continuidade

Os indicadores de continuidade coletivos DEC e FEC servem para avaliação do desempenho das empresas de distribuição, expressando a média da continuidade do serviço para os conjuntos de unidades consumidoras. O DEC e o FEC representam, respectivamente, a duração e a frequência que, em média, cada unidade consumidora de um determinado conjunto ficou sem fornecimento de energia elétrica.

Os indicadores de continuidade individuais DIC, FIC e DMIC expressam o desempenho do serviço perante às unidades consumidoras, individualmente e são apurados conforme (1), (2) e (3), respectivamente.

$$DIC = \sum_{i=1}^n t(i) \quad (1)$$

$$FIC = n \quad (2)$$

$$DMIC = t(i)_{max} \quad (3)$$

Em que:

$i$ : = índice de interrupções da unidade consumidora ou por ponto de conexão no período de apuração, variando de 1 a  $n$ ;

$n$  = número de interrupções da unidade consumidora ou por ponto de conexão considerado, no período de apuração;

$t(i)$  = tempo de duração da interrupção ( $i$ ) da unidade consumidora considerada ou do ponto de conexão, no período de apuração;

$t(i)_{max}$  = valor correspondente ao tempo da máxima duração de interrupção contínua ( $i$ ), no período de apuração, verificada na unidade consumidora ou no ponto de conexão.

Estes indicadores são contabilizados quando as interrupções forem iguais ou maiores que o tempo de três minutos.

Sendo assim, parte-se para o cálculo das compensações, valor pago pela concessionária, quando ocorre a ultrapassagem destes limites, diretamente às unidades consumidoras

## 2.3 Cálculo de compensações

O sistema de distribuição de energia elétrica brasileiro é composto por redes elétricas que operam em níveis de baixa, média e alta tensão. Valores de tensão igual ou inferior a 1 kV são classificados como baixa tensão; superior a 1 kV e inferior a 69 kV, classificam-se como média tensão; e quando superior a 69 kV e inferior a 230 kV, são os de alta tensão. Além disto, há classificação quanto ao tipo de rede de distribuição, que podem ser aéreas ou subterrâneas (ABRADEE, 2021).

Os valores de compensações são referentes aos indicadores de continuidade individuais DIC, FIC, DMIC e DICRI, que são pagos diretamente às unidades consumidoras em caso de violação dos limites estabelecidos pela ANEEL. Os indicadores individuais possuem limites mensais (DIC, FIC, DMIC e DICRI), trimestrais (DIC e FIC) e anuais (DIC e FIC). Estes limites são definidos através dos indicadores coletivos DEC e FEC, sendo específicos para cada conjunto de unidades consumidoras. A partir deste valor de DEC e FEC de cada conjunto, tem-se faixas de variação e os limites mensais,

trimestrais e anuais, conforme característica de cada unidade consumidora.

Os valores para compensação destes indicadores individuais são calculados utilizando (4), (5) e (6), definidas no Módulo 8 do PRODIST.

$$Valor = \left( \frac{DIC_{apurado}}{DIC_{limite}} - 1 \right) \times DIC_{limite} \times \frac{EUSD_{medio}}{730} \times kei \quad (4)$$

$$Valor = \left( \frac{FIC_{apurado}}{FIC_{limite}} - 1 \right) \times DIC_{limite} \times \frac{EUSD_{medio}}{730} \times kei \quad (5)$$

$$Valor = \left( \frac{DMIC_{apurado}}{DMIC_{limite}} - 1 \right) \times DMIC_{limite} \times \frac{EUSD_{medio}}{730} \times kei \quad (6)$$

Em que:

$DIC_{apurado}$ ,  $FIC_{apurado}$ ,  $DMIC_{apurado}$ : valores apurados pela concessionária;

$DIC_{limite}$ ,  $FIC_{limite}$ ,  $DMIC_{limite}$ : valores definidos pela ANEEL, de acordo com o período apurado dos indicadores

730: número médio de horas no mês;

$EUSD_{medio}$ : média aritmética dos EUSDs correspondentes aos meses de apuração dos indicadores;

$kei$ : fator de majoração, que depende do nível de tensão contratada:

- 15, para UC atendida em Baixa Tensão;
- 20, para UC atendida em Média Tensão;
- 27, para UC atendida em Alta Tensão.

Para a definição do valor limite dos indicadores DIC, FIC e DMIC, é necessário ter as seguintes características referentes à Unidade Consumidora:

Nível de tensão contratada:

- Baixa Tensão (B1, B2, B3 e B4),
- Média Tensão (A3a, A4 e AS)
- Alta Tensão (A1, A2 e A3)

Localização:

- Urbana
- Não urbana

Além disto, também é necessário conhecer os valores limites de DEC e FEC anuais do conjunto ao qual pertence cada UC.

Com essas três informações (nível de tensão, localização e valores limites DEC e FEC), é possível encontrar os valores limites para cada um dos indicadores e seus períodos (mensal, trimestral e anual). Estes valores estão apresentados em cinco tabelas no Módulo 8 do PRODIST, da revisão 12.

Cada uma destas cinco tabelas, numeradas de 1 a 5, representa uma combinação de nível de tensão contratada e de localização. As tabelas apresentam os valores limites para DIC e FIC nos períodos mensal, trimestral e anual, além dos valores limites para DMIC no período mensal. As combinações de cada uma das 5 tabelas podem ser visualizadas na Fig. 1.

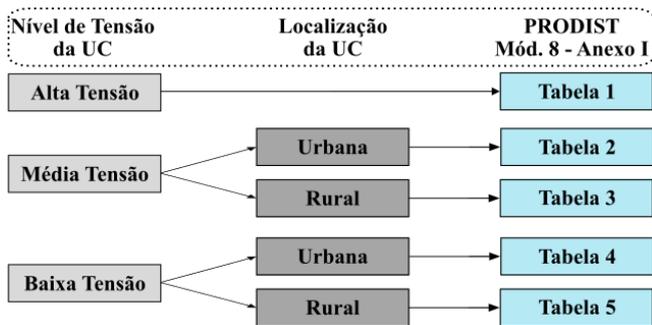


Fig. 1: Combinações de Nível de Tensão e Localização para as Tabelas do Módulo 8 (rev. 12) do PRODIST

Algumas considerações que constam no Módulo 8 (revisão 12) quanto aos períodos de apuração trimestral e anual.

- quando da violação dos limites trimestral ou anual, o montante a ser compensado deverá ser calculado proporcionalmente, multiplicando-se o resultado obtido da fórmula de cálculo da compensação pelo quociente entre a soma dos valores apurados dos indicadores mensais que não foram violados e o valor apurado do indicador trimestral ou anual.
- quando os limites trimestrais ou anuais tiverem sido violados e os valores mensais apurados não violados forem nulos, a compensação referente ao período de apuração trimestral ou anual, deverá corresponder à diferença dos montantes calculados para essa compensação e os montantes mensais de cada indicador já creditados ao consumidor ou à distribuidora;
- quando todos os limites dos indicadores mensais de uma unidade consumidora ou distribuidora tiverem sido violados em um trimestre ou em um ano, e as compensações mensais já tenham sido devidamente creditadas, as compensações referentes aos períodos de apuração trimestral ou anual deverão corresponder à diferença dos montantes calculados para essas compensações e os montantes mensais de cada indicador já creditados aos consumidores, às centrais geradoras ou à distribuidora.

Outra observação importante é referente ao valor mínimo e máximo de compensação em caso de violação do indicador de continuidade individual.

- valor mínimo = R\$ 0,01 (um centavo de real);
- valor máximo, mensal = R\$ 10 x EUSD médio;
- valor máximo, trimestral = R\$ 30 x EUSD médio;
- valor máximo, anual = R\$ 120 x EUSD médio.

Outro ponto é que quando mais de um indicador de continuidade individual DIC, FIC e DMIC, tiver a violação do limite no período de apuração, deverá ser considerado, para efeito de compensação, ao consumidor, aquele indicador que apresentar o maior valor de compensação.

Já quanto ao indicador DICRI, quando ocorrer a violação do limite, a compensação deverá ser realizada sem prejuízo das compensações a serem pagas por violação dos indicadores DIC, FIC e DMIC, podendo inclusive haver compensação

referente a mais de uma violação do limite do indicador DICRI no mesmo mês.

Neste trabalho serão tratadas as compensações financeiras relativas aos indicadores DIC, FIC e DMIC. De forma a possibilitar esse tratamento, será proposta uma metodologia para análise de impactos nas compensações financeiras por conta da reconfiguração de conjuntos.

### 3. METODOLOGIA PROPOSTA

Com a finalidade de analisar quais os impactos causados com uma reconfiguração dos conjuntos de unidades consumidoras, no que diz respeito aos valores de compensações (multas) pagas pela concessionária às UCs pelo não atendimento aos limites estipulados para os indicadores de continuidade individuais (DIC, FIC, DMIC), o fluxograma na Fig. 2, representa a metodologia proposta.

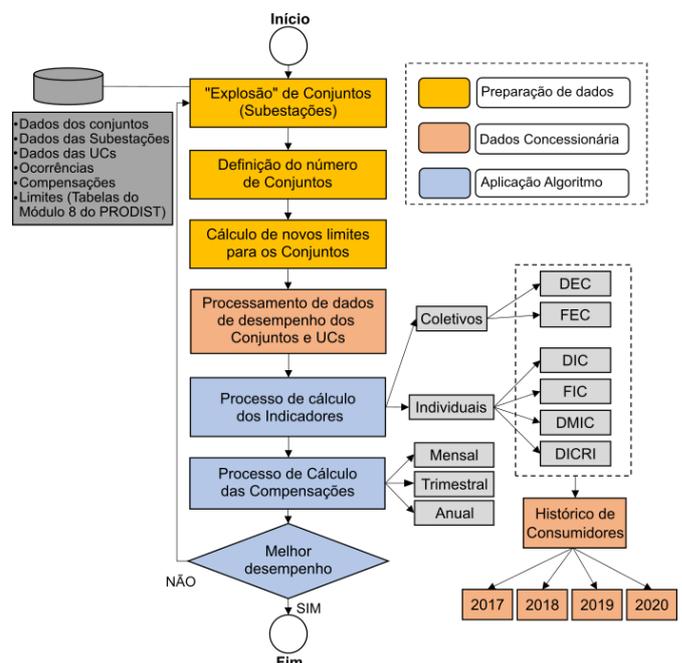


Fig. 2: Fluxograma da metodologia proposta

De acordo com o fluxograma, a metodologia tem como dados de entrada os dados dos conjuntos, contendo dados das subestações e unidades consumidoras, além de dados referentes às ocorrências compensações e limites para cada indicador de continuidade. Com estes dados, é realizada uma “explosão” dos conjuntos atuais da concessionária, tratando cada subestação como um conjunto, tendo como número de subestações o número máximo possível de conjuntos. A partir disto é definido o número de conjuntos a serem formados, considerando restrições quanto às subestações terem áreas contíguas e quantidade de UCs por subestação, conforme definido na seção 2.1.

Com a definição dos novos conjuntos, novos limites para DEC e FEC devem ser calculados, visto que estes impactam no limite dos indicadores de continuidade individuais, os quais impactam na forma de compensação, caso violados. Para este trabalho, a definição deste novo limite é calculado a partir da média dos valores de DEC ou FEC das subestações,

considerando o valor do conjunto a que pertenciam na configuração que antecedeu a explosão.

Tendo a nova configuração de conjuntos e os novos limites de DEC e FEC, os dados são processados, torna-se possível calcular as compensações para os novos conjuntos, possibilitando análise de diminuição de valores de multas, obedecendo o que está disposto na seção 2.3.

Para validação da metodologia apresentada neste capítulo, será apresentado um estudo de caso em conjuntos de uma concessionária localizada no Rio Grande do Sul.

#### 4. APLICAÇÃO DO ESTUDO

Este estudo foi aplicado na empresa CEEE Distribuição, que pertence ao Grupo Equatorial Energia. Esta concessionária conta com mais 1,7 milhão de clientes, de 72 municípios das regiões Metropolitana, Sul, Centro-Sul, Campanha, Litoral Norte e Litoral Sul abrangendo 73.627 km<sup>2</sup>. A Equatorial Energia presta serviços de distribuição de energia elétrica em mais três concessionárias, além da CEEE: Maranhão, Pará, Piauí, Alagoas (CEEE, 2022). A Fig. 3 apresenta as regiões atendidas pela CEEE Equatorial.

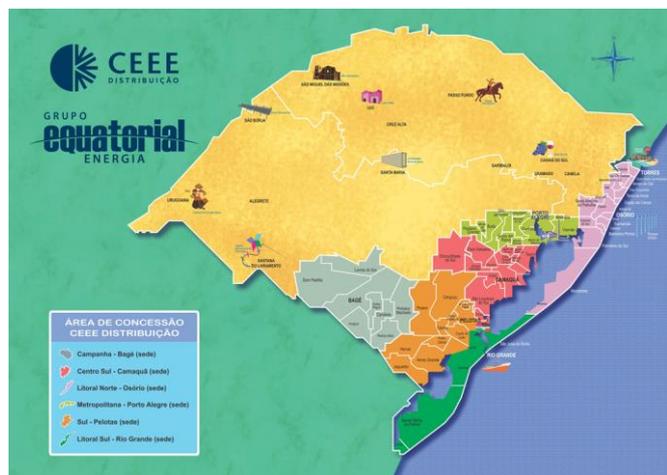


Fig. 3: Área de concessão da CEEE Grupo Equatorial

Dentre os 61 (sessenta e um) conjuntos de unidades consumidoras da CEEE Grupo Equatorial, foram selecionados os conjuntos que pertencem à cidade de Pelotas, de forma a facilitar a validação da metodologia em um universo menor de dados, visto que são apenas quatro conjuntos, representando menos de 7% do total de conjuntos da área de concessão.

Os quatro conjuntos citados acima são denominados como PELOTAS 1, PELOTAS 2, PELOTAS 3 e PELOTAS 4, códigos 15987, 15988, 15989 e 15990, respectivamente. Apesar de conter quatro conjuntos, a cidade de Pelotas é atendida por cinco subestações, denominadas: PEL1, PEL2, PEL3, PEL4 e PEL5. Observa-se que as subestações PEL2 e PEL5, atualmente pertencem ao conjunto PELOTAS 2.

Para aplicação da metodologia deste trabalho, as subestações serão utilizadas como referência, em que, inicialmente, cada uma equivale a um conjunto. Sendo assim, a metodologia foi validada através do software Matlab.

#### 4.1 Levantamento e tratamento de dados

Conforme consta no fluxograma apresentado na Fig. 2, foram utilizados os dados de histórico de consumidores referente aos anos de 2017, 2018, 2019 e 2020, disponibilizados pela concessionária em estudo. Tratam-se de dados que tornam possível o cálculo de compensações financeiras para cada unidade consumidora, são eles: os indicadores individuais DIC, FIC e DMIC apurados mês a mês, o conjunto e subestação qual pertencem, EUSD médio, nível de tensão e localização. Com estes dados é possível buscar os limites DEC e FEC de cada conjunto/subestação, possibilitando encontrar o limite de cada um dos indicadores individuais, que são dados fundamentais para o cálculo das compensação financeiras. De forma a eliminar inconsistências, os dados foram tratados antes de serem implementados no código desenvolvido no Matlab.

#### 4.2 Algoritmo para cálculo de compensações

Para representar a estrutura de algoritmo do cálculo de compensações, elaborou-se um fluxograma para cada indicador e período: mensal para os indicadores DIC, FIC e DMIC; trimestral e anual para o DIC e FIC. O fluxograma apresentado na Fig. 4 representa o cálculo do DIC mensal. Os outros fluxogramas seguem a mesma estrutura deste representado na Fig. 4, de acordo com o indicador a ser calculado.

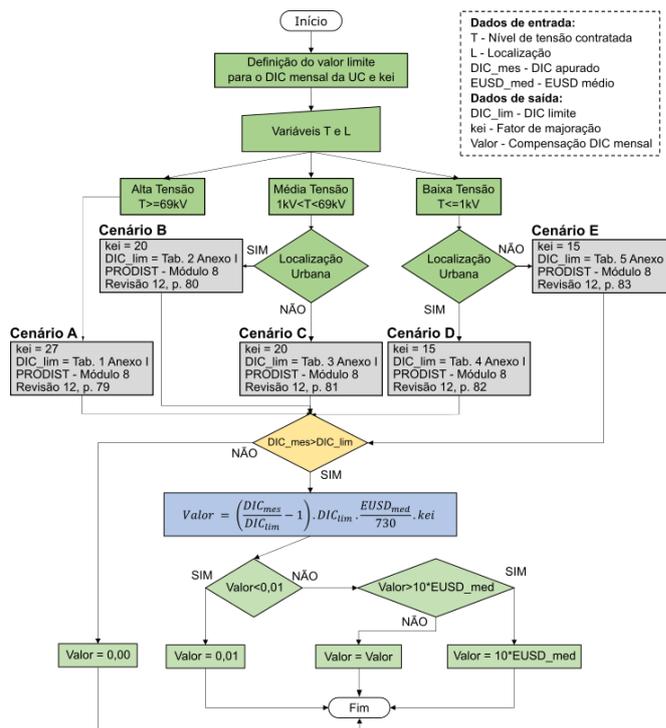


Fig. 4: Fluxograma com estrutura de algoritmo para cálculo do DIC mensal

O fluxograma inicia com os dados de entrada nível de tensão e localização da unidade consumidora, onde conforme a combinação entre essas variáveis parte-se para uma das cinco tabelas do Módulo 8 do PRODIST, conforme pode ser visualizado na Fig.1. Para cada uma destas tabelas, foi criado um cenário, de A até E, em que:

- Cenário A: alta tensão;
- Cenário B: média tensão e localização urbana;
- Cenário C: média tensão e localização não urbana;
- Cenário D: baixa tensão e localização urbana;
- Cenário E: baixa tensão e localização não urbana.

Com a definição do cenário, parte-se para a verificação da condição se o valor do DIC apurado é maior que o valor do DIC limite. Não satisfazendo esta condição, o valor de compensação é zero. Caso for satisfeito, deve-se verificar se o valor da compensação, respeitando os valores mínimo e máximo, que são R\$ 0,01 (um centavo de real) e R\$ 10 x EUSD médio (para o período de apuração mensal).

Após esta etapa de cálculo aplicada a cada um dos indicadores de continuidade individuais (DIC, FIC e DMIC), são aplicados os critérios de verificação de maior valor de compensação entre DIC, FIC e DMIC.

#### 4.3 Validação de cálculo com subestações

Com a finalidade de validar o algoritmo desenvolvido para o cálculo das compensações, antes de trabalhar com novas configurações de conjuntos de unidades consumidoras, os dados disponibilizados pela concessionária, referente aos conjuntos de Pelotas, foram aplicados no código, gerando o valor de compensações por subestação, sendo comparados com os valores de compensação por conjunto, também disponibilizados pela empresa. A Tabela 1 apresenta os valores de compensação, considerando o período mensal, pagos ao longo dos anos de 2017, 2018 e 2019, às unidades consumidoras pertencentes aos quatro conjuntos de Pelotas. Também na Tabela 1, tem-se os valores de compensação calculados pelo algoritmo desenvolvido.

**Tabela 1. Valores de compensação mensal – anos de 2017, 2018 e 2019**

Ano	Concessionária Valor (R\$)	Matlab Valor (R\$)
2017	1.028.948,02	990.131,55
2018	1.104.963,62	1.016.413,99
2019	1.332.717,73	1.084.825,11
Total	3.466.629,37	3.091.370,65

Observa-se na Tabela 1 que para os valores calculados no Matlab as subestações foram separadas, formando 5 conjuntos. Para os limites destas subestações, foram considerados os valores de DEC e FEC dos conjuntos em que as subestações estão ligadas originalmente.

Comparando o valor de R\$ 3.091.370,65 obtido com o algoritmo desenvolvido no Matlab, com o valor de R\$ 3.466.629,37 disponibilizado pela concessionária, nota-se que a diferença é pequena e explicada pelo tratamento dos dados, onde foram eliminadas algumas ocorrências de unidades consumidoras em virtude de inconsistência de dados.

Desta forma, o algoritmo pode ser considerado válido, possibilitando seguir para a etapa de nova configuração de conjuntos e aplicação da metodologia.

#### 4.4 Definição de nova configuração de conjuntos

Para o cálculo das compensações considerando nova configuração de conjuntos, utilizou-se algoritmo desenvolvido em software Matlab. A nova configuração foi definida respeitando o critério de contiguidade, definido no Módulo 8 do PRODIST. Observa-se que para este trabalho, desconsiderou-se o critério do número de unidades consumidoras por conjunto, de forma a validar a metodologia através do critério de contiguidade. A partir de uma matriz de contiguidade, verificou-se quais as uniões possíveis de serem efetuadas com as 5 subestações em estudo. A tabela 2 apresenta os cenários possíveis de união entre as subestações.

**Tabela 2. Possibilidade de união entre subestações**

Cenário	Subestações
1	PEL1 + PEL2
2	PEL1 + PEL4
3	PEL1 + PEL5
4	PEL2 + PEL3
5	PEL2 + PEL5
6	PEL3 + PEL4
7	PEL3 + PEL5
8	PEL4 + PEL5

Como pode ser observado na Tabela 2, cada cenário realiza a união entre duas subestações, mantendo as outras três, formando um total de quatro conjuntos. A definição deste número de conjuntos é permitir a comparação com o atual cenário de número de conjuntos da concessionária.

Como nova configuração, foi escolhido o cenário 6, que é a união entre as subestações PEL3 e PEL4 em um único conjunto, sendo os outros conjuntos definidos pelas subestações PEL1, PEL2 e PEL5. Para definição do cenário escolhido, considerou-se a redução da média dos valores de DEC e FEC, sendo que o cenário 6 representa a maior redução destas médias, considerando-se a melhor configuração quando comparada com os outros sete cenários possíveis.

Para fins de comparação da configuração atual, considerando os quatro conjuntos de Pelotas, com a nova configuração (Cenário 6), serão calculadas as compensações

#### 4.5 Comparação de valores de compensações financeiras

Com a nova configuração definida, calculou-se as novas compensações financeiras, período mensal para os anos de 2017, 2018, 2019 e 2020. Para os conjuntos baseados nas subestações PEL1, PEL2 e PEL5, considerou-se os valores de limites de DEC e FEC originais. Já para o novo conjunto formado pelas subestações PEL3 e PEL4, foram definidos novos limites para os indicadores de continuidade coletivos, DEC e FEC, calculando a média entre os limites das duas subestações, considerando os valores originais dos conjuntos que pertenciam inicialmente (Pelotas 3 e Pelotas 4). Estes limites foram aplicados para cada ano em estudo e o resultado do cálculo pode ser visualizado na Tabela 3.

**Tabela 3. Valores de compensação mensal calculados**

Ano	Configuração atual Valor (R\$)	Nova configuração Valor (R\$)
2017	990.131,55	971.242,18
2018	1.016.413,99	1.002.192,41
2019	1.084.825,11	1.070.042,28
2020	1.721.903,70	1.723.967,75
Total	4.813.274,35	4.767.444,62

Neste caso, foi considerado o ano de 2020, uma vez que foram utilizados dados histórico onde constavam as ocorrências de ano inteiro. Analisando os resultados encontrados, com a nova configuração proposta, tem-se uma redução total de R\$ 45.829,73, ou seja, em torno de 1% de redução de compensações financeiras, período mensal, considerando os indicadores de continuidade individuais DIC, FIC e DMIC.

### 5. CONCLUSÃO

Neste trabalho apresentou-se uma metodologia, desenvolvida com o software Matlab, para cálculo de compensações financeiras, de acordo com nova configuração de conjuntos. Essas compensações são pagas pela concessionária diretamente às unidades consumidoras caso os limites dos indicadores de continuidade individuais sejam violados. Os limites dos indicadores e valores de compensações financeiras são definidos pela ANEEL, através do Módulo 8 do PRODIST, com a finalidade de melhorar a qualidade no fornecimento de energia elétrica, visto que estimula a competitividade entre as concessionárias do País.

O estudo foi aplicado em uma concessionária que atende consumidores no Rio Grande do Sul, cidade de Pelotas, onde atualmente tem-se quatro conjuntos e cinco subestações. Inicialmente, cada subestação foi considerada como sendo um conjunto, possibilitando propor cenários de união entre duas subestações, de acordo com o critérios de contiguidade. Com isto, foi proposta uma nova configuração de conjuntos, com a união entre duas subestações, mantendo um total de quatro conjuntos no total, de forma a possibilitar uma comparação da nova configuração com a atual. Como resultado, foi atingida uma redução nos valores das compensações referentes aos indicadores de continuidade individuais, DIC, FIC e DMIC, período mensal. A redução totalizou R\$ 45.829,73, que representa em torno de 1% do valor calculado.

Destaca-se a possibilidade de ganhos futuros, com uma simples reconfiguração de conjuntos, levando em conta o critério de contiguidade, conforme consta no Módulo 8 do PRODIST, sem necessidade de investimento. Como próximos passos para este trabalho, tem-se a expansão de conjuntos e unidades consumidoras a serem analisados, de forma a consolidar o algoritmo e abranger toda a área de concessão em estudo, com a finalidade de inclusão em um módulo de ferramenta computacional.

### AGRADECIMENTOS

Ao Programa P&D regulado pela ANEEL executado pela Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica (CEEE-D) via chamada nº 01/2018 e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

### REFERÊNCIAS

- ABRADEE. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasília). Setor Elétrico. Redes de Energia Elétrica. 2021. Disponível em: <https://www.abradee.org.br/setor-eletrico/redes-de-energia-eletrica>. Acesso em: 15 jan. 2021.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. 2016. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/prodist>. Acesso em: 03 jan. 2022.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Módulo 8 Qualidade de Energia. Revisão 12. 2020. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/modulo-8>. Acesso em: 27 dez. 2021.
- ARAÚJO, Renato José Pino de. Otimização de desempenho de indicadores de continuidade do serviço em concessionárias de distribuição utilizando algoritmos evolutivos. 2011. 154 p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- BARBOSA, Ailson de Souza. Método para a Avaliação da Qualidade dos Serviços Prestados pelas Concessionárias de Distribuição de Energia Elétrica – Aspectos técnicos e comerciais. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Brasília, DF, 2018.
- CEEE, Grupo Equatorial Energia. Distribuição. Disponível em: <https://ceee.equatorialenergia.com.br/distribuicao>. Acesso em: 04 jan. 2022.
- KNACK, N. Sistema multivariável para avaliação de desempenho e estabelecimento de limites de continuidade de fornecimento de energia utilizando a lógica fuzzy. 2012. 156p. Dissertação. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil.
- PESSANHA, José Francisco Moreira; SOUZA, Reinaldo Castro; LAURENCEL, Luiz da Costa. Utilizando a análise envoltória de dados na regulação da continuidade do fornecimento de energia elétrica. XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2005.
- SANTOS, F.C. Metodologia de auxílio na tomada de decisão na formação de conjuntos de unidades consumidoras de energia elétrica. 2010. 95p. Dissertação. Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil.
- SPERANDIO, M. Classificação de conjuntos consumidores de energia elétrica via mapas auto-organizáveis e estatística multivariada. 2004. 105p. Dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.
- TANURE, J.E.P.S. Análise comparativa de empresas de distribuição para o estabelecimento de metas de desempenho para indicadores de continuidade do serviço de distribuição. 2000. 160p. Dissertação. Escola Federal de Engenharia de Itajubá, Itajubá, MG, Brasil.