

Método de Extração de Atributos Técnicos e Geográficos de Distribuidoras de Energia Elétrica

Jaderson Rosa dos Santos
Universidade Federal de Santa Maria
Cachoeira do Sul, RS
Email: r.jaderson@gmail.com

Leonardo da Silveira
Universidade Federal de Santa Maria
Cachoeira do Sul, RS
Email: leonardo_dasilveira@outlook.com

Laura Lisiane Callai dos Santos
Universidade Federal de Santa Maria
Cachoeira do Sul, RS
Email: laura.santos@ufsm.br

Celso Becker Tischer
Universidade Federal de Santa Maria
Cachoeira do Sul, RS
Email: cibtischer@gmail.com

Rui Anderson Ferrarezi Garcia
Companhia Estadual de Distribuição
de Energia Elétrica
Porto Alegre, RS
Email: RuiFG@ceee.com.br

Resumo—O setor de distribuição de energia elétrica brasileiro é caracterizado por ser um monopólio natural. Como forma de reproduzir o funcionamento de um mercado competitivo, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) define indicadores de continuidade do serviço individuais e coletivos. Para esses indicadores, são estabelecidos limites por meio de uma metodologia de análise comparativa entre distribuidoras, que consiste na formação de *clusters*, com conjuntos de unidades consumidoras (UC) que possuam atributos semelhantes. Tais atributos são extraídos da Base de Dados Geográfica das Distribuidoras (BDGD) e de outras bases de dados. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo apresentar uma ferramenta para a determinação dos atributos provenientes da BDGD. A ferramenta consiste na utilização do *software* de mapeamento QGIS para extração dos atributos. Os dados são organizados em uma planilha do *software* Excel e servirão de base para estudos de avaliação de novos atributos para a metodologia de análise comparativa.

Keywords – Distribuição de energia, Indicador, Limite, Qualidade do serviço.

I. INTRODUÇÃO

O fornecimento ininterrupto de energia elétrica é um dos principais objetivos das distribuidoras e concessionárias de energia elétrica, uma vez que a interrupção do fornecimento de energia elétrica implica o pagamento de compensações financeiras aos clientes afetados. Além disso, a demanda por qualidade do fornecimento de energia se intensificou na sociedade, considerando que o não fornecimento de energia afeta a atividade industrial e comercial, utensílios domésticos e os meios de comunicação [1].

Visando assegurar a qualidade da energia elétrica ofertada aos consumidores, bem como reproduzir o funcionamento de um mercado competitivo, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) avalia as distribuidoras e concessionárias quanto à qualidade do serviço, qualidade do produto e qualidade comercial. A qualidade do serviço refere-se à continuidade da distribuição de energia elétrica e, visando avaliar esse aspecto, a ANEEL estabelece indicadores de continuidade de serviço coletivos e individuais. Os indicadores coletivos são

definidos para conjuntos de unidades consumidoras, enquanto que os individuais derivam dos coletivos e são definidos por ponto de conexão [1].

Os limites para os indicadores coletivos são definidos por meio de uma análise comparativa entre conjuntos de unidades consumidoras. São formados agrupamentos com conjuntos de unidades consumidoras semelhantes, e, para cada agrupamento, é definida uma meta de indicadores. A semelhança entre os conjuntos é estabelecida por seus atributos, que são retirados do Sistema de Informação Geográfica Regulatório (SIG-R). O SIG-R é composto por bases de dados que fornecem informações referentes às distribuidoras e, dentre essas bases, está a Base de Dados Geográfica das Distribuidoras (BDGD), que contém informações técnicas e geográficas relativas às distribuidoras [2].

A extração dos atributos da BDGD é relevante para análise e validação da metodologia vigente de definição dos limites de continuidade para os indicadores Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) e Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC). Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver uma ferramenta que determine os atributos provenientes da BDGD das distribuidoras e concessionárias de energia elétrica brasileiras.

Este artigo possui a seguinte estrutura: A Seção II apresenta os aspectos regulatórios no que tange à definição dos limites de continuidade. A metodologia proposta para realização deste estudo se encontra na Seção III. A Seção IV contém os resultados da aplicação da metodologia no estudo de caso de uma distribuidora de energia elétrica do sul do Brasil. Por fim, são apresentadas as conclusões do trabalho.

II. ASPECTOS REGULATÓRIOS

O segmento de distribuição de energia elétrica no Brasil é regulado e fiscalizado pela ANEEL. Cabe à Agência propiciar as condições favoráveis ao desenvolvimento equilibrado do mercado brasileiro de energia, por meio da regulamentação dos serviços prestados pelas distribuidoras. Uma das formas

de padronização consiste na implementação de limites de continuidade do fornecimento de energia, de modo a assegurar a disponibilidade do sistema [3].

Em vista disso, o Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), elaborado pela ANEEL, tem, como um dos objetivos, estabelecer os procedimentos relacionados à qualidade da energia e dos serviços prestados pelas distribuidoras. Esse documento institui os indicadores de continuidade individuais: 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 (DICRI); e coletivos: duração equivalente de interrupção por unidade consumidora (DEC) e frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora (FEC). Além dos indicadores, são instituídos seus respectivos limites, para cada conjunto [3].

A metodologia atual de cálculo dos limites dos indicadores de continuidade DEC e FEC é apresentada na Nota Técnica nº 0102/2014-SRD/ANEEL. O procedimento para definição desses limites consiste na aplicação de uma análise comparativa entre os conjuntos de unidades consumidoras que possuam atributos técnicos, geográficos, ambientais e socioeconômicos similares. Parte-se da premissa de que conjuntos semelhantes devem possuir desempenhos semelhantes [2].

A determinação dos atributos que melhor descrevem os conjuntos deu-se através da aplicação da técnica de regressão *stepwise* em 146 atributos definidos pela ANEEL, os quais foram elencados de acordo com suas respectivas significâncias em relação aos indicadores DEC e FEC. Da aplicação da regressão *stepwise*, obteve-se um modelo para cada indicador, com base em 6 atributos, dos quais 5 são comuns a ambos os modelos. A Tabela I apresenta os atributos selecionados para a metodologia de análise comparativa para DEC e FEC [2].

A primeira etapa da análise comparativa baseia-se na formação de agrupamentos, ou *clusters*, de conjuntos semelhantes utilizando o método dinâmico. A semelhança dos conjuntos é estipulada por meio dos 6 atributos de cada modelo, ou seja, são agrupados, em um mesmo *cluster*, conjuntos que possuam valores semelhantes para esses atributos. A segunda etapa consiste no emprego da técnica *Yardstick Competition* para estabelecer o limite do agrupamento. Primeiramente, define-se da referência do agrupamento, que é determinada pela média dos desempenhos dos conjuntos do *cluster* para os últimos 3 anos civis disponíveis. Para conjuntos isolados ou subterrâneos adota-se o percentil 50 como referência, enquanto que para conjuntos interligados adota-se o percentil 20 como referência. Por fim, define-se uma trajetória linear de redução dos limites ao longo de 8 anos, onde o ponto inicial da trajetória é o limite previamente estabelecido pela trajetória anterior, para o agrupamento, no ano em que é calculada a próxima trajetória e o ponto final é o limite da referência do agrupamento [2].

Os 146 atributos descrevem quantitativamente as características técnicas, geográficas, ambientais e socioeconômicas

Tabela I: Variáveis Selecionadas para o Modelo de DEC e FEC

DEC	
Sigla	Atributo
PC_NUC_AD	Percentual de Número de Unidades consumidoras em Áreas de Alta densidade (%)
PC_VRAM	Percentual de Área com Vegetação Remanescente Alta ou Média (%)
PC_ERMT_3F	Percentual de Redes Média Tensão Trifásicas (%)
PLUV	Precipitação Pluviométrica Média Anual (mm)
CM_NUC_RES	Consumo Médio por Unidade Consumidora da Classe Residencial
NUC_IND	Número de Unidades Consumidoras da Classe Industrial
FEC	
Sigla	Atributo
PC_VRAM	Percentual de Área com Vegetação Remanescente Alta ou Média (%)
PLUV	Precipitação Pluviométrica Média Anual (mm)
PC_NUC_AD	Percentual de Número de Unidades consumidoras em Áreas de Alta densidade (%)
NUC_COM	Número de Unidades Consumidoras da Classe Comercial
CM_NUC_RES	Consumo Médio por Unidade Consumidora da Classe Residencial
PC_ERMT_3F	Percentual de Redes Média Tensão Trifásicas (%)

de cada conjunto. Tratam-se de informações sintetizadas da Base de Dados Geográfica da Distribuidora (BDGD) de cada concessionária e de outras bases de dados, de órgãos como o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Dos 146 atributos, 89 referem-se aos dados obtidos exclusivamente das BDGD [2].

A BDGD compreende o conjunto de informações que são encaminhadas pela distribuidora à ANEEL. Tratam-se de informações relacionadas à base de clientes, aos ativos da concessionária e ao consumo de energia, dentre outros aspectos. As BDGD das diversas distribuidoras brasileiras, em conjunto com outras bases de dados da ANEEL e outros órgãos, compõem o Sistema de Informação Geográfica Regulatório – SIG-R [4].

O Módulo 10 do PRODIST tem como objetivo estabelecer o padrão e a estrutura das informações contidas na BDGD, o formato dos arquivos digitais, os prazos e a forma de envio à ANEEL. De acordo com o PRODIST, as informações da BDGD são organizadas em dois conjuntos de entidades, definidas como entidades geográficas e entidades não geográficas. As entidades geográficas são aquelas que retratam feições geográficas e informações georreferenciadas, como, por exemplo: subestações, unidades consumidoras e redes elétricas. As entidades não geográficas, por sua vez, apresentam apenas tabelas de dados, como, por exemplo, os registros de perdas técnicas e não técnicas. Ao todo, são 45 entidades [4].

As distribuidoras de energia brasileiras têm por obrigação enviar à ANEEL as suas respectivas bases de dados geográficas. Na modalidade de envio ordinária, a submissão ocorre anualmente, com os dados referenciados no dia 31 de dezembro de cada ano. Já a modalidade extraordinária consiste no envio aperiódico da BDGD pela distribuidora, sob demanda

da agência reguladora [4].

A BDGD é fornecida à ANEEL em forma de arquivo digital, com duas opções de formato: *shapefile* (shp) ESRI ou *GML Simple Features* no nível SF-0. Ambos os formatos comportam feições geográficas vetorizadas (pontos, linhas e polígonos), as quais são utilizadas para o georreferenciamento. Os arquivos no formato *shapefile* são possíveis de serem manipulados utilizando-se aplicativos de informações geográficas, como ArcGIS e QGIS [4].

Na próxima seção, é descrita a metodologia de obtenção dos atributos extraídos da BDGD. A metodologia foi desenvolvida através da interpretação das informações que constam na presente seção devido à ausência de trabalhos na literatura que proponham procedimentos para extração de atributos da BDGD.

III. METODOLOGIA

A metodologia proposta consiste em utilizar as informações contidas na Base de Dados Geográfica da Distribuidora para obtenção de 89 atributos, que se referem exclusivamente às características técnicas dos conjuntos. O procedimento descrito neste trabalho considera a BDGD contendo arquivos no formato *shapefile*.

O diagrama da Figura 1 sintetiza o processo de extração dos atributos. A partir da BDGD de uma determinada distribuidora, realiza-se uma seleção inicial dos dados a serem utilizados. Em seguida, são realizadas operações aritméticas, tais como contagem, soma e divisão, para obtenção dos atributos, os quais são agrupados por conjunto.

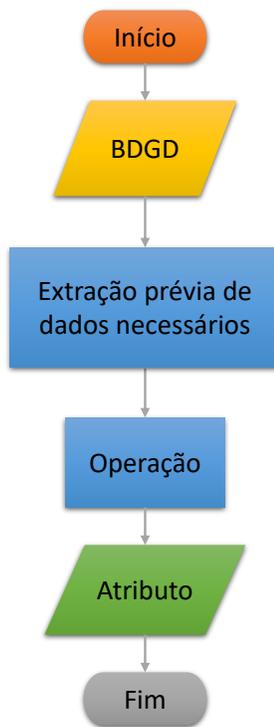
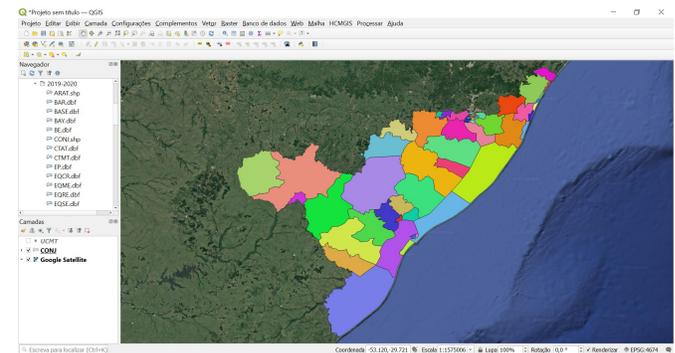


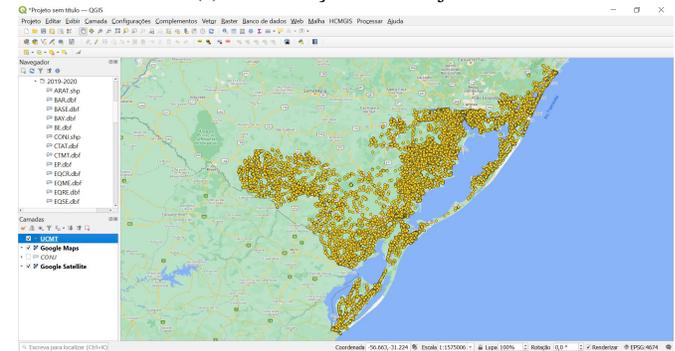
Figura 1: Processo de extração de atributos.

A primeira etapa da metodologia proposta, Figura 1, consiste na verificação dos arquivos da BDGD. O formato dos arquivos difere de acordo com a forma como cada distribuidora de energia disponibiliza seus dados. Os arquivos da BDGD no formato *shapefile* encontram-se, essencialmente, em duas extensões: *.shp*, que contém as características da geometria propriamente dita, e *.dbf*, que contém tabelas de atributos.

Tais arquivos são importados para o *software* de sistema de informação geográfica QGIS em forma de camadas. Esse *software* é livre e de código aberto e permite a criação, edição, visualização e análise de informações geoespaciais. Com o programa, é realizada a manipulação dos dados contidos na BDGD, desde a sua visualização até a extração dos atributos. Uma visão da interface do *software* QGIS é mostrada na Figura 2.



(a) Visualização dos Conjuntos



(b) Visualização das UC de Média Tensão (UCMT)

Figura 2: Interface do *software* QGIS.

Cada camada refere-se a uma entidade, seja ela geográfica ou não. A Figura 2 apresenta dois exemplos de entidades geográficas em visualização: UCMT (Unidades Consumidoras de Média Tensão) e CONJ (Conjuntos). Todas as camadas são, então, importadas para um banco de dados SpatiaLite. Esse recurso permite a junção de diversas tabelas de dados em um único arquivo de extensão *.sqlite*, que é utilizado para realizar consultas no gerenciador de banco de dados do QGIS.

Na Tabela II são apresentados cinco exemplos de atributos. O primeiro deles, AREA, refere-se a área, em km^2 , obtida pela área do polígono de cada conjunto. O número total de unidades consumidoras (NUC) é encontrado pela contagem de todas as UC contidas em determinado conjunto. De forma semelhante,

obtem-se o atributo NUC_URB através da contagem de todas as UC localizadas na área urbana de cada conjunto. Para se determinar os atributos NUC e NUC_URB, são utilizadas as tabelas que listam todas as unidades consumidoras.

O atributo Percentual de NUC Urbano (PC_NUC_URB) deriva-se dos dois anteriores, pois é resultado da divisão de NUC_URB por NUC. Já o atributo Densidade de UC (NUC_AREA) é calculado a pela divisão de NUC por AREA.

Tabela II: Exemplos de atributos

Atributo	Sigla do Atributo	Operação para Obtenção
Área (km ²)	AREA	-
NUC Total	NUC	-
NUC Urbano	NUC_URB	-
Percentual de NUC Urbano	PC_NUC_URB	NUC_URB / NUC
Densidade de UC (UC/km ²)	NUC_AREA	NUC / AREA

Tendo em vista a grande quantidade de informações contidas na BDGD, faz-se necessário o uso de ferramentas de consulta a bancos de dados para realizar as operações de obtenção dos atributos. Dessa forma, foram implementados códigos na linguagem *Structured Query Language* (SQL), que utilizam o comando *select*. A estrutura básica desse comando é constituída por cláusulas, apresentadas na Figura 3.

A consulta utilizando *select* retorna uma tabela, em que as colunas representam atributos e as linhas, os registros. O comando inicia-se com a palavra *select* e, em seguida, são listadas as colunas que estarão contidas no resultado da consulta. Então, insere-se a cláusula *from* e as tabelas de origem, que, neste caso, referem-se às entidades. Posteriormente, a cláusula *where* é utilizada para se aplicar condições de seleção, como filtros. Emprega-se a cláusula *group by* quando são empregadas funções de agregação, como as de soma (*sum*) e de contagem (*count*). Por fim, a cláusula *order by* pode ser utilizada para ordenar os resultados da consulta.

O gerenciador de banco de dados retorna resultado da consulta, uma tabela, a qual é, posteriormente, exportada para uma planilha no *software* Microsoft Excel. Assim, o processo de extração de atributos da BDGD é finalizado. A aplicação dessa metodologia em um estudo de caso é descrita na próxima seção.

IV. ESTUDO DE CASO E RESULTADOS

A fim de se verificar e validar a metodologia descrita neste trabalho, foram extraídos os 89 atributos referentes a BDGD da Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica (CEEE-D), que atua em parte do estado do Rio Grande do Sul. A BDGD utilizada refere-se à data de 31 de dezembro de 2019.

Para realizar essa tarefa, foram escritos 89 códigos em SQL, ou seja, uma consulta para cada atributo. Um exemplo de aplicação do comando *select* para a obtenção do atributo Número de Unidades Consumidoras Localizados em Área Urbana (NUC_URB) é apresentado na Figura 4.



Figura 3: Cláusulas do comando select.

```
SELECT UC.conj, COUNT(UC.cod_id) AS 'NUC_URB' FROM
(SELECT conj, cod_id, are_loc FROM UCAT UNION
SELECT conj, cod_id, are_loc FROM UCMT UNION
SELECT conj, cod_id, are_loc FROM UCBT) AS 'UC'
WHERE UC.are_loc = 'UB'
GROUP BY UC.conj
ORDER BY UC.conj;
```

Figura 4: Código em SQL para obtenção do atributo NUC_URB.

Nesse exemplo, a tabela de origem da consulta trata-se de uma união entre as tabelas de registros de unidades consumidoras: UCAT, UCMT e UCBT. A condição de seleção de tais UC, expressa pela cláusula *where*, é a de estarem localizadas em área urbana. O resultado da consulta é uma tabela contendo duas colunas: o código do conjunto e a contagem do número de UC que atendem ao filtro, ou seja, o próprio atributo NUC_URB, agrupada por conjunto.

Posteriormente, a consulta aos atributos foi unificada em um único código em SQL. Parte do resultado obtido dessa consulta única é apresentada na Tabela III.

Tabela III: Parte dos atributos extraídos da BDGD da CEEE-D.

NOME_CONJ	AREA	NUC_URB	NUC_NURB	NUC
ALVORADA	149,039	38286	582	38868
AREAL	2.501,744	17634	5815	23449
ARROIO DO SAL	64,407	14887	529	15416
ARROIO GRANDE	4.156,135	9752	2552	12304
ATLANTIDA	25,330	40760	5	40765
ATLANTIDA SUL	70,656	32427	49	32476
BAGE 1	384,819	25218	166	25384
BAGE 2	7.753,403	27095	3299	30394
CAMAQUA	4.645,435	22324	13560	35884
CAMAQUA 2	1.014,443	6523	963	7486

Os resultados foram comparados com o Apêndice III da Nota Técnica nº 0102/2014-SRD/ANEEL, que apresenta os valores dos atributos calculados para a BDGD do ano de 2013. Evidentemente, os valores desse período diferem dos valores atuais, entretanto a variação observada encontra-se dentro do esperado. Essa variação é explicada pelas mudanças de características técnicas e geográficas. Dessa forma, a metodologia apresentada de extração de atributos da BDGD evidencia-se correta e adequada.

V. CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi apresentada uma metodologia para a extração dos atributos de distribuidoras de energia elétrica brasileiras, com o objetivo de se realizar, futuramente, estudos de avaliação de novos atributos para a metodologia de análise comparativa de desempenho, utilizada pela ANEEL. Para a validação, essa metodologia foi aplicada utilizando-se a BDGD de uma distribuidora de energia elétrica do sul do Brasil, referente ao ano de 2019.

Os resultados obtidos foram comparados com o Apêndice III da Nota Técnica nº 0102/2014-SRD/ANEEL, que exibe os atributos obtidos para todos os conjuntos brasileiros no ano de 2013. Percebeu-se que houve uma mudança no valor dos atributos, como, por exemplo, o aumento no número de unidades consumidoras em relação aos atributos do ano de 2013. No entanto, essas discrepâncias são aceitáveis e endossam a metodologia. Portanto, concluiu-se que a metodologia proposta é válida para a extração de atributos da BDGD.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de P&D regulado pela ANEEL e executado pela Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica (CEEE-D) via chamada nº 01/2018.

REFERÊNCIAS

- [1] 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". Itajubá: ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ, 2000.
- [2] ANEEL. Nota Técnica nº 0102 de 3 de dezembro de 2014. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2014/029/resulta_do/nota_tecnica_0102_2014_srd.pdf. Acesso em: 15 de janeiro de 2021.

- [3] ANEEL. "Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional-PRODIST: Módulo 8 - Qualidade de Energia Elétrica". Revisão 12, 2021. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/modulo-8>. Acesso em: 15 de janeiro de 2021.
- [4] ANEEL. "Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional-PRODIST: Módulo 10 - Sistema de Informação Geográfica Regulatório". Revisão 2, 2021. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/modulo-10>. Acesso em: 15 de janeiro de 2021.