

Metodologia Alternativa para a Definição de Limites de Indicadores de Continuidade de Conjuntos de Unidades Consumidoras de Empresas de Distribuição de Energia Elétrica

Jyvago Castello Branco Soares Terceiro
Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, Brasil
jyvagoterceiro@hotmail.com

Diego Issicaba
Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, Brasil
issicaba.workstation@gmail.com

Yago Lafourcade Baracy
Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, Brasil
yago.lafourcade@gmail.com

Abstract—O estabelecimento de limites dos indicadores de continuidade dos conjuntos de unidades consumidoras das distribuidoras é o principal aspecto regulatório relacionado à qualidade de fornecimento de energia elétrica. Para a definição dos limites regulatórios dos indicadores coletivos, a ANEEL utiliza a comparação entre os conjuntos das empresas distribuidoras como principal elemento para definição do *benchmarking* que é tomado como referência de meta de desempenho a ser alcançada ao fim do período do ciclo tarifário. Tendo em vista que o método de estabelecimento de limites regulatórios aplicado atualmente não leva em consideração características que impactam a gestão operacional dos conjuntos, este trabalho propõe a realização de uma investigação dos possíveis ganhos que uma proposta de metodologia alternativa poderia ofertar ao desempenho de qualidade de fornecimento e cumprimento regulatório dos níveis de qualidade dos conjuntos elétricos. Foi proposta uma metodologia baseada na classificação dos conjuntos segundo áreas de densidade de atendimento de mercado consumidor, com o fim de promover uma comparação justa e que leve em consideração desafios operacionais dos conjuntos. Como resultado, obtém-se uma trajetória de limites de qualidade de fornecimento que esteja mais condizente com o nível de performance dos indicadores históricos dos conjuntos, que apoiam a exigência de melhoria contínua de forma a não onerar os consumidores sem a percepção real de melhora do fornecimento e incentivando a assertividade de investimentos, garantindo a sustentabilidade financeira das concessionárias de distribuição.

Keywords—Indicadores de Continuidade, Conjuntos de Unidades Consumidoras, Qualidade do Serviço, Fornecimento de Energia Elétrica, Distribuição de Energia.

I. INTRODUÇÃO

O início da regulação brasileira relacionada à qualidade de fornecimento de energia se deu há 45 anos, quando em 1978 foi editada pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE) a Portaria nº 046/1978. Este regulamento representou o início do processo de quantificação de métricas de desempenho das distribuidoras, sob o aspecto de continuidade, e, pela primeira vez, foram estabelecidos limites para indicadores de fornecimento de conjuntos de unidades consumidoras de algumas distribuidoras [1].

A metodologia para a definição dos limites regulatórios dos indicadores coletivos de continuidade, proposta inicialmente por Tanure, passou por aprimoramentos ao longo dos anos, resultando no método vigente definido após a

Audiência Pública nº 029/2014, a qual foi aplicada a todas as concessionárias de serviço público de distribuição de energia elétrica a partir do 4º Ciclo de Revisão Tarifária Periódica. A premissa básica da metodologia é que conjuntos elétricos semelhantes devem apresentar desempenhos equivalentes e sua aplicação se dá por meio do modelo conceitual *Yardstick Competition*, onde os padrões e metas dos indicadores de continuidade são ajustados em função da comparação entre distribuidoras [2]. Nesse contexto, a metodologia tem como base técnicas de agrupamentos, ou formação de *clusters*, de modo que os conjuntos semelhantes são classificados observando-se características físico-elétricas similares a partir de uma relação de atributos para a sua representação. Essa relação de atributos é vinculada ao conceito de conjunto de unidades consumidoras (UCs) que, de modo geral, representa uma subestação de distribuição com primário em nível de alta tensão e secundário em média tensão.

A caracterização predominantemente elétrica dada pela área de atuação de uma subestação de distribuição, além de ter reflexo direto na construção dos atributos que representarão o conjunto de UCs, pode ocultar áreas cujos atendimentos às ocorrências emergenciais por parte da distribuidora são completamente díspares entre si [3]. Considerando então o cenário de atuação do setor de distribuição de energia ocorrer em formato de monopólio natural e em diversas áreas com múltiplas complexidades operacionais, tem-se observado diferenças de desempenho de indicadores de qualidade entre conjuntos com representações de atributos semelhantes, o que tem ido de encontro com a premissa básica inicial e sugere a existência de interesse na realização de estudos complementares, com vistas a elucidar diferenças de complexidade de atendimento em diferentes áreas de concessão das distribuidoras.

Este trabalho tem por objetivo a proposição de avaliação de uma metodologia alternativa para a definição de limites de indicadores coletivos de continuidade de conjuntos elétricos das empresas Distribuidoras de energia elétrica do Brasil. Essa avaliação se dará por meio de aplicação de classificação dos conjuntos de acordo com a densidade de UCs em etapa prévia à formação dos *clusters*, para melhorar o processo de definição de limites de indicadores coletivos de continuidade.

II. REGULAÇÃO DE CONTINUIDADE DO SERVIÇO DE DISTRIBUIÇÃO NO BRASIL

A. Modelo Regulatório aplicado no Brasil

O modelo de regulação do setor de distribuição de energia elétrica no Brasil é fortemente influenciado pelo regime de *Price Cap*, instituído pela Lei nº 9.427/1996 e operacionalizado pelos Procedimentos de Regulação Tarifária (PRORET). Esse modelo combina incentivos à eficiência econômica com a promoção de uma qualidade de serviço adequada, através da aplicação de componentes regulatórios como o Fator X, que integra ganhos de produtividade (Pd), qualidade técnica e comercial (Q) e adequação dos custos operacionais (T). A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), órgão regulador do setor, desempenha papel central ao estabelecer esses sinais regulatórios, criando incentivos para que as distribuidoras equilibrem eficiência econômica, sustentabilidade e atendimento aos padrões de qualidade [4].

Na estrutura brasileira, o componente de qualidade (Q) do Fator X se destaca por vincular a regulação tarifária ao desempenho técnico das concessionárias, medido por indicadores como a duração e a frequência de interrupções no fornecimento de energia. Essa abordagem visa garantir que os consumidores sejam atendidos com um serviço confiável, enquanto as concessionárias operam dentro de limites de custo eficientes. Além disso, a ANEEL regula diversos aspectos técnicos, como o planejamento da expansão das redes, a regulação das condições gerais de fornecimento e o desenvolvimento de tecnologias como redes inteligentes. Essas ações demonstram a busca pelo equilíbrio entre eficiência técnica e econômica, bem como pela sustentabilidade de longo prazo do setor.

Por fim, a regulação no Brasil reflete uma abordagem integrada que busca incentivar a melhoria contínua do serviço e o equilíbrio econômico-financeiro das distribuidoras, garantindo tarifas justas e desempenho técnico adequado. A atuação da ANEEL como árbitro imparcial e independente reforça a estabilidade do modelo regulatório, que se estrutura para evitar excessos tarifários, assegurar o atendimento aos padrões de qualidade e proteger os consumidores. Assim, o modelo brasileiro de regulação de energia elétrica consolida-se como uma ferramenta robusta para a promoção de eficiência e confiabilidade no fornecimento de energia, alinhando os interesses de consumidores e concessionárias [4].

B. Indicadores de Continuidade de Fornecimento

Os indicadores de continuidade utilizados na regulação brasileira estão definidos no Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) [5]. Ao estabelecer os procedimentos de cálculo desses indicadores e os padrões de desempenho para a qualidade do serviço, esse dispositivo normativo tem o papel de estabelecer parâmetros de gerenciamento das redes de distribuição brasileiras, possibilitando a aplicação de mecanismos de acompanhamento e controle, bem como fornecendo subsídios para planos de reforma e melhoramento da infraestrutura das distribuidoras quando necessário. Além disso, desenvolve papel fiscalizatório ao ofertar aos consumidores parâmetros para a avaliação de confiabilidade de forma simples e direta, através de indicadores de fácil

compreensão e uso. É importante destacar que no Brasil são estabelecidos indicadores de continuidade individuais – vinculados a cada UC – e coletivos – vinculados a um agrupamento de clientes, normalmente, um conjunto de UCs aprovado pela ANEEL e pertencente à mesma área de concessão.

Os indicadores de continuidade coletivos utilizados na regulação brasileira são o Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) e o Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC), calculados conforme (1) e (2).

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^k Ca(i)t(i)}{Cc} \quad (1)$$

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^k Ca(i)}{Cc} \quad (2)$$

Onde:

$Ca(i)$: Número de UCs que sofreram interrupção decorrente do evento (i).

$t(i)$: Tempo de duração da interrupção (i) da UC, no período de apuração.

k : Número total de eventos.

Cc : Número total de UCs faturadas do conjunto no período de apuração, atendidas em BT ou MT.

Esses indicadores são semelhantes aos conhecidos SAIDI e SAIFI, respectivamente [5], e são as principais métricas de avaliação de qualidade de serviço prestado aos consumidores das empresas de distribuição de energia elétrica no Brasil. Adicionalmente, além de representarem métricas de avaliação, esses indicadores são objeto de cláusulas dos Contratos de Concessão das distribuidoras, constituídos com a premissa de garantir a busca pela prestação de serviço adequada ao consumidor e por evoluções nas metas de melhorias de qualidade ao longo do tempo. Os indicadores DEC e FEC, no Brasil, são calculados para um conjunto de consumidores agrupados nas áreas que compõem os conjuntos dentro das áreas de concessões de distribuição [6].

III. METODOLOGIA PROPOSTA

Após 10 anos, o método para a definição de limites dos conjuntos estabelecido em 2014 pela Nota Técnica nº 102/2014-SRD/ANEEL se encontra bem estabelecido. Contudo, é comum e até prudente que o modelo utilizado seja objeto de discussões por parte dos agentes interessados, com a finalidade de sempre aprimorar os regramentos do setor, de forma a acompanhar as mudanças nos padrões de consumo, tendências internacionais, ensejos da população, entre outros fatores. Além disso, sugere-se que diante dos avanços físicos e tecnológicos das redes de distribuição e da ausência de sinais regulatórios que acompanhem esse novo contexto, o modelo vigente seja revisitado para proposição de novos aprimoramentos.

Qualquer proposta de aprimoramento implementado ao modelo vigente que resulte em uma metodologia alternativa a ser adotada deve, necessariamente, ter os seus resultados aderentes à regulação por *Price Cap* e aos objetivos que estão sendo buscados com esse regime regulatório, além de harmonizar com as outras metodologias regulatórias aplicadas no Brasil e com as características próprias do segmento de

distribuição de energia elétrica nacional. Ademais, por óbvio, devem ser coerentes do ponto de vista teórico e estatístico. Assim, é fundamental que qualquer metodologia alternativa proposta para o estabelecimento dos limites de continuidade apresente, a um só tempo, consistência regulatória, teórica e estatística.

A metodologia proposta para esse trabalho leva em consideração conclusões obtidas de um projeto de Pesquisa e Desenvolvimento coordenado pela distribuidora Celesc-Dis [3], que atua no estado de Santa Catarina, e consiste basicamente em três etapas: Uma primeira etapa de pré-clusterização dos conjuntos elétricos segundo critérios de urbanização, uma segunda etapa de clusterização dos conjuntos pertencentes a um mesmo pré-cluster a partir dos atributos físico-elétricos já utilizados pela ANEEL e uma terceira etapa de análise comparativa para a definição dos limites dos indicadores de continuidade DEC e FEC. A Fig. 1 ilustra o fluxograma que mostra aspectos da execução de cada etapa da metodologia proposta.

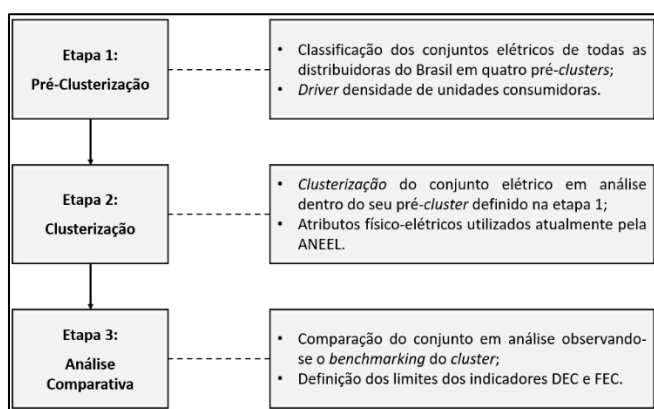


Fig.1. Fluxograma da metodologia proposta.

O principal objetivo da metodologia proposta é possibilitar uma maior diferenciação entre *clusters*, agregando características relacionadas à qualidade do serviço que são de difícil aquisição para os conjuntos elétricos, através da utilização de um *driver* de explicação da qualidade de fornecimento que se mostrou relevante em estudos relacionados a esse tema. Esse *driver* trata-se do atributo de densidade de consumidores e foi escolhido devido a ser um atributo de fácil obtenção que traz consigo diversas informações associadas a infraestruturas que influenciam diretamente no nível de performance de qualidade do serviço das redes elétricas das distribuidoras como gestão operacional, alocação de equipes de campo, investimentos em ativos na rede elétrica e dificuldades relacionadas ao atendimento às ocorrências emergenciais. Desta forma, a partir da incorporação desse atributo na metodologia proposta, busca-se promover assim uma comparação entre conjuntos com maiores níveis de semelhança e definição justa de limites de indicadores de continuidade.

Um aspecto relevante da metodologia aqui proposta é que o critério de formação de conjuntos adotado é o mesmo já aplicado atualmente pela ANEEL. Logo, mantendo-se o vínculo elétrico, o conjunto é definido por subestação de distribuição a qual engloba todos os consumidores atendidos pelas redes de MT a jusante da subestação e de propriedade da distribuidora. Entretanto, como aprimoramento para classificação dos conjuntos na primeira etapa de pré-clusterização, três subdivisões internas à área de atendimento de cada conjunto baseadas na ideia do que seriam

áreas mais e menos urbanizadas são propostas sob o ponto de vista do atributo densidade de UC. O objetivo dessa subdivisão é a identificação das diferentes áreas de atendimento de uma mesma subestação, de modo que os conjuntos sejam classificados em três agrupamentos de acordo com sua densidade de mercado e que conjuntos que abrangem mais de uma área geográfica com características diferentes sejam tratados de forma apartada em um quarto agrupamento. A aplicação dessa análise parte do pressuposto que os conjuntos alocados em um mesmo agrupamento apresentam maiores níveis de semelhança segundo critérios de urbanidade e, por consequência, a avaliação da continuidade do fornecimento de energia elétrica por método comparativo tende a ser mais justa.

Para identificação das áreas de densidade de mercado internas aos conjuntos elétricos, foi realizada uma análise de cada conjunto elétrico subdividido em quadriculas de 1 km² de área onde, partindo-se do ponto de instalação da subestação, o conjunto foi seccionado em até três possíveis áreas de densidade a partir do cálculo de densidade de consumidores, dado em UCs/km². Optou-se pela determinação de três tipos de áreas, pelo fato de o Brasil ser um país continental cujo mercado espalhado por todo seu território possui ampla diversidade e naturalmente as áreas urbanas e rurais espalhadas nas diferentes regiões não apresentam exatamente as mesmas características geográficas ao ponto que haja semelhança suficiente para que sejam comparadas de maneira justa com apenas duas áreas de urbanização. Desta forma, a metodologia proposta nesse trabalho considera então a separação em três diferentes áreas de densidade, quais sejam, alta, média e baixa densidade, para que se tenha um tipo intermediário que englobe áreas que tenham graus de urbanidade média e minimize efeitos de elevados graus de urbanidade ou elevados graus de ruralidade presente em alguns conjuntos. As faixas de densidade de consumidores são definidas por:

- Baixa densidade: Até 70 UCs/km²;
- Média densidade: De 70 à 1.100 UCs/km²;
- Alta densidade: Acima de 1.100 UCs/km².

Com essa definição das faixas de densidades, todos os conjuntos utilizados no âmbito desse trabalho foram analisados para a identificação de quais faixas estão presentes em cada conjunto, de modo a realizar a classificação dos conjuntos em agrupamentos por níveis de densidade na etapa de pré-clusterização. Destaca-se que cada conjunto pode possuir desde apenas uma faixa de densidade até possuir as três faixas dentro da sua área geográfica de atendimento.

Considerando então a identificação das áreas de densidade presente em cada um dos 2.868 conjuntos utilizados para as análises desse trabalho, esses conjuntos são divididos em 4 grupos de pré-clusters, de acordo com a quantidade de áreas de densidade que possuem e dos níveis de urbanidade dessas áreas. Os conjuntos elétricos que tenham apenas uma área de densidade são agrupados de acordo com seus níveis de densidade. Desta forma, considerando que nesse trabalho são adotados três níveis de densidades, serão constituídos três agrupamentos de conjuntos que possuem apenas uma área de densidade, quais sejam, pré-cluster de alta densidade, pré-cluster de média densidade e pré-cluster de baixa densidade. Os conjuntos que possuem mais de uma área de densidade são tratados de forma apartada compondo um quarto agrupamento denominado de pré-cluster misto, devido a constituírem um

agrupamento onde se considera que os conjuntos apresentam circunstâncias operacionais não homogêneas. A Fig. 2 resume de forma ilustrativa como são constituídos os agrupamentos na etapa de pré-clusterização.

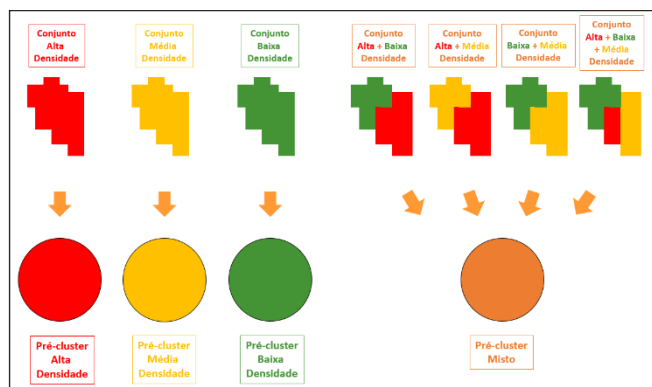


Fig. 2. Classificação de pré-clusters de conjuntos elétricos segundo áreas de densidade.

A formação dos pré-clusters a partir do nível de urbanização tem como intuito primordial inserir na metodologia um critério de justiça na definição dos limites dos indicadores de qualidade de serviço. Quando os conjuntos elétricos são separados em agrupamentos que levam em consideração o atributo de densidade de consumidores que traz consigo informações agregadas que interferem diretamente em circunstâncias de performance de nível de qualidade de fornecimento, busca-se incorporar na metodologia aspectos operacionais que não são envolvidos apenas com uma análise comparativa que coloque todos os conjuntos num mesmo *pool* e os descreva por meio dos atributos médios utilizados atualmente. Assim, considera-se justo que a definição dos limites de níveis de qualidade desses conjuntos se dê a partir de uma análise comparativa entre conjuntos que pertençam aos mesmos agrupamentos, de modo que se reduza distorções como as definições de limites inexequíveis ou o estabelecimento de limites por um conjunto *benchmarking* cujas características de nível de urbanização sejam completamente distintas.

Com base na constituição dos pré-clusters, as etapas seguintes de estabelecimento de limites de qualidade para um determinado conjunto consideram apenas os conjuntos que estejam classificados dentro do mesmo pré-cluster. Todos os conjuntos elétricos do Brasil ficam classificados nos pré-clusters de alta, média, baixa densidade ou conjuntos mistos. Considerando a base de dados das distribuidoras do ano de 2016 utilizados para as análises desse trabalho, os conjuntos foram pré-clusterizados, o que resultou na classificação ilustrada no mapa da Fig. 3.

Como pode ser observado no mapa, predomina na maior parte da área geográfica do Brasil os conjuntos elétricos com baixa densidade de consumidores. Entretanto, em áreas onde se localizam capitais de estados, regiões metropolitanas ou grandes cidades, há a tendência de classificação de conjuntos de alta densidade ou conjuntos mistos.

Finalizada a etapa de pré-clusterização, na sequência são executadas a segunda e terceira etapa da metodologia proposta para a definição dos limites dos indicadores de continuidade

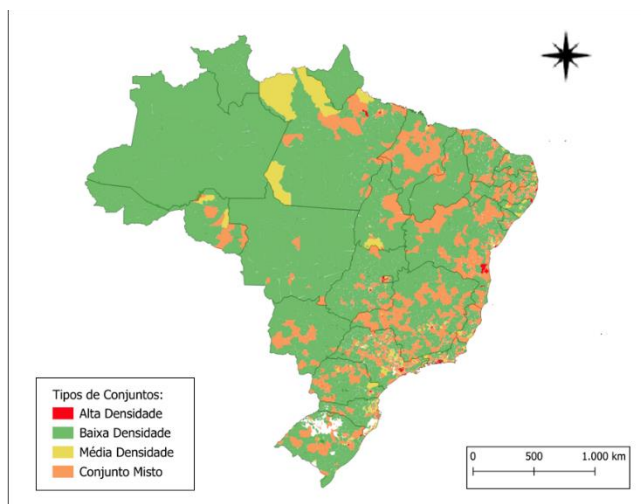


Fig. 3. Conjuntos elétricos brasileiros classificados segundo áreas de densidade.

DEC e FEC de um conjunto elétrico. Nessas etapas são utilizados os mesmos atributos físico-elétricos já utilizados atualmente pela ANEEL para caracterização dos conjuntos elétricos de todas as distribuidoras do Brasil. Na etapa de clusterização a proposta consiste em, considerando os agrupamentos obtidos da etapa de pré-clusterização, o conjunto sob análise tenha seu *cluster* formado por conjuntos que esteja no mesmo agrupamento de nível de densidade de consumidores, seguindo o mesmo regramento que é aplicado atualmente no modelo utilizado pela ANEEL. Desta forma, como exemplo, um conjunto pertencente ao pré-cluster de baixa densidade será clusterizado com conjuntos do mesmo pré-cluster de baixa densidade. Formados os *clusters* para avaliação dos indicadores DEC e FEC, na etapa seguinte de análise comparativa para a definição dos limites dos indicadores do conjunto, a proposta consiste em adotar as mesmas regras do modelo aplicado pela ANEEL atualmente. Desse modo, a proposta visa que o conjunto analisado seja comparado e tenha seus limites definidos por conjuntos *benchmarks* que tenham os mesmos níveis de urbanidade.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A metodologia aqui proposta é aplicada aos conjuntos elétricos de todas distribuidoras do Brasil cujos dados foram disponibilizados no âmbito da Consulta Pública nº 31/2016 da ANEEL para Revisão Tarifária da distribuidora Celesc-Dis no ano de 2016. Para simulação dos casos de estudo foi desenvolvido algoritmo compilado no *software MATLAB*, versão R2018a, da *MathWorks*.

O caso de estudo apresentado a seguir é resultado da comparação entre a simulação da definição de limites dos indicadores coletivos de continuidade para um conjunto elétrico, considerando o modelo vigente na regulação brasileira de qualidade de serviço e considerando a metodologia alternativa proposta para esse trabalho.

A aplicação da metodologia proposta se inicia com a pré-clusterização dos 133 conjuntos elétricos da Celesc-Dis, classificando-os em pré-clusters de acordo com os níveis de densidade previamente definidos entre alta, média, baixa densidade ou conjunto misto. A Fig. 4 ilustra como estão distribuídos geograficamente os conjuntos da distribuidora classificados após a pré-clusterização.

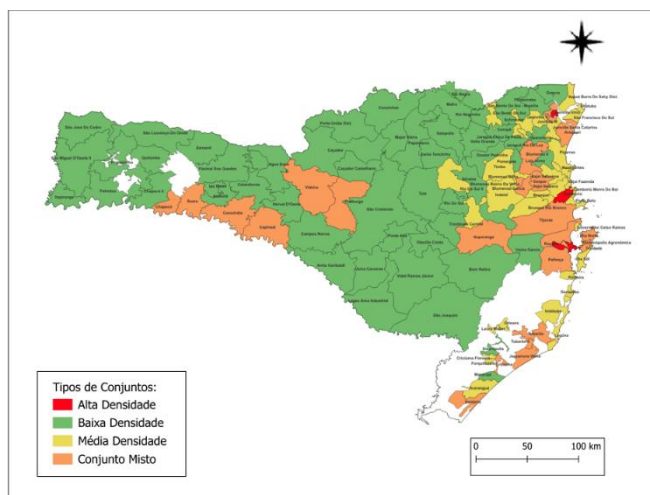


Fig. 4. Conjuntos elétricos da distribuidora Celesc-Dis classificados após pré-clusterização.

Nota-se que há predominância de conjuntos classificados como áreas de baixa densidade, especialmente dentre os conjuntos que estão localizados no interior do estado de Santa Catarina. Por outro lado, os conjuntos classificados como alta densidade, média densidade ou conjunto misto estão mais concentrados em áreas próximo a faixa litorânea do estado, o que era de se esperar, dado que a maior concentração populacional do estado e de mercado da Celesc-Dis se encontra nessa mesma região.

Após cálculo e definição dos limites para todos os conjuntos aplicando a metodologia proposta, observa-se resultado expressivo obtido que demonstra ganho em relação à aplicação da metodologia vigente em âmbito individual do processo de definição dos limites de indicadores de continuidade dos conjuntos, quando se analisa os conjuntos *benchmarking* os quais os conjuntos da Celesc-Dis foram comparados para definir os limites dos indicadores de qualidade para o 4º Ciclo de Revisão Tarifária Periódica entre os anos de 2017 e 2021. Para essa avaliação será mostrado o caso de definição dos limites do indicador DEC do conjunto elétrico Caçador ilustrado no mapa da Fig. 5.

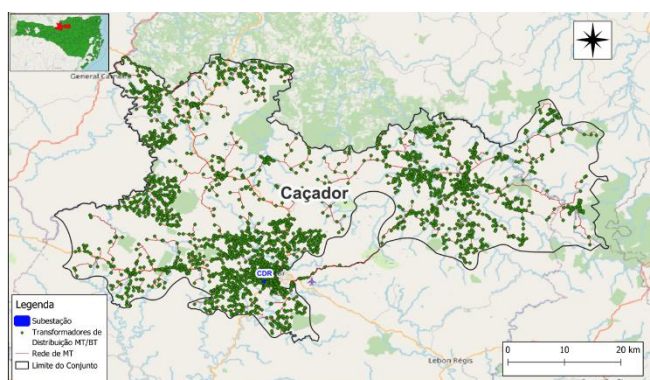


Fig. 5. Mapa do conjunto elétrico Caçador da distribuidora Celesc-Dis.

Após a execução da metodologia vigente, realização dos cálculos de heterogeneidade e medidas de posição, foi definido o *cluster* de conjuntos para comparação do indicador DEC do conjunto Caçador, no qual foi estabelecido que o conjunto elétrico Divinópolis 1, da distribuidora CEMIG-D, é o *benchmarking* cujo desempenho deve ser o alvo a ser perseguido.

Importante destacar que após a aplicação da metodologia vigente utilizada pela ANEEL, o *cluster* de conjuntos que foram comparados ao conjunto Caçador para definição dos limites regulatórios de indicador DEC contém conjuntos classificados como baixa densidade, média densidade e conjunto misto. Além disso, verifica-se que o conjunto *benchmarking* do *cluster* é classificado como conjunto misto.

A partir dessa definição do conjunto alvo que é o *benchmarking* a ter o nível de desempenho de qualidade perseguido fica evidente que o conjunto Caçador tem limites regulatórios de indicador DEC definidos por um conjunto que apresenta características operacionais diferentes da sua, sendo portanto resultado de uma comparação injusta. Isso significa ainda que o conjunto Caçador, classificado como um conjunto com área de baixa densidade, terá que buscar uma performance similar à de um conjunto com característica de área mista, o que leva a distribuidora a ter que alocar investimentos que podem não necessariamente levar ao atingimento do objetivo de ter o conjunto atendendo aos limites regulatórios de níveis de qualidade de fornecimento exigidos pelo órgão regulador.

Nesse contexto, quando se aplica o modelo proposto, busca-se a partir da utilização do *driver* de área de densidade na etapa de pré-clusterização garantir que os conjuntos tenham comparações mais justas, trazendo para a metodologia informações intrínsecas às áreas geográficas que impactam diretamente na complexidade operacional de cada conjunto. Isso resulta em ganhos na definição de limites regulatórios de qualidade por calcular níveis de exigências exequíveis para os conjuntos e evita investimentos por parte das empresas distribuidoras que não resultarão em ganhos de qualidade a serem percebidos pelos consumidores.

Para o caso do conjunto Caçador, após a execução do modelo proposto, foi definido o *cluster* de conjuntos para comparação do indicador DEC no qual foi estabelecido que o conjunto elétrico Cianorte, da distribuidora COPEL-DIS, é o *benchmarking* cujo desempenho deve o alvo de nível de qualidade a ser perseguido.

A partir dessa definição de um novo conjunto alvo é possível evidenciar aspectos que resultarão em ganhos na definição dos limites regulatórios do indicador DEC para o conjunto Caçador. O primeiro aspecto está relacionado ao fato de o *cluster* ser composto apenas por conjuntos elétricos com mesma classificação de densidade, nesse caso, de baixa densidade, incluindo o próprio *benchmarking* conjunto Cianorte da distribuidora COPEL-DIS. O segundo aspecto diz respeito ao fato de o conjunto alvo apresentar performance média histórica e referência de limite atual mais próximo ao conjunto em análise, o que representa que a definição da trajetória de limites regulatórios não impõe exigência de melhoria abrupta de nível de qualidade que ocasionaria impacto elevado nos investimentos da distribuidora e está mais adequada à evolução da performance dos indicadores de continuidade do conjunto ao longo do tempo. Por último, o terceiro aspecto se trata do fato de o *benchmarking* ser um conjunto que possui complexidade operacional semelhante ao do conjunto em análise, garantido pela utilização do *driver* de área de densidade no método proposto.

Dadas as execuções dos dois métodos, foram calculadas as trajetórias de limites regulatórios do indicador DEC para horizonte de 8 anos. Os valores obtidos são mostrados na Tab. 1.

TABLE I. TRAJETÓRIA DE LIMITES DE ANO 1 A ANO 8 DO INDICADOR DEC, EM HORAS, PARA O CONJUNTO CAÇADOR CALCULADOS SEGUNDO METODOLOGIA ANEEL E METODOLOGIA PROPOSTA.

MÉTODO	LIMITE ANO 1	LIMITE ANO 2	LIMITE ANO 3	LIMITE ANO 4
ANEEL	14	13	12	12
PROPOSTO	15	14	14	13
MÉTODO	LIMITE ANO 5	LIMITE ANO 6	LIMITE ANO 7	LIMITE ANO 8
ANEEL	11	10	9	8
PROPOSTO	13	12	12	11

Diante dos valores calculados mostrados, fica evidenciado que a trajetória calculada pelo modelo proposto atende à premissa de exigência de melhoria contínua ao longo do tempo, porém com menor intensidade do que a exigência imposta pela trajetória calculada pelo modelo aplicado pela ANEEL. Isso ocorre devido ao processo de comparação dentro do *cluster* formado apontar para outro *benchmarking* cuja classificação de densidade é a mesma do conjunto em análise e essa classificação apresenta habitualmente performance de qualidade numericamente mais elevadas. Assim, é possível fazer uma análise quanto à performance histórica do conjunto dentro dos cinco anos do 4º Ciclo para observar a adequação desse histórico com os limites que seriam impostos em caso de adoção da metodologia proposta. A Tab. 2 mostra os valores calculados de limites calculados por ambas as metodologias e os valores apurados para o indicador DEC do conjunto Caçador entre os anos de 2017 e 2021.

TABLE II. LIMITES E PERFORMANCE DO INDICADOR DEC, EM HORAS, PARA O CONJUNTO CAÇADOR ENTRE OS ANOS DE 2017 E 2021.

ANO	2017	2018	2019	2020	2021
LIMITE ANEEL	14	13	12	12	11
LIMITE PROPOSTO	15	14	14	13	13
PERFORMANCE APURADA	14,51	15,22	14,87	12,42	11,62

Quando se compara os valores dos limites calculados com a performance apurada do indicador DEC do conjunto Caçador aos correspondentes anos, nota-se um ganho com relação às violações de níveis de qualidade de fornecimento. Comparando-se a trajetória de indicadores apurados com os limites calculados pelo método aplicado pela ANEEL, o conjunto apresentou violação de nível de qualidade de fornecimento relacionado ao indicador DEC em todos os anos do 4º Ciclo, o que pode ter representado impactos na distribuidora dos pontos de vista financeiro e tarifário. Por outro lado, quando se compara a trajetória de indicadores

apurados com os limites calculados pela metodologia proposta, o conjunto Caçador apresentaria violação apenas em três anos do 4º Ciclo, em 2018 e 2019, destacando-se ainda que a violação no ano de 2019 ocorreria em menos de uma hora. Isso evidencia que a metodologia proposta definiria limites de indicadores de continuidade DEC mais condizentes com a realidade operacional do conjunto Caçador, sem abrir mão da premissa básica exigida pelo regulador de melhoria contínua, direcionando a distribuidora para planejamentos de melhoria mais otimizados e assertivos.

Assim, face ao resultado exposto, resta claro que a aplicação da pré-clusterização trazida pelo método proposto, representa um ganho para o processo de definição de limites de indicadores de qualidade de fornecimento de energia elétrica a nível de conjuntos elétricos, de áreas de densidade e da área de concessão da distribuidora. A implementação do modelo contendo esse critério que promove um grau de justiça na comparação entre os diversos conjuntos espalhados pelo Brasil, tornou mais assertivo o processo de definição de limites de qualidade, impondo metas exequíveis para os conjuntos elétricos.

Nesse sentido, importa destacar que o cumprimento regulatório dos limites de qualidade de fornecimento se trata de uma obrigação regulatória da distribuidora em relação ao seu contrato de concessão junto ao órgão regulador brasileiro. Desta forma, a definição de limites justos e exequíveis, sem abrir mão da exigência de melhoria contínua, direciona a distribuidora no sentido de alocação de recursos de forma otimizada e assertiva para cumprimento de suas obrigações regulatórias de qualidade do serviço e se mantém sustentável o negócio de distribuição de energia elétrica. Com essa otimização, impactos técnicos positivos são percebidos pelo consumidor, uma vez que a distribuidora consegue aplicar investimentos assertivos em toda área de concessão melhorando a qualidade do serviço de fornecimento. Além disso, ganhos econômicos também são percebidos na definição da componente Q do Fator X, a qual tem efeito direto no cálculo de componentes tarifários aplicados aos consumidores.

V. CONCLUSÃO

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de propor uma metodologia alternativa que possa definir os limites de indicadores coletivos de continuidade de conjuntos elétricos das empresas distribuidoras de energia elétrica do Brasil. Os estudos de densidade de áreas de mercado dentro dos conjuntos elétricos das distribuidoras do Brasil foram realizados de forma estruturada a partir de base de dados da ANEEL, como as BDGDs das empresas distribuidoras, e de órgãos governamentais, como os setores censitários e áreas urbanas do IBGE, e utilizada como *driver* para a obtenção da classificação dos conjuntos elétricos das distribuidoras de acordo com as áreas de densidade atendidas por cada subestação. Obtida essa classificação segundo áreas de densidade de todos os conjuntos elétricos das distribuidoras brasileiras, foram montados os *pré-clusters* de áreas de densidade que são utilizados para formação dos *clusters* de comparação mais justa de desempenho histórico dos indicadores de qualidade de fornecimento e definição dos *benchmarking* de referência para os conjuntos analisados.

Considerando a base de dados dos conjuntos elétricos já classificada e os *pré-clusters* já montados, foi desenvolvido algoritmo de formação dos *clusters* comparativos, obtenção

dos conjuntos *benchmarking* e cálculo das trajetórias de limites dos indicadores de qualidade de fornecimento de energia elétrica para o ciclo tarifário de uma distribuidora. Utilizando este algoritmo para definição dos limites regulatórios, foi obtido um resultado satisfatório, que enseja estudos mais aprofundados sobre a aplicação do atributo de densidade de mercado consumidor para a avaliação de desempenho dos níveis de qualidade do serviço dos conjuntos elétricos e das áreas de concessão das distribuidoras do Brasil. Observou-se que, apesar de, os ganhos tenham sido sensíveis para os conjuntos elétricos, representam situações onde os limites de qualidade a definidos para horizontes de até 8 anos necessitam ser estabelecidos por meio de uma comparação justa que leve em consideração as complexidades operacionais do conjunto, bem como os desafios impostos pela área geográfica de atendimento do mercado.

Diante do exposto, conclui-se que este trabalho encontrou indícios de que a inserção de uma pré-clusterização na metodologia de definição dos limites dos indicadores de continuidade globais podem agregar um critério de justiça no processo de comparação de desempenhos dos conjuntos elétricos e estabelecimento do *benchmarking* a ser buscado através da melhoria contínua de performance de qualidade de fornecimento. Além disto, pode-se inferir, com os resultados obtidos, que os ganhos da metodologia não buscam simplesmente uma flexibilização de exigência de níveis de qualidade a nível global, mas sim levar em consideração as dificuldades operacionais decorrentes área geográfica de cada

conjunto assim como as condições de operação da rede elétrica de distribuição.

REFERENCES

- [1] N. K. Neto, "Sistema multivariável para avaliação de desempenho e estabelecimento de limites de continuidade de fornecimento de energia utilizando a lógica fuzzy". Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2012.
- [2] J. E. P. S. Tanure, "Análise comparativa de empresas de distribuição para o estabelecimento de metas de desempenho para indicadores de continuidade do serviço de distribuição". Itajubá: Escola Federal de Engenharia de Itajubá, 2000.
- [3] C. Silveira, G. Sacchi, A. Uehara, C. Barioni, J. Terceiro, M. Dutra, T. Souza and F. Volkmer, "Nova definição de conjuntos de unidades consumidoras no âmbito da qualidade do fornecimento de energia elétrica no Brasil". XV CBQEE 2023. Brasil, vol. 2, Setembro 2023.
- [4] M. Delgado and F. Hage, Regulação Técnica e Econômica em Monopólios Naturais - Reflexões conceituais e metodológicas no setor de distribuição de energia elétrica. Rio de Janeiro: Synergia, 2015.
- [5] Agência Nacional de Energia Elétrica, Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica - PRODIST. Brasília: ANEEL, 2021.
- [6] R. Billinton and R. N. Allan, Reliability Evaluation of Power Systems. New York: Pitman, 1984.
- [7] J. E. P. S. Tanure, C. M. V. Tahan, J. W. M. Lima, "Establishing Quality Performance of Distribution Companies Based on Yardstick Regulation" IEEE Transactions on Power Systems, vol. 21, pp. 1148--1153, August 2006.