

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

DIEGO SANTANA FERREIRA

**ANÁLISE DO ALGORITMO DE FLUXO DE POTÊNCIA E DA EXTENSÃO DO
MODELO DE INFORMAÇÃO COMUM PARA REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

**Ilha Solteira
2021**

DIEGO SANTANA FERREIRA

**ANÁLISE DO ALGORITMO DE FLUXO DE POTÊNCIA E DA EXTENSÃO DO
MODELO DE INFORMAÇÃO COMUM PARA REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira –
Unesp como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Prof. Dr. Jonatas Boás Leite
Orientador

FICHA CATALOGRÁFICA

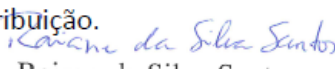
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

F383a Ferreira, Diego Santana.
Análise do algoritmo de fluxo de potência e da extensão do modelo de informação comum para redes de distribuição de energia elétrica / Diego Santana Ferreira. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2021
69 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2021

Orientador: Jonatas Boas Leite
Inclui bibliografia

1. Redes de distribuição de energia elétrica inteligentes. 2. Fluxo de potência. 3. Modelo de informação comum para distribuição.


Raiane da Silva Santos

Supervisora Técnica de Seção
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
CRB/8 - 9999

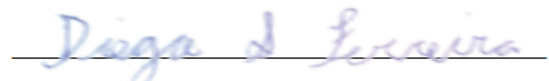
ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Aos vinte e um dias do mês de setembro do ano de dois mil e vinte e um, o **DIEGO SANTANA FERREIRA**, matriculado sob o nº 191050881, tendo como banca examinadora o seu orientador, o *Prof. Dr. Jonatas Boas Leite*, a *Profª. Drª. Anna Diva Plasencia Lotufo* e o doutorando *Hugo de Oliveira Motta Serrano*, apresentou o Trabalho de Graduação intitulado "ANÁLISE DO ALGORITMO DE FLUXO DE POTÊNCIA E DA EXTENSÃO DO MODELO DE INFORMAÇÃO COMUM PARA REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA" obtendo a nota 8,0 (OITO) e conceito APROVADO.



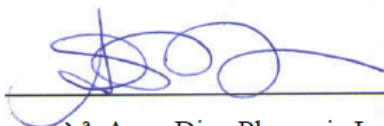
Prof. Dr. Jonatas Boas Leite

- orientador -



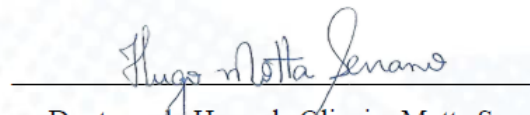
Diego Santana Ferreira

- discente -



Prof. Drª. Anna Diva Plasencia Lotufo

- Membro da Banca -



Doutorando Hugo de Oliveira Motta Serrano

- Membro da Banca -

Dedico este trabalho aos
meus pais.

In Memoriam

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Ilha Solteira, e todos os profissionais, técnicos e docentes que sempre estiveram à disposição em proporcionar um ensino de alta qualidade.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Jonatas Boás Leite, por sua simpatia, sabedoria e por estar ao meu lado nos momentos mais importantes.

Por último, mas não menos importante, à minha amada esposa, que sempre me acompanhou nos momentos mais difíceis da minha vida, e também sempre me motivou.

“Nossa maior fraqueza está em desistir. O caminho mais certo de vencer é tentar mais uma vez”.

Thomas Edison
1947-1931

RESUMO

Com o passar dos anos e o desenvolvimento dos sistemas elétricos de potência, ocorreu a necessidade de se elaborar e planejar sistemas de distribuição com redes interconectadas, operadas por um amplo número de companhias concessionárias de eletricidade. O modelo de informação comum (CIM) permite descrever todo o sistema elétrico de potência de modo a padronizar os dados de todas as concessionárias e criar uma linguagem mundial de dados. Portanto, este trabalho de graduação faz um estudo do algoritmo de cálculo de fluxo de potência, uma ferramenta essencial de análise das redes de distribuição, em que o modelo de dados da rede de distribuição é fundamentado no diagrama de classes como aqueles utilizados no CIM. O entendimento da extensão do CIM para distribuição facilita assim a análise e processamento de informação obtida de diferentes bases de dados. A base de dados utilizada é disponibilizada pelo EPRI e possui informações de três circuitos do sistema de distribuição de energia elétrica, totalizando aproximadamente onze mil clientes de energia elétrica. Os resultados demonstram as respostas do algoritmo de cálculo de fluxo de potência e o processamento das informações da base de dados.

Palavras-chave: redes de distribuição de energia elétrica; fluxo de potência; CIM; algoritmo de varredura *Backward/Forward*; tecnologia da informação em redes de distribuição.

ABSTRACT

Over the years and the development of electrical power systems, there was a need to design and plan distribution systems with interconnected networks, operated by many power utilities. The common information model (CIM) allows describing the entire electrical power system to standardize the data of all utilities and create a world data language. Therefore, this graduation work makes a study of the power flow calculation algorithm, which is an essential tool for the analysis of distribution networks, where the distribution network data model is based on the class diagram like those used in CIM. Understanding the extent of the CIM for distribution thus facilitates the analysis and processing of information obtained from different databases. The database used is provided by EPRI and contains information on three circuits of the electricity distribution system, totaling approximately eleven thousand electricity customers. The results demonstrate the responses of the power flow calculation algorithm and the processing of information from the database.

Keywords: distribution networks; power flow; CIM; Backward/Forward sweep algorithm; information technologies in distribution networks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	- Sistema elétrico trifásico convencional.....	14
Figura 02	- Sistema elétrico moderno.....	17
Figura 03	- Parte periférica de uma rede de distribuição.....	23
Figura 04	- Classes, subclasses e herança (linguagem UML)	25
Figura 05	- Associação (linguagem UML)	26
Figura 06	- Agregação (linguagem UML)	27
Figura 07	- Composição (linguagem UML)	27
Figura 08	- Topologia de uma rede de 6 barras.....	28
Figura 09	- Diagrama de classes do modelo de dados para rede de distribuição	29
Figura 10	- Pseudocódigo do algoritmo de percurso em profundidade.....	30
Figura 11	- Pacotes do CIM de nível superior do padrão IEC 61970-301 ..	32
Figura 12	- Pacotes de nível superior de extensões CIM para distribuição (DCIM)	34
Figura 13	- Modelagem de fase do DCIM.....	36
Figura 14	- Modelo de carga no DCIM.....	37
Figura 15	- Modelo de conectividade de linha do DCIM.....	38
Figura 16	- Modelo de solução de variáveis de estado CIM.....	41
Figura 17	- Diagrama de classes padronizado com atributos adicionais	43
Figura 18	- Diagrama unifilar da rede de distribuição com 135 barras	44
Figura 19	- Magnitude da tensão de fase nas barras	45
Figura 20	- Diferença das Magnitudes de tensão nas barras	45
Figura 21	- Magnitude das correntes fluindo nas linhas da rede	46
Figura 22	- Diferença das Magnitudes de corrente nas linhas	46
Figura 23	- Convergência do fluxo de potência	47
Figura 24	- Topologia do circuito ckt5	48
Figura 25	- Topologia do circuito ckt7	49
Figura 26	- Topologia do circuito ckt27	49
Figura 27	- Diagrama do procedimento	50
Figura 28	- Dados obtidos no circuito ckt5 com o auxílio do programa	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 01	- Lista de adjacências para a rede de 6 barras	29
Tabela 02	- Características dos circuitos do EPRI	48
Tabela 03	- Inspeção de objetos para os circuitos do EPRI	51

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AC	<i>Alternating Current</i>
CGEE	Centro de Gestão de Estudos Estratégicos
CIM	<i>Common Information Model</i>
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
DC	<i>Direct Current</i>
DFS	<i>Depth-First Search</i>
DSS	<i>Distribution System Simulator</i>
EMS	<i>Energy Management System</i>
EPRI	<i>Electric Power Research Institute</i>
ID	<i>Identity Document</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
RDF	<i>Resource Description Framework</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
SQL	<i>Structured Query Language</i>
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
UML	<i>Unified Modeling Language</i>
XML	<i>Extensible Markup Language</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	<i>Smart Grids</i>	17
1.2	Vantagens e Desvantagens da Implementação de <i>Smart Grids</i>	18
1.3	Cenário das <i>Smart Grids</i> no Brasil e no Mundo.....	20
1.4	Objetivos.....	20
1.5	Organização do texto	21
2	ANÁLISE DE FLUXO DE POTÊNCIA	22
2.1	Algoritmo de Varredura <i>Backward/Forward</i>	23
2.2	A Linguagem de Modelagem Unificada (UML)	25
2.3	Modelo de Dado e Algoritmo de Percurso (DFS).....	28
3	MODELO DE INFORMAÇÃO COMUM PARA DISTRIBUIÇÃO (IEC 61968)	31
3.1	Definição do CIM.....	31
3.1.1	Pacotes do CIM.....	31
3.2	Pacotes de Extensões do CIM para Distribuição.....	33
3.3	Conceitos e Exemplos de Modelagem de Rede.....	34
3.3.1	Modelagem de Conectividade e de Fase.....	34
3.3.2	Cargas Monofásicas e Desequilibradas.....	35
3.3.3	Segmentos da Linha de Distribuição.....	37
3.3.4	Uso de Sequência de Impedâncias (Caso Balanceado)	39
3.3.5	Uso de Parâmetros Físicos.....	40
3.4	Interfaces de Variáveis de Estado	40
3.5	Atributos Adicionais para Cálculo do Fluxo de Potência	42
4	RESULTADOS	44
4.1	Sistema Teste de 135 Barras	44
4.2	Base de dados do EPRI.....	48

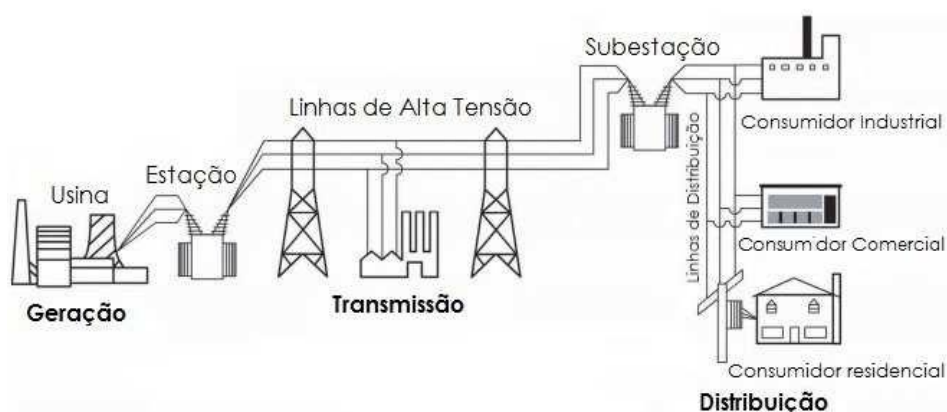
5	CONCLUSÕES.....	52
	REFERÊNCIAS.....	53
	APÊNDICE	56
	ANEXO	63

1 INTRODUÇÃO

O conceito de uma rede de distribuição de energia elétrica tornou-se necessário a partir da década de 1880, quando a eletricidade passou a ser gerada em centrais elétricas. As primeiras redes de distribuição tinham a função de distribuir eletricidade para a iluminação a arco nas cidades, substituindo os sistemas de iluminação a gás. Nesta época, haviam redes de distribuição que operavam em corrente alternada (AC) e em corrente contínua (DC). Entretanto, aquelas que operavam em corrente contínua não eram muito eficientes, visto que os cabos de cobre de sustentação dessas redes de distribuição tinham a necessidade de ser muito espessos e a unidade de geração não poderia ficar a grandes distâncias do local a ser iluminado, pois o afundamento de tensão era relevante com elevadas perdas durante o caminho percorrido pela eletricidade.

Em meados da década de 1880, baseando-se nos conceitos de indução eletromagnética, de Michael Faraday (Inglaterra, 1791-1867) e de Joseph Henry (EUA, 1797-1878), foram desenvolvidos os transformadores de corrente alternada, fazendo com que toda a distribuição de energia tendesse a ser feita em corrente alternada. Dessa forma, eleva-se a magnitude da tensão para a transmissão (redução de perdas ôhmicas, fios menos espessos e transmissão em maiores distâncias) e abaixa-se a mesma magnitude de tensão nas proximidades dos consumidores de energia elétrica. A figura 01 representa um modelo do sistema elétrico trifásico convencional.

Figura 01: Sistema elétrico trifásico convencional.



Fonte: BLUME, 2007

Com o passar dos anos, o sistema de distribuição de energia elétrica foi sendo aperfeiçoado e, conseqüentemente, adquirindo maior complexidade. As redes de distribuição passaram a ser interconectadas e operadas por um amplo número de companhias concessionárias de eletricidade. A complexidade mencionada é encontrada pelo fato de que cada companhia concessionária utiliza formatos de armazenamento de informações do sistema de distribuição em bancos de dados diferentes. Portanto, a intercomunicação entre as diferentes companhias exige um trabalho muito grande e se torna extremamente difícil, visto que cada empresa concessionária tende a traduzir os dados obtidos do sistema de distribuição para o seu formato específico.

Na redução dessa complexidade para interconexão dos sistemas de distribuição, um grupo de pesquisa do sistema elétrico do “*Electric Power Research Institute (EPRI)*” publicou um modelo padrão de dados, na América do Norte, de modo que todas as companhias pudessem se interconectar e utilizar dados compartilhados. Tal modelo foi denominado “*Common Information Model (CIM)*”. Esse modelo é uma junção do padrão *IEC 61970-301*, o qual descreve os componentes do sistema elétrico em um nível elétrico e as relações entre cada componente elétrico, e do padrão *IEC 61968-11*, o qual estende o *IEC 61970-301* para incluir os aspectos de troca de dados entre os aplicativos de *software* dos sistemas de distribuição de energia, como rastreamento de ativos, programação de trabalho das equipes de campo e cobrança de clientes consumidores de eletricidade.

O CIM (Modelo de Informação Comum) é utilizado em sistemas de energia elétrica e tem duas utilidades primordiais, baseadas nas necessidades que foram surgindo ao longo do desenvolvimento dos sistemas de distribuição de energia elétrica: 1) o intercâmbio de dados entre empresas concessionárias de eletricidade; e 2) a troca de dados entre aplicativos dentro de uma mesma empresa concessionária.

O CIM foi criado usando os diagramas de classes, os quais utilizam a linguagem de modelagem unificada (UML), que trabalha com definição de classes e subclasses, hierarquias, heranças e agregações entre as classes e suas subclasses. Define-se os componentes de um sistema de energia elétrica como objetos organizados nessa linguagem UML e no padrão CIM, descrevendo suas complexidades e possíveis falhas. Todo componente do sistema é definido em uma classe diferente, sendo que cada classe contém diversos atributos, que são características em comum daqueles componentes.

Embora o problema de comunicação interna da empresa concessionária de distribuição tenha sido quase totalmente resolvido, uma vez que antes do desenvolvimento desse padrão as empresas concessionárias adquiriam diversos pacotes de *softwares* para fazer essa intercomunicação e, depois do surgimento do CIM, a comunicação passou a ser feita através de um único *software*, as empresas ainda encontram dificuldades na comunicação externa, com pacotes de *softwares* de diferentes fornecedores evidenciando a ausência de uma ferramenta de gerenciamento de banco de dados.

Ao longo dos anos, veio o aperfeiçoamento e a busca por novas técnicas para melhorar e facilitar progressivamente o processo de troca de dados. Para tanto, foi desenvolvida a linguagem XML (*Extensible Markup Language*), a qual consiste em um formato universal para documentos e dados estruturados. Permite ao usuário projetar sua própria linguagem de marcação para descrever a estrutura dos dados sendo acessível pela *internet*. A característica marcante do XML é a portabilidade, devido ao fato da definição do conteúdo de um documento sem o seu formato. Ou seja, um banco de dados pode criar dados sem um formato específico, de modo que outros bancos de dados possam acessar esse documento, pois o mesmo é codificado como um texto.

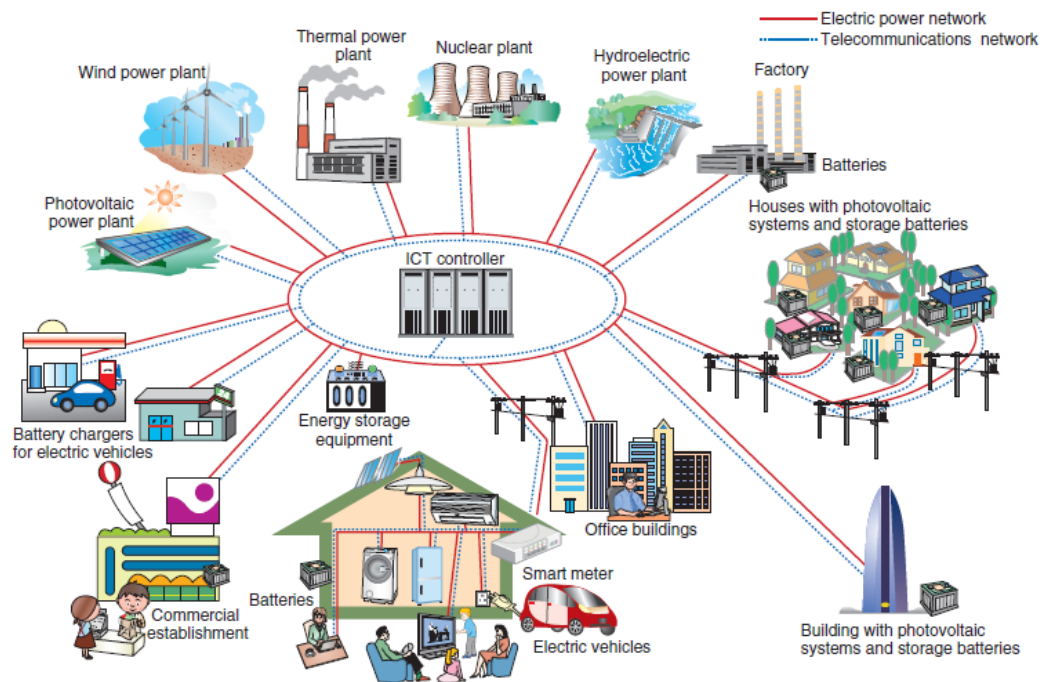
Dessa forma, um esquema de componentes elétricos representados em CIM pode ser representado utilizando XML, definindo-se as classes e subclasses correspondentes. Evidentemente, todas essas classes são referenciadas com um ID e a comunicação entre subclasses e classes é feita através do RDF (*Framework*), o qual é uma estrutura que permite a interconexão entre ID's utilizando-se o prefixo RDF.

A combinação entre CIM, XML e RDF permite que um modelo do sistema de energia elétrica em CIM seja expresso de forma integral em um formato de texto padrão, sendo legível e extensível por seres humanos e máquinas. Entretanto, por mais que todos esses sistemas e técnicas tenham sido desenvolvidos, ainda há um problema grande no relacionado à intercomunicação para troca de dados entre diferentes aplicações de *softwares*, pois nos dias atuais, a análise de sistemas de energia elétrica se resume no estudo de dados, os quais têm aumentado muito devido à maior complexidade dos sistemas.

O conceito de *smart grids* (redes inteligentes), por exemplo, está sendo inserido nos sistemas de distribuição de energia elétrica, devido à algumas mudanças no

sistema elétrico convencional. A geração de energia elétrica deixou de ser feita exclusivamente em grandes centrais geradoras distantes das regiões consumidoras e passou a ser feita também por indústrias ou casas com geradores próprios, tais como solares, eólicos ou à combustão. Dessa forma, o conceito de *smart grid* se resume na tentativa de aperfeiçoar o sistema elétrico, instalando sensores (*meters*) na rede de distribuição para monitorar constantemente os níveis de tensão e de corrente e detectar possíveis falhas, além de fazer uma comunicação entre a rede e os usuários da mesma. Para tanto, trabalha-se com um número muito grande de dados que precisam ser compatíveis com os modelos lógicos para interconexão dos sistemas. Uma imagem ilustrativa do sistema elétrico moderno é apresentada na Figura 02.

Figura 02: Sistema elétrico moderno.



Fonte: NOZAKI, 2012

1.1 Smart Grids

O conceito *Smart Grid* possui sentido amplo e deve ser compreendido mais como um conjunto de recursos para inovação tecnológica do que simplesmente um medidor ou equipamento específico. Baseia-se na utilização intensiva de tecnologia de automação, computação e comunicações para monitoração e controle da rede elétrica, as quais permitirão a implantação de estratégias de controle e melhoria da rede de forma muito mais eficiente que as atualmente em uso (VIEIRA, 2019).

Segundo SANTOS & CANATO (2020) com a implementação da *Smart Grid*, será possível monitorar em tempo real o consumo de energia, e realizar a distribuição a partir da fonte geradora mais economicamente viável e abundante no momento. Do mesmo modo, será possível supervisionar remotamente todos os equipamentos automatizados que estejam conectados à rede.

SANTOS & CANATO (2020) também afirmam que os sistemas elétricos deixaram de introduzir muitos avanços tecnológicos capazes de proporcionar uma qualidade de vida mais apropriada à atual era digital, por causa de um investimento relativamente baixo. As concessionárias distribuidoras de energia conseguem reestabelecer o serviço de fornecimento de energia, mas depende, muitas vezes, de ligações dos consumidores alertando sobre quedas de energia ou alterações na rede, para só então enviar uma equipe ao local com a finalidade de fazer a manutenção corretiva.

No Brasil, os três principais motivadores para a popularização das *Smart Grids* são: atenuação e/ou eliminação de perdas não técnicas ocasionadas por fraudes; constância da continuidade do serviço; e eficiência energética. No contexto global, podem ser encontrados outros motivadores, dentre eles: o aumento da competitividade e ampliação do mercado livre; diminuição de custos operativos; diminuição do impacto ambiental; prestação de novos serviços; e gerenciamento de ativos (VIEIRA, 2019).

1.2 Vantagens e Desvantagens da Implementação de *Smart Grids*

Com as *Smart Grids* é possível estabelecer uma comunicação bidirecional na rede elétrica com a troca de informação, ou seja, dispositivos instalados na rede elétrica são capazes de enviar e receber dados. Pelo fato de ambas as redes, elétrica e comunicação, serem bidirecionais, há a possibilidade de aumentar a eficiência e confiabilidade, uma vez que se tem fluxos de energia e dados em tempo real para garantir tais características.

Outros pontos benéficos das *Smart Grids*, de acordo com SANTOS & CANATO (2020), são:

- i. Aumento da eficiência na transmissão e distribuição de energia elétrica;

- ii. Restabelecimento do fornecimento de energia mais ágil após alterações na rede;
- iii. Redução nos custos de operações e gerenciamentos da companhia de energia elétrica, resultando em menores custos para consumidores;
- iv. Demanda de pico reduzida, também auxiliando na diminuição de taxas de consumo de eletricidade;
- v. Segurança melhorada;
- vi. Maior integração das redes elétricas com as fontes renováveis de energias.

Esse tipo de avanço tecnológico também tem suas desvantagens. Uma delas, em particular, é o custo da troca dos medidores eletromecânicos pelos eletrônicos (medidores inteligentes). Algumas outras desvantagens, de acordo com SANTOS & CANATO (2020), estão relacionadas à implementação das tecnologias de informação e comunicação (TIC) com o sistema atual de energia elétrica:

- i. Privacidade do consumidor: os medidores inteligentes automaticamente reúnem numerosas quantidades de dados e os transmitem às companhias de energia, consumidores e provedores de serviços. Informações das quais podem eventualmente ser utilizadas para monitorar as atividades dos consumidores, equipamentos em uso, e horários em que a casa ou estabelecimento encontra-se vazio;
- ii. Confiança implícita entre dispositivos tradicionais de energia: a comunicação entre dispositivos no sistema de controle está sujeita, por exemplo, ao *spoofing*, que é um ataque cibernético no qual um *hacker* se passa por outro aparelho, ou usuário de uma rede com o objetivo de roubar dados, disseminar *malware* ou tomar controles de acesso;
- iii. Tempo de vida dos sistemas elétricos: como a coexistência das redes elétricas e sistemas TIC são relativamente recentes, é inevitável que existam equipamentos desatualizados em funcionamento. Esses dispositivos podem ter sua segurança comprometida mais facilmente, além das possíveis incompatibilidades com o novo sistema;
- iv. Quantidade massiva de dispositivos inteligentes: a *Smart Grid* possui diversos equipamentos inteligentes que possibilitam o gerenciamento do

fornecimento de energia elétrica e demanda da rede. Equipamentos dos quais podem ser usados como pontos de acesso para ataques cibernéticos. Levando em consideração que a rede inteligente de energia elétrica (*Smart Grid*) é de 100 a 1000 vezes maior que a *internet*, sua fiscalização e gerenciamento tornam-se extremamente difíceis.

1.3 Cenário das *Smart Grids* No Brasil e no Mundo

Diferentes partes do mundo apresentam focos e motivações distintos na implementação das redes inteligentes (CGEE, 2012). O foco da Europa está mais relacionado à microgeração distribuída com a utilização de energia limpa e à melhoria na eficiência energética. Já os Estados Unidos mostram uma atenção maior em recuperar e melhorar as redes de distribuição que estão muito degradadas. Por último, a Ásia e Pacífico mostram um foco em atender o aumento de demanda de energia do mercado, tendo em vista que as tecnologias das redes inteligentes podem otimizar o atendimento a essa demanda (LEME, 2020).

Dentro do cenário brasileiro, houve recentemente, em setembro de 2020, o anúncio pela Copel (Companhia Paranaense de Energia) do início do programa de Rede Elétrica Inteligente. Segundo a empresa, este programa irá implementar a rede de distribuição automatizada em 151 municípios do estado do Paraná e, em seguida, as unidades consumidoras irão receber medidores inteligentes, assim tornando possível a comunicação bidirecional entre concessionária e consumidor final.

Ainda dentro do cenário brasileiro se tem a prova de conceito realizada pela CPFL Energia que consistiu na substituição de 98% dos medidores eletromecânicos por medidores inteligentes referentes ao Grupo B na cidade de Jaguariúna. Nesta prova de conceito, teve-se como principal objetivo o teste de quatro diferentes tipos de comunicações.

1.4 Objetivos

O objetivo principal desse trabalho de graduação é fazer um estudo do algoritmo de cálculo do fluxo de potência usando uma modelo de dados fundamentado no diagrama de classes para facilitar a compreensão do CIM. O estudo da extensão

do CIM para distribuição também é importante para o processamento das informações das redes elétricas disponibilizadas na base de dados do EPRI.

Dentre os objetivos específicos está a implementação do algoritmo de cálculo do fluxo de potência usando uma linguagem de programação genérica. Especificar e implementar as classes necessárias para construção dos objetos padronizados pela extensão do CIM para distribuição permitindo o processamento e análise da base de dados disponibilizada pelo EPRI.

1.5 Organização do texto

Este documento é composto por cinco capítulos. Neste primeiro capítulo, são abordados os conceitos fundamentais de uma rede de distribuição de energia elétrica e da *Smart Grid*, mais a definição dos objetivos deste trabalho. Os próximos capítulos são organizados da seguinte forma:

- O capítulo 2 aborda as ferramentas para análise do fluxo de potência nos sistemas de distribuição de energia elétrica;
- O capítulo 3 aborda modelo de informação comum para sistemas de distribuição de energia elétrica;
- O capítulo 4 apresenta os resultados do programa de fluxo de potência e do processamento dos dados dos circuitos disponibilizados na base de dados do EPRI;
- O capítulo 5 apresenta as conclusões e considerações finais baseadas no estudo.

2 ANÁLISE DE FLUXO DE POTÊNCIA

Sempre que as ferramentas de análise do sistema de distribuição são mencionadas, algoritmos de cálculo de fluxo de potência geralmente vêm à mente, porque o fluxo de potência é a ferramenta de análise mais básica (SCHNEIDER, 2017). Hoje em dia, ao avaliar diversos conceitos de *Smart Grid*, que envolvem armazenamento, geração renovável e outros, a capacidade de simulações sequenciais de fluxo de potência é essencial. Uma simulação durante um período significativo de tempo é necessária para obter a resposta certa quando a geração distribuída muda a forma da carga. Uma análise comum é, por exemplo, uma solução de 8.760 horas anuais usando um perfil de carga para classificar as cargas em risco de não serem atendidas no caso de falha de um componente da rede inteligente (DUGAN & MCDERMOTT, 2011). A análise de comportamento de automação avançada usa técnicas híbridas para simular transitórios em sistemas de distribuição (REIZ & LEITE, 2020) exigindo algoritmos mais rápidos e eficientes para calcular o fluxo de potência.

O principal objetivo do cálculo do fluxo de potência em redes de distribuição de energia elétrica é determinar o estado da rede, como magnitudes das tensões dos nós e das correntes de linha, por meio das equações de balanço de potência. Com isso, é possível verificar problemas de tensão e sobrecargas, calcular as perdas gerais e planejar a operação e expansão das redes de distribuição de energia elétrica. O fluxo de potência é determinado a partir dos valores de potência ativa e reativa que são fornecidos pela demanda de carga em cada nó da rede de distribuição e pela capacidade de geração das unidades de geração distribuída (GD). Os dados de entrada também incluem a topologia da rede por meio da lista de nós adjacentes e impedâncias de linha.

Os sistemas de distribuição podem ter qualquer número de fases, são fracamente malhados e desequilibrados, reduzindo assim o desempenho dos métodos clássicos de cálculo de fluxo de potência. Nas últimas décadas, o método de injeção de correntes foi proposto por Garcia et al. (2000) para a análise de grandes sistemas de distribuição, aplicando o método de Newton e modernas técnicas de esparsidade. A tensão em cada barra é calculada após a especificação da tensão na barra de referência e, então, com a matriz de impedância nodal, a variação incremental da tensão devido a injeção de corrente é calculada em toda a rede. A

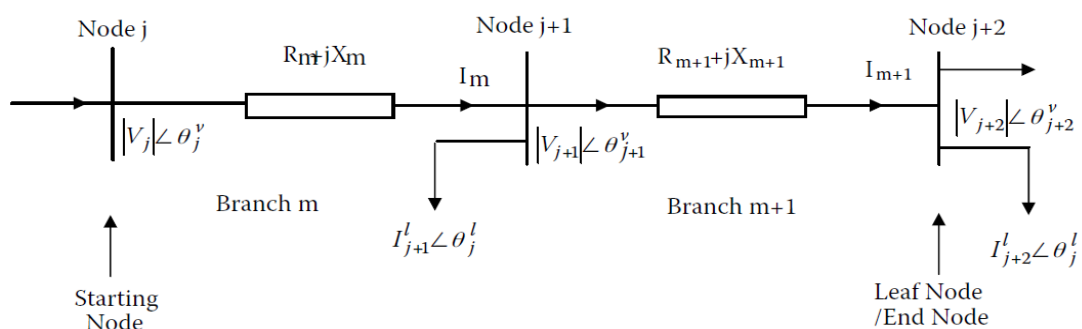
maioria dos sistemas de distribuição é radial. Portanto, os métodos de varredura por *Backward/Forward*, como em (LEITE & MANTOVANI, 2015), se beneficiam dessa natureza radial e se tornaram o método preferido por muitos programas de análise de sistema de distribuição.

2.1 Algoritmo de Varredura *Backward/Forward*

O algoritmo de fluxo de potência deve ser capaz de apresentar uma convergência efetiva para redes não balanceadas, demandando tempo de processamento reduzido. A formulação do fluxo de potência assume o regime permanente e o comportamento dos componentes presentes na rede de distribuição de energia elétrica. A solução de fluxo de potência pode ser determinada usando um método de varredura, denominado fluxo de potência de varredura *Backward/Forward*, que reconhecidamente pode responder com uma alta velocidade de execução, necessária para aplicações em tempo quase-real nas ferramentas de automação do sistema de distribuição.

O método de varredura *Backward/Forward* é inicialmente baseado no cálculo de correntes. A presença de barras do tipo PQ (potência ativa e reativa conhecidas) torna a rede não linear; conseqüentemente, o processo de resolução se torna iterativo. Existe uma forma de organizar as barras da rede em camadas para facilitar a localização dos nós extremos, permitindo a identificação das componentes jusantes e montantes, ou seja, obter a lista de adjacências (SHIRMOHAMMADI, 1995). A figura 03 ilustra um seccionamento da rede de distribuição destacando as tensões e injeções de correntes nas barras e fluxo de corrente através das linhas de distribuição.

Figura 03: Parte periférica de uma rede de distribuição.



Fonte: KERSTING, 2002

Nos itens a seguir, são descritos os passos do algoritmo de varredura *backward/forward* de solução do fluxo de potência em redes de distribuição:

- Corrente Nodal: a magnitude da tensão de referência e o ângulo de fase são adotados no nó raiz, que também é a tensão inicial em outros nós da rede de distribuição.

$$I_{i,p}^k = \left(\frac{S_{i,p}}{V_{i,p}^{k-1}} \right)^* - \sum_{j \in \{a,b,c\}} Y_{i,j}^{sh} V_{i,j}^{k-1}, \quad p \in \{a, b, c\} \quad (01)$$

Em (01), $S_{i,p}$ é a injeção de potência. $V_{i,p}^{k-1}$ é a tensão calculada na iteração $(k - 1)$ e $Y_{i,j}^{sh}$ é a admitância total da quantidade de elementos *shunt* no nó i e p -ésima fase.

- Varredura Backward: a partir da última camada e indo para a primeira camada, do nó raiz, são calculadas as correntes através da i -ésima ramificação, conforme é dado em (02).

$$J_{i,p}^k = -I_{i,p}^k + \sum_{m \in M} J_{m,p}^k, \quad p \in \{a, b, c\} \quad (02)$$

em que M é o conjunto de ramificações adjacentes e à jusante conectadas ao nó i .

- Varredura Forward: partindo do nó raiz e indo até as últimas camadas da rede com cálculo da tensão no nó i .

$$V_{i,p}^k = V_{u,p}^k - \sum_{j \in \{a,b,c\}} Z_{i,j} J_{i,j}^k, \quad p \in \{a, b, c\} \quad (03)$$

Em (03), $V_{u,p}^k$ é a tensão à montante adjacente ao nó i ao ramal com impedância de linha $Z_{i,j}$.

- Critério de Convergência: enquanto o valor máximo da parte real ou imaginária da diferença entre a injeção de potência calculada e especificada for maior do que a tolerância aceitável, $\varepsilon_{\Delta S}$, como em (04), o algoritmo executa as etapas anteriores.

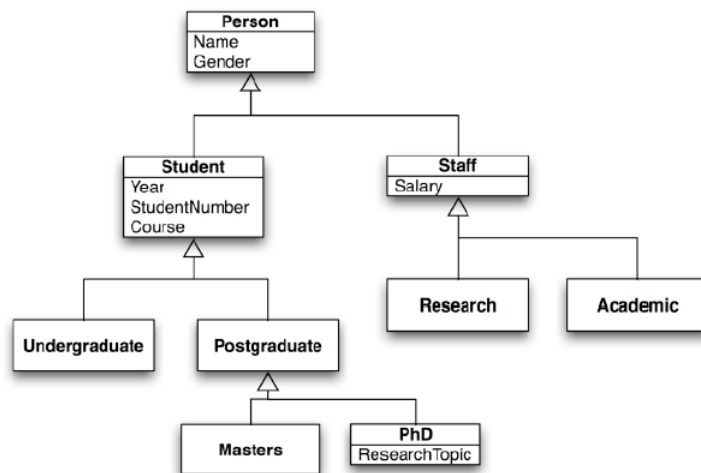
$$\max_{p \in \{a,b,c\}} \left(\left| V_{i,p}^k (I_{i,p}^k)^* + \sum_{j \in \{a,b,c\}} Y_{i,j}^{sh} V_{i,j}^k - S_{i,p} \right| \right) \quad (04)$$

Em geral, os dados de entrada de um algoritmo de cálculo de fluxo de potência correspondem as potências complexas nas barras e a matriz de impedâncias das linhas de distribuição. A resposta do algoritmo é a tensão nas barras e a corrente fluindo pelas linhas.

2.2 A Linguagem de Modelagem Unificada (UML)

A linguagem UML foi concebida com o conceito de classes e subclasses. É importante mencionar que a subclasse de uma classe tem as mesmas características da classe e, além disso, pode ter suas próprias características. A seguir, são mostrados exemplos de Classes e subclasses e da Herança entre as mesmas.

Figura 04: Classes, subclasses e herança (linguagem UML).



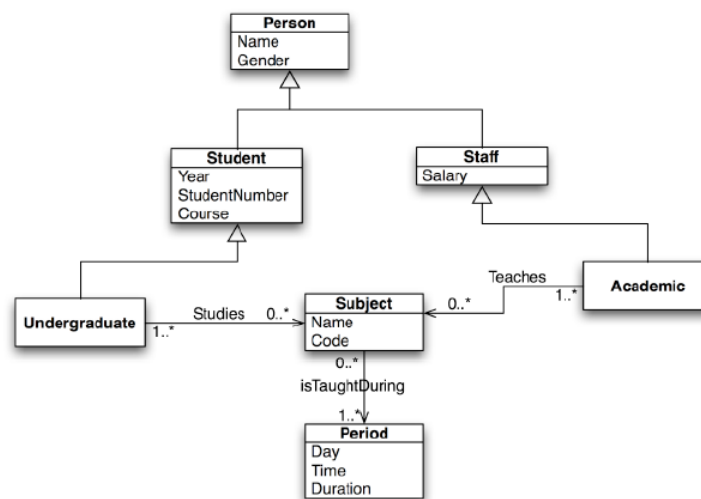
Fonte: McMORRAN, 2007.

Como pode-se observar no exemplo acima, a classe principal é a “*Person*”, sendo que a mesma possui os atributos “*Name*” e “*Gender*”. As subclasses dessa classe são mostradas abaixo, sendo “*Student*” e “*Staff*”. As subclasses mencionadas herdam os atributos de “*Person*”, ou seja, possuem as características “*Name*” e “*Gender*” e além dessas, “*Student*” possui os atributos “*Year*”, “*StudentNumber*” e “*Course*”, os quais não fazem parte da classe “*Person*” e nem da subclasse “*Staff*”.

Também, “*Staff*” possui o atributo “*Salary*”, que é único dessa subclasse, herdando os atributos da classe “*Person*”. Vale ressaltar que uma subclasse pode não possuir nenhuma característica própria, somente herdar características de outras, como é o caso de “*Research*”, que herda todas as características de “*Person*” e “*Staff*”, mas não tem características próprias.

Além da relação de herança, há também uma chamada Associação, que é um pouco diferente. Para melhor entendimento, um exemplo será abordado como base da explicação da Figura 05 que demonstra algumas dessas associações.

Figura 05: Associação (linguagem UML).

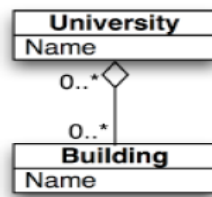


Fonte: McMORRAN, 2007.

As classes “*Subject*” e “*Period*” não herdam as características de “*Person*”, visto que elas só possuem relação com “*Undergraduate*” e “*Academic*”. Uma relação de associação pode ser descrita de seguinte forma: a seta que sai de “*Undergraduate*” e chega em “*Subject*” indica que o estudante universitário estuda a matéria, pois está escrito “*Studies*” na seta. Ou seja, quem está na ponta da seta é o objeto e quem está do outro lado é o sujeito, sendo a ação descrita na seta. Os números que aparecem na ponta da seta e no começo da mesma são as multiplicidades. No exemplo citado, pode-se observar que o número “0..*”, indica que um estudante pode ter zero matérias sendo cursadas ou mais. O número “1..*”, indica que uma matéria tem um estudante ou mais matriculados.

Outro exemplo de relação entre as classes é a Agregação. Para exemplificar tal relação, também será utilizada uma imagem, como mostrada na Figura 06.

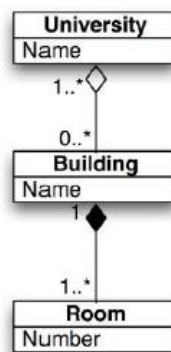
Figura 06: Agregação (linguagem UML).



Fonte: McMORRAN, 2007.

A agregação consiste em uma relação que mostra que as classes envolvidas não são completamente interdependentes. Na Figura 06, é possível notar que uma universidade e um edifício são agregados, ou seja, um edifício pode fazer parte de zero ou mais universidades, e que a universidade pode conter zero ou mais edifícios (no caso de ser um ensino à distância). Dessa forma, há uma relação de agregação, que é uma relação mais forte que uma simples associação, pelo fato de normalmente uma classe depender da outra para existir, mas as classes envolvidas não são completamente interdependentes, podendo existir sem a presença uma da outra. Por fim, apresenta-se a relação denominada Composição, mostrada na Figura 07.

Figura 07: Composição (linguagem UML).



Fonte: McMORRAN, 2007.

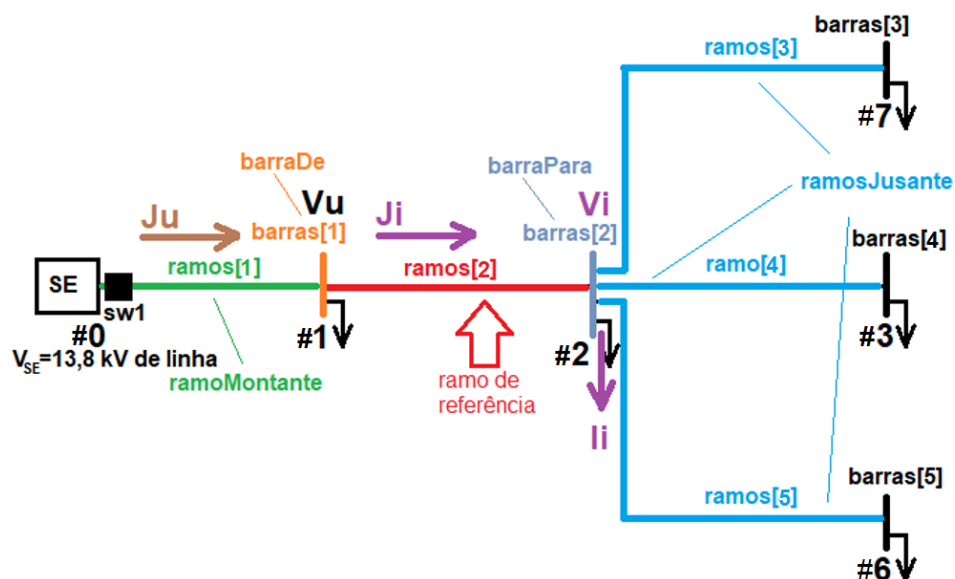
Seguindo a linha de raciocínio da Agregação, a Composição se assemelha bastante à tal relação, entretanto, pode ser entendida como uma relação mais forte, uma relação de total dependência entre as classes. Por exemplo, a relação entre as classes “*Building*” e “*Room*” é de Composição. Observando a Figura 07 e o índice de multiplicidade, indica que um quarto, uma sala, um espaço, necessita ter uma construção e somente uma. Não é possível um quarto ter mais de uma construção, ou seja, dois prédios diferentes terem o mesmo quarto. Além disso, um prédio, ou uma

construção pode ter um ou mais quartos, ou salas. Dessa forma, entende-se como uma relação mais forte.

2.3 Modelo de Dados e Algoritmo de Percurso (DFS)

O algoritmo de cálculo de fluxo de potência faz uso da topologia das redes de distribuição para atualizar as correntes através das linhas e tensões nas barras em cada iteração. Na varredura *backward*, a atualização do fluxo de corrente nas linhas depende das correntes fluindo nas linhas à jusante. Na varredura *forward*, a atualização da tensão nas barras depende da tensão na barra à montante. Tradicionalmente, a informação de topologia das redes de distribuição é armazenada em uma lista de adjacências, em que as barras e linhas, ou ramos, são organizados sistematicamente. Dessa forma, percorrendo a lista do primeiro elemento em direção ao último, obtém-se a varredura *forward*. No percurso reverso, a varredura *backward*. A Figura 08 mostra a topologia de uma rede como 6 barras.

Figura 08: Topologia de uma rede de 6 barras.



Fonte: Própria do Autor.

Para a rede de 6 barras, a lista de adjacências é determinada conforme a Tabela 01, onde a primeira linha indica a ordem de organização de cada elemento e a segunda coluna a identificação de cada barra. Assim na varredura *backward*, o valor de i é iniciado em $i=6$ e é decrementado em uma unidade até $i=1$. Assim, é possível atualizar o fluxo de corrente nos ramos pois as correntes à jusante são sempre calculadas primeiramente. Similarmente, na varredura *forward*, o valor de i é iniciado

em $i=1$ e é incrementado em uma unidade até $i=6$. Isso permite a atualização das tensões nas barras pois as tensões à montante são sempre calculadas primeiramente.

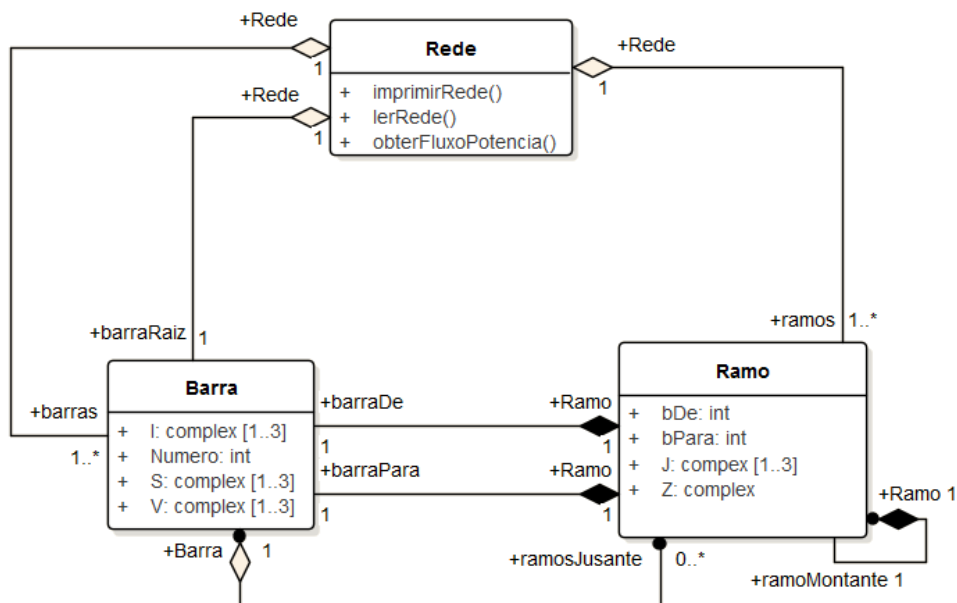
Tabela 01: Lista de adjacências para a rede de 6 barras.

i	barras[i]		J_i		V_i
1	#1	Backward ↑	$J_{0,1} = J_{1,2} + I_{\#1}$	Forward ↓	$V_{\#1} = V_{\#0} - Z_{0,1} * J_{0,1}$
2	#2		$J_{1,2} = J_{2,6} + J_{2,3} + J_{2,7} + I_{\#2}$		$V_{\#2} = V_{\#1} - Z_{1,2} * J_{1,2}$
3	#7		$J_{2,7} = I_{\#7}$		$V_{\#7} = V_{\#2} - Z_{2,7} * J_{2,7}$
5	#3		$J_{2,3} = I_{\#3}$		$V_{\#3} = V_{\#2} - Z_{2,3} * J_{2,3}$
6	#6		$J_{2,6} = I_{\#6}$		$V_{\#6} = V_{\#2} - Z_{2,6} * J_{2,6}$

Fonte: Própria do Autor.

Em termos matemáticos, a topologia das redes de distribuição pode ser representada com o auxílio da teoria de grafos. As barras correspondem aos vértices, $\mathbf{v}$, enquanto os ramos correspondem às arestas, $\mathbf{e}$. Dessa forma uma rede de distribuição é dada por uma grafo $G(\mathbf{v}, \mathbf{e})$. Neste contexto, a travessia pelo grafo é determinada por algoritmos de percurso, como o *deep first search* (dfs). Esse algoritmo é naturalmente recursivo e sua implementação é facilitada quando os dados das redes de distribuição são modelados seguindo os conceitos de classes e relações definidos pela UML. A Figura 09 mostra o diagrama de classes que define o modelo de dados da rede de distribuição.

Figura 09: Diagrama de classes do modelo de dados para redes de distribuição.



Fonte: Própria do Autor

No modelo de dados, verifica-se a existência de três classes “*Rede*”, “*Barra*” e “*Ramo*”. Adicionalmente, existem as relações de Agregação e Composição entre as classes. Uma rede de distribuição está agredada a um número finito de barras e ramos, ao passo que um ramo é composto por uma barra de origem “*barraDe*” e outra de destino “*barraPara*”. Consequentemente, uma barra é composta por nenhum ou um número finito de ramos à jusante “*ramosJusante*”.

Na Figura 08, apontando para o *ramos[2]*, tem-se a *barraDe=barras[1]* e *barraPara=barras[2]*. Os ramos à jusante vem do vetor em *barras[2]* que é igual à *ramosJusante = {ramos[3], ramos[4] e ramos[5]}*. A utilização do modelo de dados da rede de distribuição em UML facilita a implementação do algoritmo de percurso em profundidade, como apresentado na Figura 10.

Figura 10: Pseudocódigo do algoritmo de percurso em profundidade, ou dfs.

```

1  Início dfs(ramo)
2       $V(\text{barraPara}) = V(\text{barraDe}) - Z(\text{ramo}) * J(\text{ramo})$ 
3       $I(\text{barraPara}) = (S(\text{barraPara}) / V(\text{barraPara})) *$ 
4       $J(\text{ramo}) = I(\text{barraPara})$ 
5      Para cada ramoJusante de barraPara
6          dfs(ramosJusante)
7           $J(\text{ramo}) = J(\text{ramo}) + J(\text{ramoJusante})$ 
7      Fim Para cada
8  Fim dfs

```

Fonte: Própria do Autor

Para o cálculo do fluxo de potência, o algoritmo *dfs(.)* faz a atualização da tensão na barra no início da sequencia de cálculos e, somente, faz a atualização do fluxo de corrente no ramos após a função *dfs(.)* ser chamada recursivamente. Como a topologia das redes de distribuição é radial, partindo da barra da subestação, ou barra raiz, é garantido que toda a rede é percorrida no cálculo do fluxo de potência.

Adicionalmente à facilidade de implementação dos algoritmos de travessia em grafos, a utilização do modelo da rede de distribuição em UML apoia o entendimento da extensão do CIM para distribuição. A compreensão do CIM é fundamental aos estudos da *Smart Grid*, uma vez que os padrões IEC 61970 e IEC 61968 são reconhecidos com elementos chaves para a realização das *Smarts Grids*.

3 Modelo de Informação Comum para Distribuição (IEC 61968)

3.1 Definição do CIM

O CIM é um modelo abstrato que representa todos os componentes de uma concessionária de energia elétrica e define classes e atributos para esses componentes bem como para suas relações usando a notação da linguagem de modelagem unificada (UML) que pode ser facilmente convertida em linguagem de marcação extensível (XML) (SHAHIDEHPOUR & WANG, 2003). Usando o CIM, a informação de interesse comum pode ser definida num modelo comum para o qual aplicativos independentes convertem seus projetos locais.

O CIM, por fornecer uma representação padronizada dos modelos do sistema elétrico, tal como a combinação de múltiplos modelos de sistemas elétricos independentes num simples modelo interno unificado, facilita a integração de aplicativos dos EMSs (*Energy Management System*) desenvolvidos por diferentes fabricantes, ou entre EMSs e outros sistemas que operam diferentes aspectos do sistema elétrico, tais como a geração ou o gerenciamento da distribuição. Isso é acompanhado pela definição das interfaces padronizadas de programação de aplicativo permite que tais aplicativos de gerenciamento acessem dados públicos e troquem informações independentemente da representação interna dessa informação.

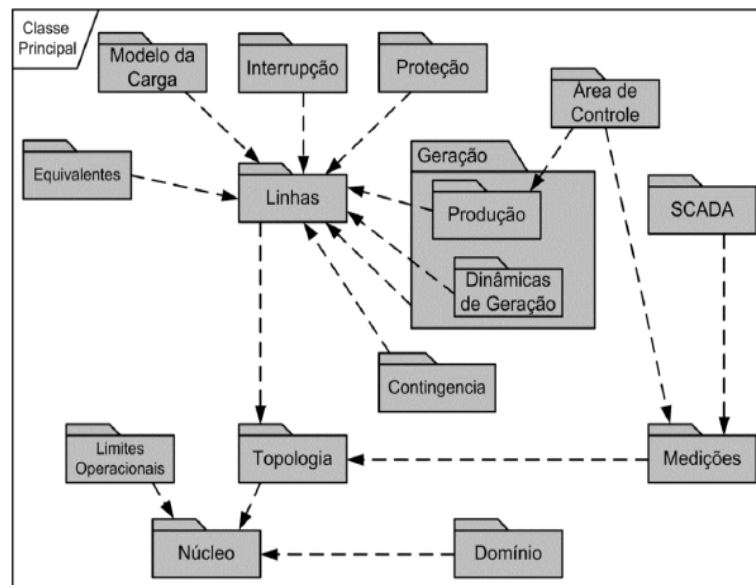
A utilização do CIM vai além dos aplicativos do EMS, pois esse padrão deve ser entendido como uma ferramenta para integração de qualquer domínio onde um modelo comum do sistema elétrico é necessário para facilitar a interoperabilidade e compatibilidade entre aplicativos e sistemas independentes de qualquer implementação particular. Por exemplo, o CIM é constituído por um conjunto de séries de padrões nomeados como IEC 61970, IEC 61968 e IEC 62325 onde cada série tem suas abordagens e perspectivas particulares enfatizando respectivamente, nas interfaces de programação de aplicativos do sistema de gerenciamento de energia, aplicação da integração nas concessionárias de energia elétrica e estrutura para comunicação do mercado de energia (USLAR et al., 2012).

3.1.1 Pacotes do CIM

Geralmente, um pacote do CIM é usado para agrupar elementos de modelos relacionados. Cada pacote contém uma quantidade de classes definidas e um ou mais

diagramas mostrando graficamente tanto as classes quanto seus relacionamentos. A utilização do conceito de pacotes torna o CIM fácil de projetar, compreender e revisar. Além disso, pacotes adicionais devem ser definidos conforme a necessidade para suportar novas visões do modelo do sistema elétrico.

Figura 11: Pacotes do CIM de nível superior do padrão IEC 61970-301.



Fonte: Adaptado de (IEC 61970-301, 2011).

Na Figura 11 é apresentado um compreensivo CIM fracionado em vários pacotes onde as relações de dependência são indicadas pelas linhas tracejadas com a cabeça da seta apontando para o pacote provedor. Na norma IEC 61970-301 são definidos e descritos todos os pacotes, por exemplo:

- 1) Núcleo: contém as entradas básicas que são compartilhadas por todos os aplicativos;
- 2) Topologia: modela a conectividade que é a definição física de como os equipamentos elétricos estão juntamente conectados;
- 3) Linhas: modela a informação das características elétricas das redes de distribuição e transmissão;
- 4) Interrupção: modela a informação da configuração de rede atual e planejada;
- 5) Proteção: modela a informação dos equipamentos de proteção como os relés;

- 6) Medição: contém as entradas que descrevem a dinâmica de troca de dados medidos entre os aplicativos;
- 7) Modelo de carga: fornece os modelos dos consumidores de energia e cargas do sistema elétrico;
- 8) Produção: fornece os modelos de vários tipos de geradores e modelos das informações para o custo de produção;
- 9) Dinâmicas de Geração: fornece os modelos para máquinas primárias necessárias para simulação e propósitos educativos;
- 10) Domínio: é um dicionário de dados das variáveis e unidades que definem os tipos de dados para atributos que podem ser usados por qualquer classe em qualquer outro pacote;
- 11) SCADA: contém as classes que modelam os pontos de dados localizados nas unidades remotas.

Cada pacote CIM contém um número de classes definidas que descrevem as características de um componente encontrado no sistema de energia elétrica real usando atributos.

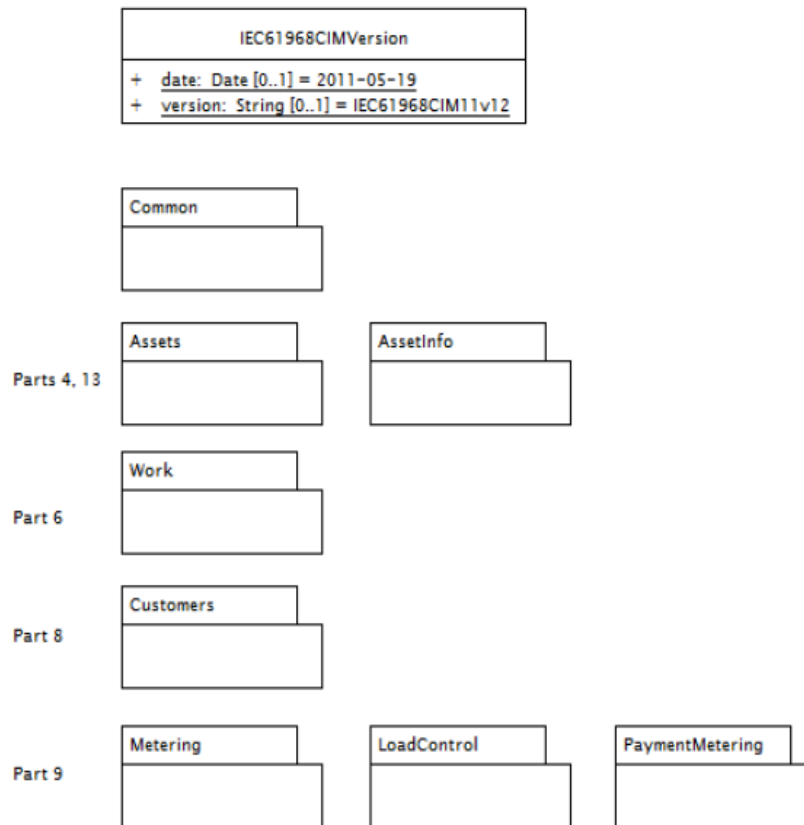
3.2 Pacotes de Extensões do CIM para Distribuição

O modelo CIM básico, conforme definido pela IEC 61970-301, define um conjunto de subpacotes que inclui Domínio, Linhas, Topologia, Medições e Núcleo, bem como vários outros. As partes 3 a 9 do IEC 61968 e IEC 61968-13 são necessárias para extensões do modelo CIM, conforme especificado pela IEC 61970-301, a fim de descrever os objetos e propriedades associadas que são relevantes para modelagem de distribuição e informações de trocas aplicáveis, não somente a sistemas típicos de sala de controle, mas também com empresas e sistemas parceiros, como sistemas e dispositivos de medição. Portanto, assim como os aplicativos no domínio de distribuição usam classes do CIM como base, os aplicativos fora das classes de uso de domínio de distribuição também os usam (por exemplo, extensões de mercado em IEC 62325-301).

A Figura 12 mostra os pacotes definidos pelos IEC 61968-11 de extensão de CIM para distribuição. Notas no lado esquerdo da figura, indicam a parte do IEC 61968 que tem conduzido a definição de classes dentro do respectivo pacote. Observe-se, no entanto, que diferentes documentos nas séries do IEC 61968, bem como diferentes

aplicativos que normalmente usam CIM para troca de informações e definem cargas úteis de mensagens usando classes de vários pacotes.

Figura 12: Pacotes de nível superior de extensões do CIM para distribuição (DCIM).



Fonte: IEC 61968-11.

Na seção 6 da norma IEC 61968-11, há a especificação para cada um dos pacotes CIM de distribuição (DCIM).

3.3 Conceitos e Exemplos de Modelagem de Rede

3.3.1 Modelagem de Conectividade e Fase

O modelo de conectividade do DCIM é idêntico ao modelo de conectividade do CIM base, ou seja, ele depende de classes como “*ConductingEquipment*”, “*Terminal*” e “*ConnectivityNode*” (na norma IEC 61970-301, subseção 4.4.4 com o modelo de conectividade e subseção 4.4.8 com o modelo de fase do condutor). Com o atributo terminal de fase, informação de cada fase pode ser expresso para uma rede de distribuição multifásica. Também, permite ao “*ConductingEquipment*” representar os casos típicos de incompatibilidade de fase da rede. Nas redes de distribuição, existem

alguns casos raros em que um interruptor normalmente aberto pode ser conectado à fase A de um lado e à fase B do outro lado.

A Figura 13 dá uma visão geral das classes relacionadas as fases usadas normalmente para rede de distribuição, sua modelagem e aplicações.

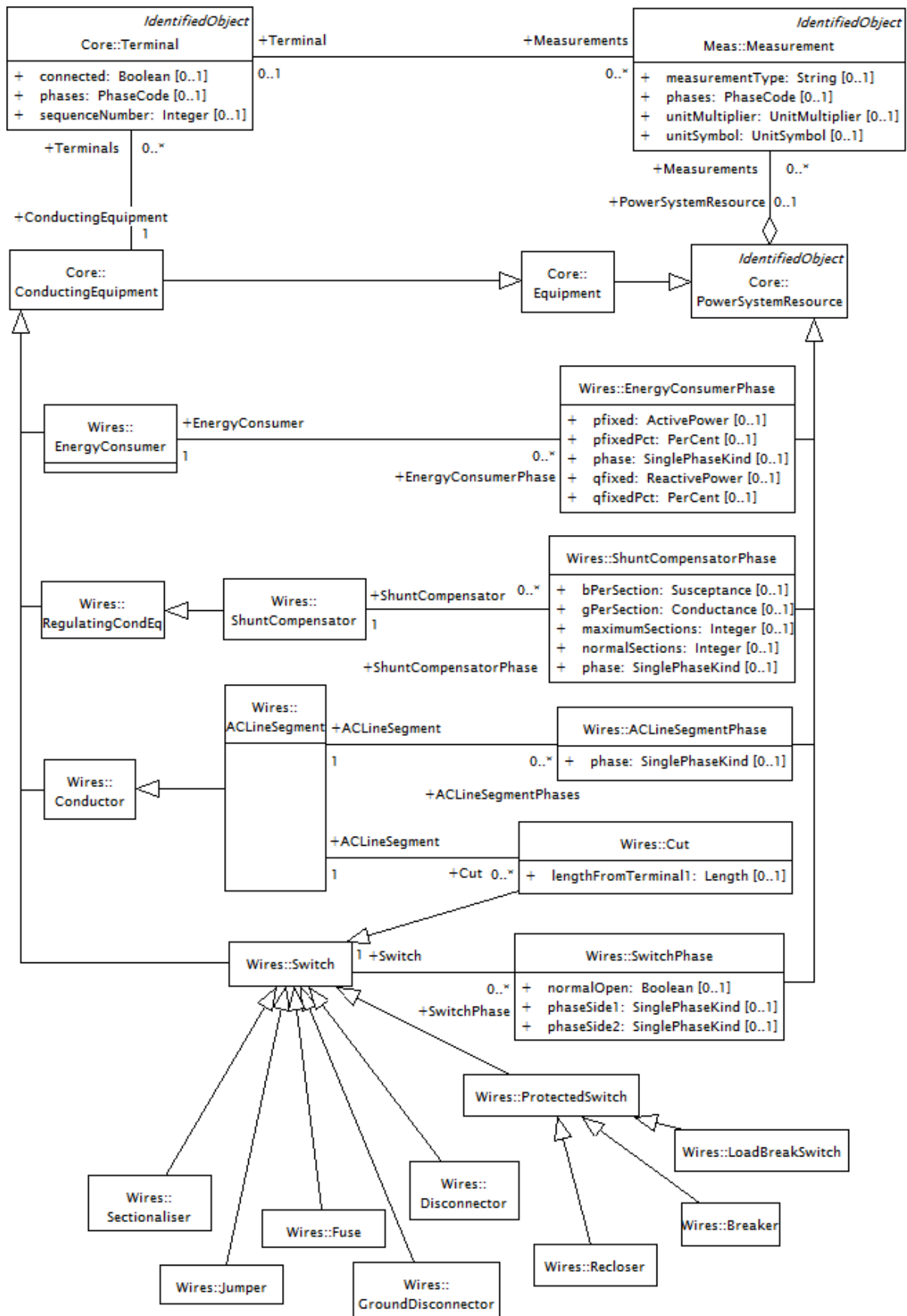
Em redes de distribuição, alguns dos dispositivos podem ter diferentes características elétricas e operacionais em cada fase. Por exemplo, um “*Switch*” trifásico (seja um “*Breaker*”, um “*Fuse*”, ou qualquer outra especialização de “*Switch*”) pode ser composto de três componentes físicos separados por chave, uma para cada fase. Na maioria dos casos, as três chaves individuais têm as mesmas propriedades físicas. Se tal chave for operado em grupo (ou seja, todas as chaves físicas têm o mesmo estado operacional normal e/ou estado operacional em tempo real), pode ser modelado como uma única instância de “*Switch*”. No entanto, pode acontecer que as fases individuais tenham diferentes aspectos físicos e propriedades. Por exemplo, no caso de um “*Fuse*”, pelo menos teoricamente, diferentes classificações de fusível podem ser usadas em cada fase. Além disso, para interruptores não agrupados, pode haver casos em que o estado operacional normal e/ou em tempo real de cada fase pode ser diferente. Este caso é então modelado como uma instância de “*Switch*” contendo três instâncias de “*SwitchPhase*”, uma para cada fase. O ponto importante é que há uma instância de “*Switch*” em cada caso, e essa instância pode ser referenciada a partir de diferentes contextos (por exemplo, configuração, operações).

3.3.2 Cargas Monofásicas e Desequilibradas

A Figura 14 mostra as classes disponíveis para modelar cargas de distribuição, que muitas vezes são desequilibradas entre as três fases em um local. Em alguns casos, as cargas monofásicas e bifásicas devem ocorrer.

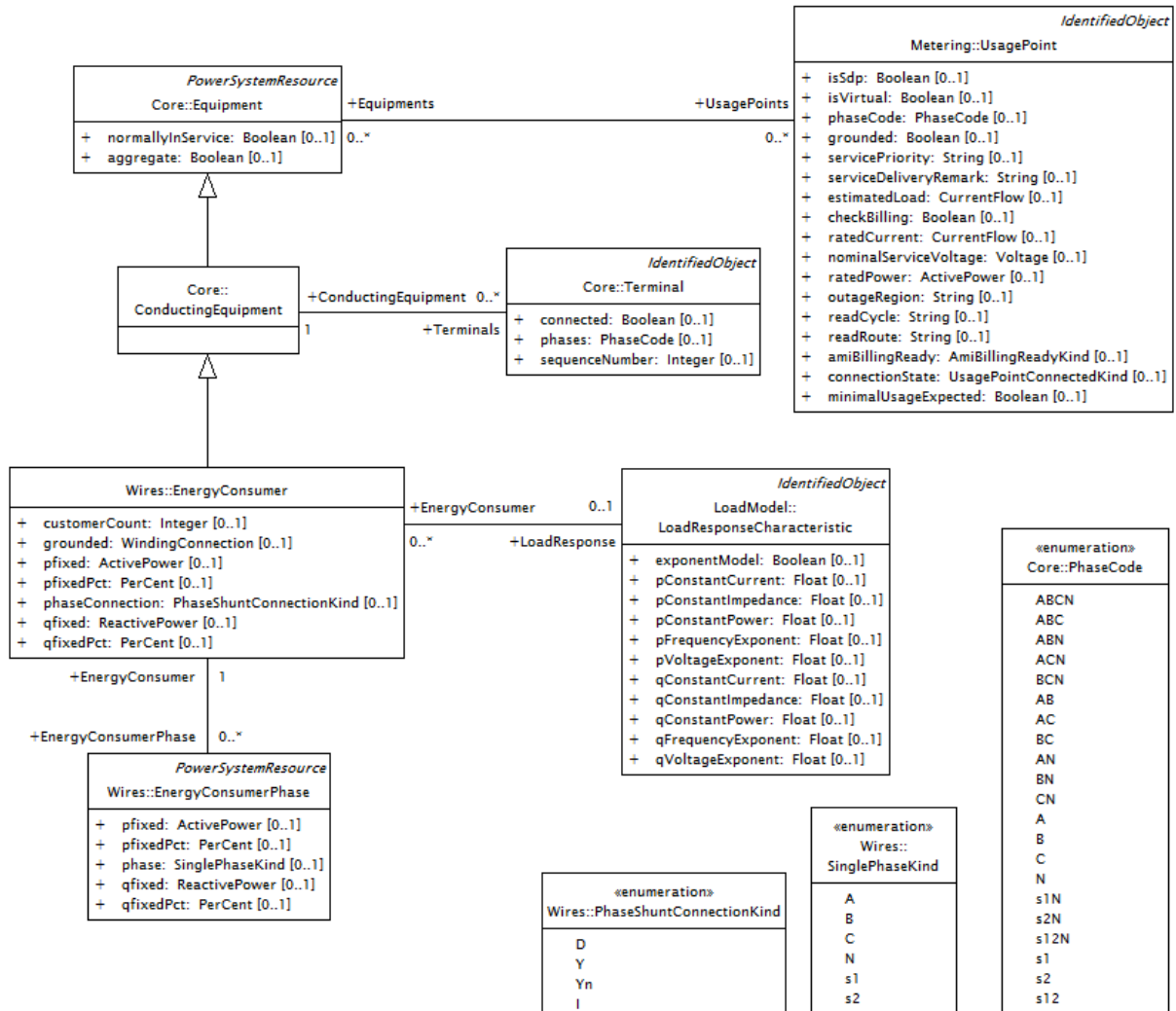
A classe “*EnergyConsumer*” deve ser usada para instanciar o modelo de carga, que pode opcionalmente ser associado a um medidor por meio do “*UsagePoint*”. A classe “*EnergyConsumer*” herda atributos de “*ConductingEquipment*” que está associado ao “*Terminal*”. A classe “*Terminal*” tem atributo de fases, que pode ser atribuído pela enumeração “*PhaseCode*”. Por exemplo, o valor enumerado *AN* descreve uma carga monofásica de A ao neutro, *BC* descreve uma carga monofásica entre as fases B e C, *ABCN* descreve uma carga trifásica conectada em estrela aterrada, *ABC* descreve uma carga trifásica conectada em delta, etc.

Figura 13: Modelagem de fase do DCIM.



Fonte: IEC 61968-11.

Figura 14: Modelo de carga no DCIM.



Fonte: IEC 61968-11.

3.3.3 Segmentos da Linha de Distribuição

A Figura 15 mostra as classes disponíveis para modelar segmentos de linha CA (i.e, condutores). Existem três maneiras de descrever os parâmetros de impedância de um “*ACLineSegment*” usando apenas o pacote de condutores, e uma quarta via utilizando o pacote “*AssetInfo*”.

A fim de representar uma linha trifásica monofásica, bifásica ou desequilibrada usando cabos diferentes, uma instância de “*ACLineSegmentPhase*” deve ser associada a cada fase ou cabo neutro do modelo. Os valores de atributo de fase aplicáveis são A, B, C para linhas trifásicas, S1 e S2 para circuitos secundários monofásicos e N para casos em que o cabo de neutro é modelado. Cada “*ACLineSegmentPhase*” tem uma associação opcional para “*WireInfo*”, mas todas as outras características vêm de seu “*ACLineSegment*” associado.

Existem três maneiras de especificar impedâncias de linha usando apenas o pacote de modelo Linhas do padrão IEC 61970-301:

- Os atributos `r`, `r0`, `x`, `x0`, `bch`, `bch0`, `gch` e `bch0` do `ACLineSegment` podem ser usados em um modelo balanceado;

- Fornecer uma associação para “*PerLengthSequenceImpedance*”. Esta classe modela um catálogo elétrico, ou uma biblioteca de "códigos de linha" que têm impedâncias de sequência e carregamento de linha por unidade de comprimento. Vários “*ACLineSegments*” podem compartilhar uma instância de “*PerLengthSequenceImpedance*” e calcular a impedância com seu atributo de comprimento herdado do “*Conductor*”;
- Fornecer uma associação para “*PerLengthPhaseImpedance*”, que faz referência a matrizes simétricas pré-calculadas $N \times N$ de impedância e admitância por unidade de comprimento. Esta classe também modela um catálogo elétrico e o atributo de comprimento herdado é obrigatório. O atributo *conductorCount* deve ser pelo menos igual ao número de fases, mas pode ser maior se o neutro (ou outro condutor aterrado) é incorporado na matriz. “*PhaseImpedanceData*” implementa os elementos da matriz $\mathbf{Z}$ e $\mathbf{Y}$, armazenados na ordem das colunas. Os atributos *r*, *x* e *sequenceNumber* são todos obrigatórios, enquanto *b* é opcional. Apenas os elementos do triângulo inferior são armazenados, de modo que uma matriz 3×3 tem 6 elementos (ou seja, instâncias de “*PhaseImpedanceData*”). As linhas e colunas da matriz devem estar em ordem de fase. Um referenciador de “*ACLineSegment*” deve atribuir a linha 1 à primeira fase presente na lista de pedidos (A, B, C, s1, s2, N), linha 2 para a próxima fase presente e assim por diante.

3.3.4 Uso de Sequência de Impedâncias (Caso Balanceado)

As impedâncias de sequência positiva e zero podem ser transferidas por meio dos atributos *r*, *x*, *r0* e *x0* em “*PerLengthSequenceImpedance*” associados a uma instância de “*ACLineSegment*”. Os atributos *bch*, *b0ch*, *gch* e *g0ch* geralmente não são importantes para linhas de distribuição aéreas. Para três fases, isso descreve uma linha trifásica balanceada ou perfeitamente transposta. Os atributos em “*PerLengthSequenceImpedance*” são expressos em unidades por comprimento, então é necessário multiplicar seus valores pelo atributo de comprimento do “*Conductor*”.

A matriz de impedância tem elementos complexos da diagonal, Z_s , e fora da diagonal, Z_m . Para uma linha monofásica, os atributos a serem transferidos são:

$$Z_1 = Z_0 = Z_s \quad (05)$$

Para uma linha bifásica ou trifásica, os atributos a serem transferidos são:

$$Z_1 = Z_s - Z_m \quad (06)$$

$$Z_0 = Z_s - (n - 1)Z_m \quad (07)$$

onde n é o número de fases. Após o recebimento de r , x , $r0$ e $x0$, a linha bifásica balanceada ou matriz de impedância trifásica é construída a partir de:

$$Z_s = (Z_0 + (n - 1)Z_1)/n \quad (08)$$

$$Z_m = (Z_0 - Z_1)/n \quad (09)$$

3.3.5 Uso de Parâmetros Físicos

Para linhas aéreas, um modelo físico pode ser transferido por meio de referência a uma instância de “*WireSpacingInfo*”, que está associada a outras classes mostradas na Figura 15. Esta irá auxiliar o cálculo de uma matriz de impedância de fase desequilibrada através do uso de Equações de Carson ou um método equivalente para lidar com o retorno pelo terra.

3.4 Interfaces de Variáveis de Estado

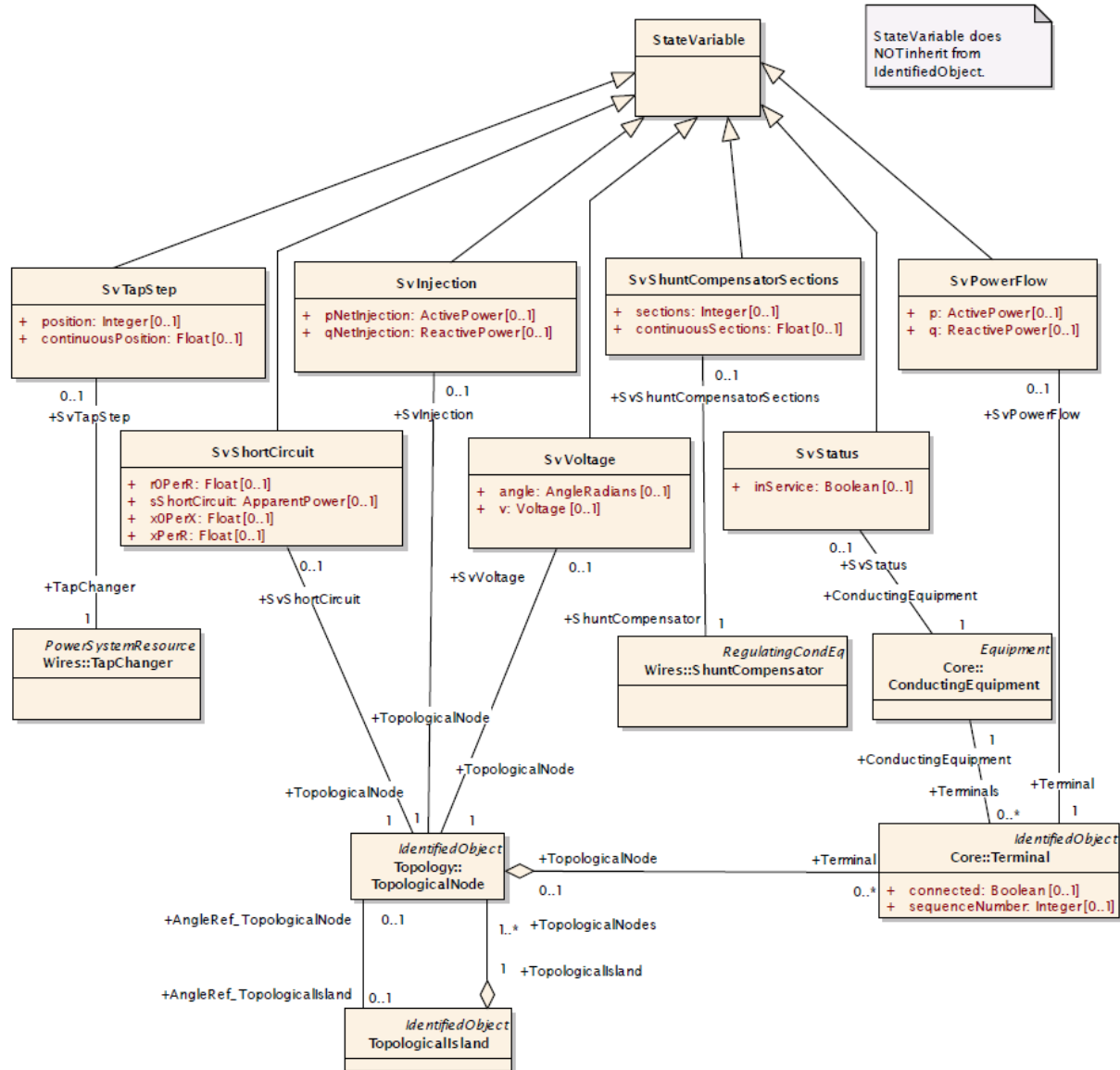
Seu objetivo é fazer uma solução de estado estacionário, tal como é criado pelo estimador de estado ou fluxo de potência, disponível para outros aplicativos. O modelo de variáveis de estado é mostrado na Figura 16.

A solução de estado estacionário é baseada na classe “*StateVariable*” que é especializada em um conjunto de variáveis de estado, conforme mostrado na Figura 16. Observe que “*StateVariable*” não herda atributos de “*IdentifiedObject*”, pois é totalmente identificado pelo objeto ao qual está anexado.

A classe “*SvPowerFlow*” representa o fluxo em um terminal de qualquer equipamento condutor. Quando condições iniciais estão sendo descritas, representaria os valores de injeções terminais individuais como carga e geração. Quando estados resolvidos estão sendo descritos, os valores reais finais fornecidos

são injeções de equipamentos e, dependendo da circunstância, os fluxos resolvidos em terminais de ramificação podem ser fornecidos.

Figura 16: Modelo de solução de variáveis de estado CIM.



Fonte: IEC 61970-456 (IEC, 2018)

A classe “*SvInjection*” representa a injeção total em um “*TopologicalNode*”, ou seja, é a soma de todos os “*SvPowerFlows*” injetáveis. “*SvInjection*” define uma injeção adicional não física em um “*TopologicalNode*”. Em outras palavras, esta é uma injeção que não foi associada a uma parte particular de equipamento de condução. “*SvInjection*” pode ser atribuída a cada “*TopologicalNode*”, mas isso não é necessário. Se é fornecido em um caso resolvido, representa o termo de balanceamento na

equação da barra. Em outras palavras, “*SvInjection*” é igual a soma dos fluxos em todos os terminais conectados ao “*TopologicalNode*”. Para a maioria dos barramentos de fluxo de potência resolvidos, esses valores seriam sempre menores que a tolerância da solução e podem ser omitidos simplesmente porque são insignificantes. Existem, no entanto, outras circunstâncias em que os termos “*SvInjection*” são significativos:

- “*SvInjection*” pode ser usado para representar os fluxos na fronteira da região resolvida. Nesse tipo de caso de uso, as regiões de uma solução de interconexão podem ser relatadas individualmente, com o termo “*SvInjection*” representando fluxos para outras partes da interconexão. Se uma parte receptora tentar juntar toda a solução, elas iriam normalmente verificar as “*SvInjections*” em ambos os lados de um ponto limite para consistência, e em seguida, ignorar ambos em análises posteriores;
- Em um resultado do estimador de estado, “*SvInjection*” pode relatar o residual da injeção. Isso pode ser usado para evitar a atribuição heurística de injeção residual para cargas e geradores, e fornece um local para reportar resíduos em barramentos de injeção zero;
- Em fluxos de potência não resolvidos, “*SvInjection*” pode reportar os barramentos nos quais há incompatibilidade acima da tolerância.

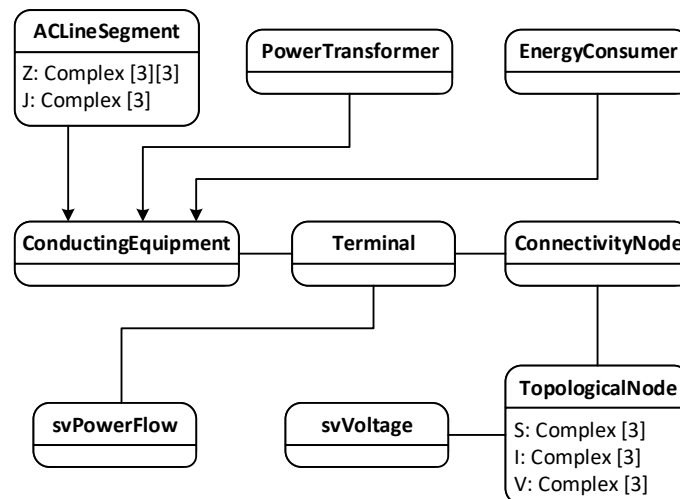
As variáveis de estado são identificadas pelos objetos aos quais pertencem e seu tempo de vida depende desse objeto, ou seja, os objetos “*TopologicalNode*”, “*ConductingEquipment*”, “*Terminal*”, “*TapChanger*” etc. Os IDs da variável de estado devem ser únicos em uma mensagem e não podem ser correlacionados entre mensagens.

3.5 Atributos Adicionais para Cálculo do Fluxo de Potência

A adição da biblioteca com as classes padronizadas pelo CIM/DCIM permite a leitura do arquivo XML com as informações das redes de distribuição. Os atributos padronizados das classes são estritamente utilizados no intercâmbio de dados entre diferentes aplicativos. Contudo, ferramentas de análise do SEE, como o algoritmo de cálculo de fluxo de potência, usam variáveis específicas para resolver os estados do SEE. Por exemplo, a matriz de impedância de linha é utilizada na atualização das tensões nas barras da rede de distribuição, como dado em (03).

Essas variáveis específicas podem ser adicionadas como atributos privados nas classes padronizadas pelo CIM. Esses atributos privados não são envolvidos no intercâmbio de dados. Na Figura 17 é apresentado um diagrama com algumas classes padronizadas com a adição de alguns atributos específicos do algoritmo de cálculo do fluxo de potência.

Figura 17: Diagrama de classes padronizado com atributos adicionais.



Fonte: Própria do Autor.

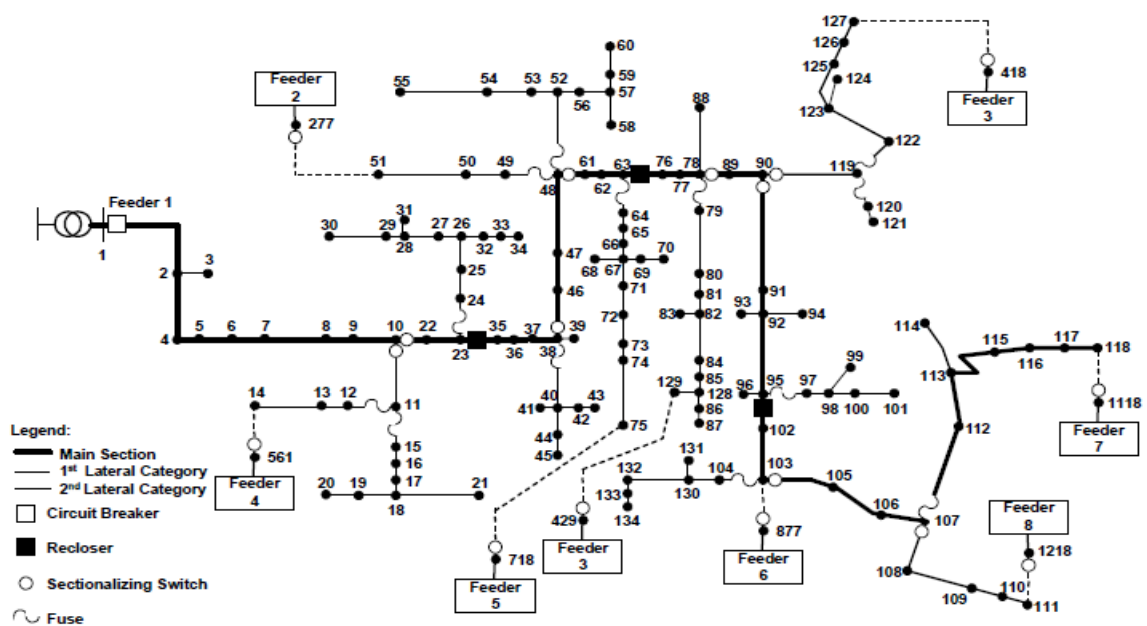
Na classe “*ACLineSegment*” são adicionados dois atributos complexos. **Z** representa a matriz de impedância da linha e **J** o vetor com os fluxos de corrente através da linha por fase. Similarmente, na classe “*TopologicalNode*” são adicionados os vetores complexos **S**, **I** e **V** correspondentes à potência, injeção de corrente e tensão trifásica, respectivamente, na barra. Esse procedimento é suficiente para o cálculo do fluxo de potência em uma rede de distribuição primária tendo o transformador de distribuição como uma carga da rede.

4. Resultados

4.1. Sistema Teste de 135 Barras

A Figura 18 representa o diagrama unifilar de um alimentador de distribuição prático de uma concessionária de energia elétrica no Brasil. É uma rede de distribuição aérea típica com magnitude da tensão de linha de 13,8 kV na barra de subestação. O alimentador é trifásico e possui 135 barras.

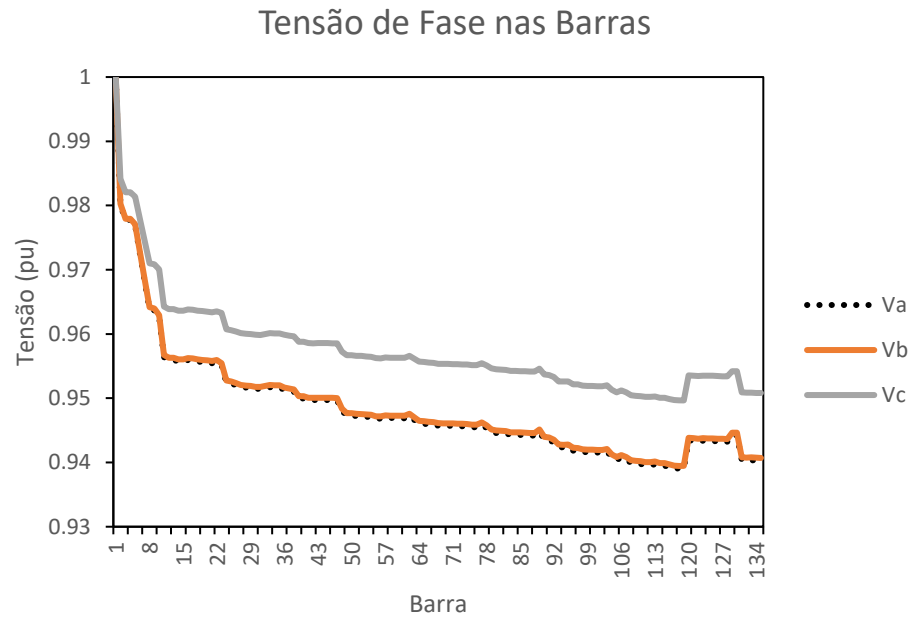
Figura 18: Diagrama unifilar da rede de distribuição com 135 barras.



Fonte: LAPSSE-UNESP, Ilha Solteira.

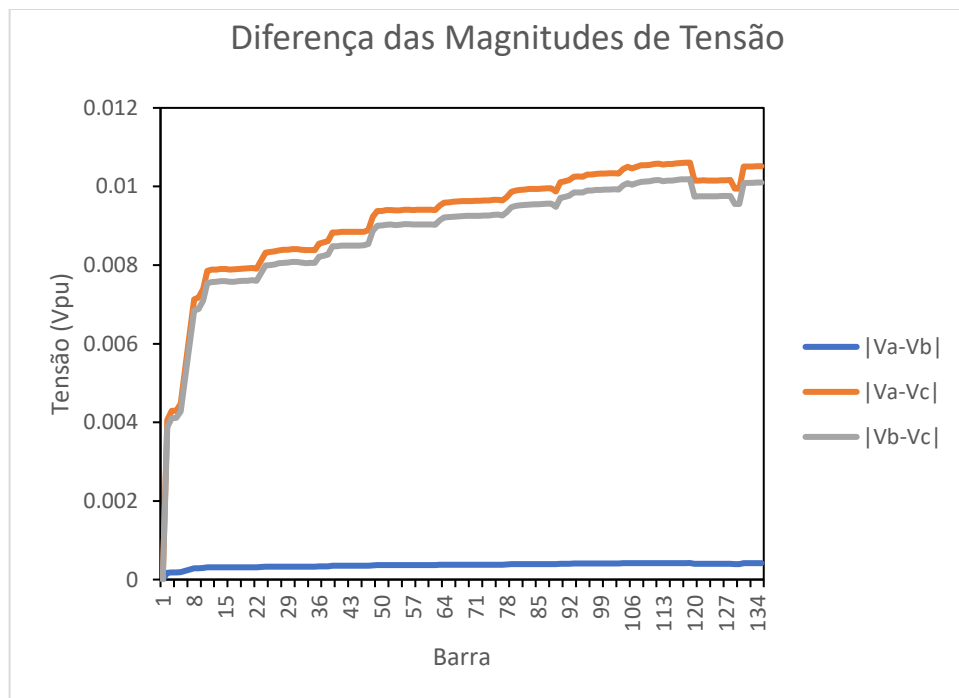
Essa rede de distribuição é utilizada para verificar a resposta do algoritmo de cálculo do fluxo de potência, como apresentado no capítulo 2. O algoritmo foi implementado usando uma linguagem de programação genérica. No diagrama de classes, ver Figura 09, a classe “Rede” possui o método *obterFluxoPotência(.)* que executa o algoritmo iterativo para determinação dos estados da rede de distribuição. Em adição, o método *lerRede(.)* constrói os objetos referentes às barras e ramos usando um arquivo xml com as informações de entrada, como no Anexo. O terceiro método *imprimirRede(.)* cria um arquivo de texto com os valores das tensões nas barras e correntes nos ramos calculado pelo algoritmo de fluxo de potência, como no Apêndice. Os resultados obtidos são sintetizados e mostrados nos gráficos das Figuras 19, 20, 21, 22 e 23.

Figura 19: Magnitude da tensão de fase nas barras.



Fonte: Própria do Autor.

Figura 20: Diferença das Magnitudes de tensão nas barras.

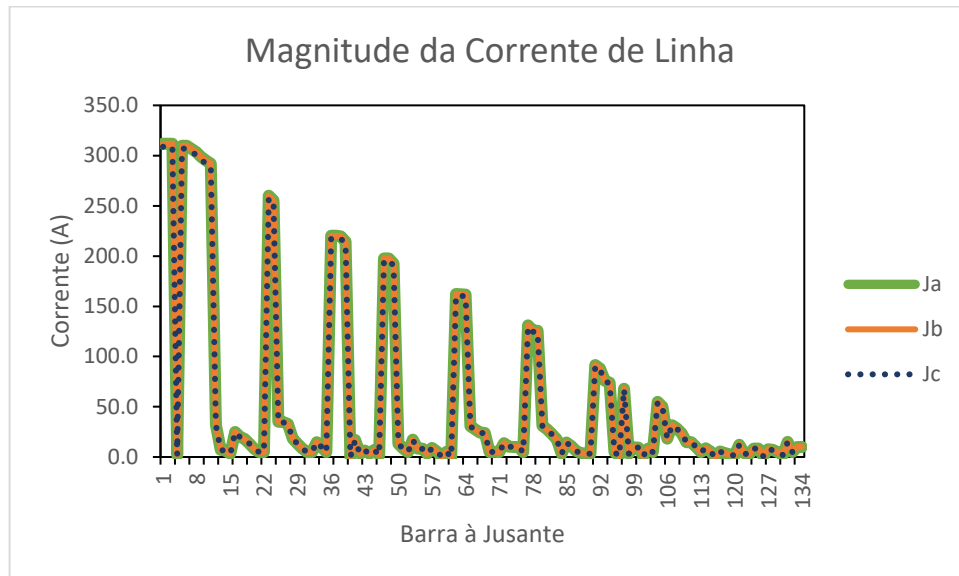


Fonte: Própria do Autor.

Na Figura 19 é demonstrado o perfil das magnitudes de tensão por barra e por fase. As tensões nas fases A e B são praticamente coincidentes e são menores que a tensão na fase C. Os valores absolutos das diferenças entre magnitudes das tensões de fase são apresentados na Figura 20. As diferenças $|V_a - V_c|$ e $|V_b - V_c|$

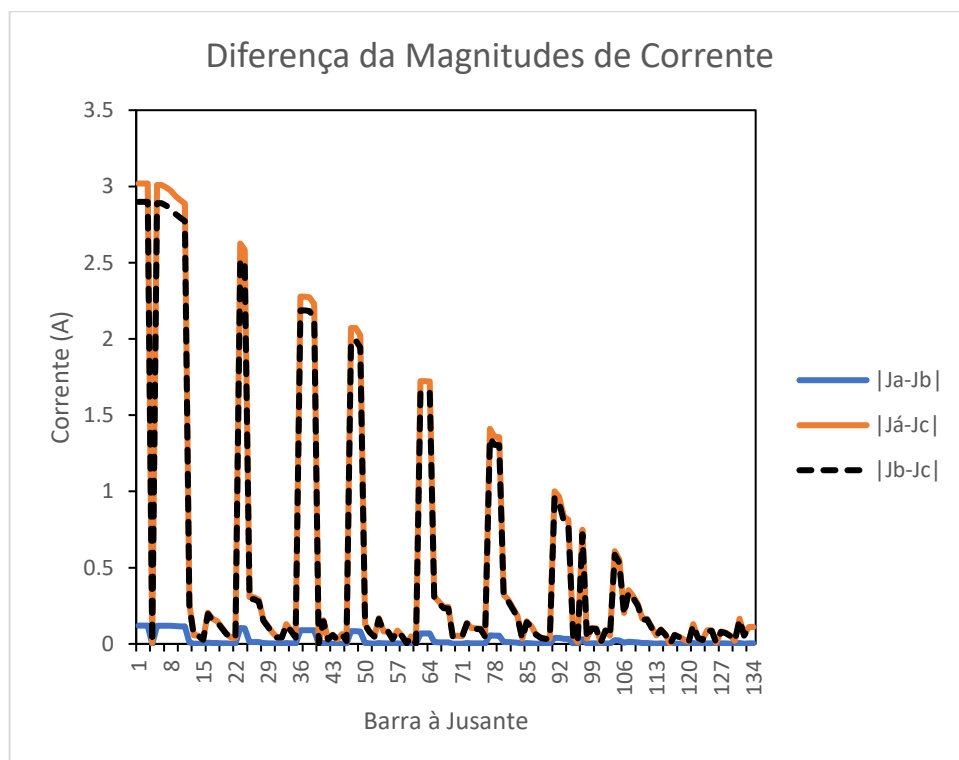
aumentam na direção das barras mais periféricas da rede, atingindo um valor máximo próximo de 0,01pu. Essas diferenças dependem das quedas de tensão nas linhas de distribuição que são funções do fluxo de corrente através delas.

Figura 21: Magnitude das correntes fluindo nas linhas da rede.



Fonte: Própria do Autor.

Figura 22: Diferença das Magnitudes de corrente nas linhas.

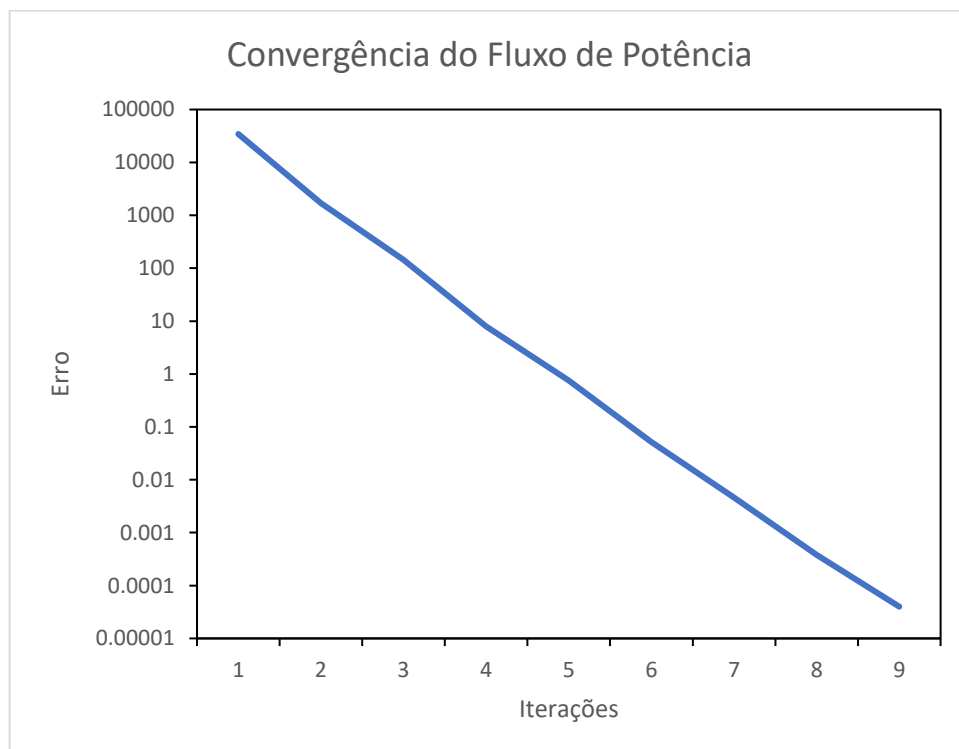


Fonte: Própria do Autor.

Na Figura 21, as curvas do fluxo de corrente nas linhas para cada uma das fases estão sobrepostas, dificultando a visualização das diferenças entre essas correntes. Nas curvas dos valores absolutos das diferenças das magnitudes dos fluxos de corrente por fase, como demonstrado na Figura 22, essa visualização é facilitada. A diferença dos fluxos de corrente entre as fases A e B são bastante reduzidas atingindo no máximo 0,15 A. As maiores diferenças são obtidas para $|J_a - J_c|$ e $|J_b - J_c|$ e aumentam conforme as linhas aproximam-se da subestação, atingindo o valor máximo de 3,0 A. Como as cargas são balanceadas e as impedâncias próprias, na diagonal na matriz, são iguais para as três fases, a diferença nos fluxos de corrente vem das impedâncias mútuas, fora da diagonal da matriz.

Na solução do fluxo de potência o algoritmo utiliza uma tolerância de $1e^{-4}$ para a máxima diferença de potência por barra, conforme estabelecido por (04). Na Figura 23 demonstra a convergência do algoritmo implementado.

Figura 23: Convergência do fluxo de potência.



Fonte: Própria do Autor.

Na primeira iteração o valor da máxima diferença de potência é de 34,5 kW, correspondente à máxima potência demanda em uma barra. Em cada iteração essa máxima diferença é reduzida, seguindo um comportamento exponencial, e torna-se

menor que a tolerância previamente especificada na nona iteração, quando o algoritmo atinge a convergência.

4.2. Base de Dados do EPRI

Três modelos de circuitos reais de distribuição de energia elétrica são divulgados no formato do OpenDSS®, que é um simulador para redes de distribuição desenvolvido pelo EPRI. Um resumo de cada um dos circuitos, nomeados como Ckt5, Ckt7 e Ckt24, é fornecido na Tabela 02.

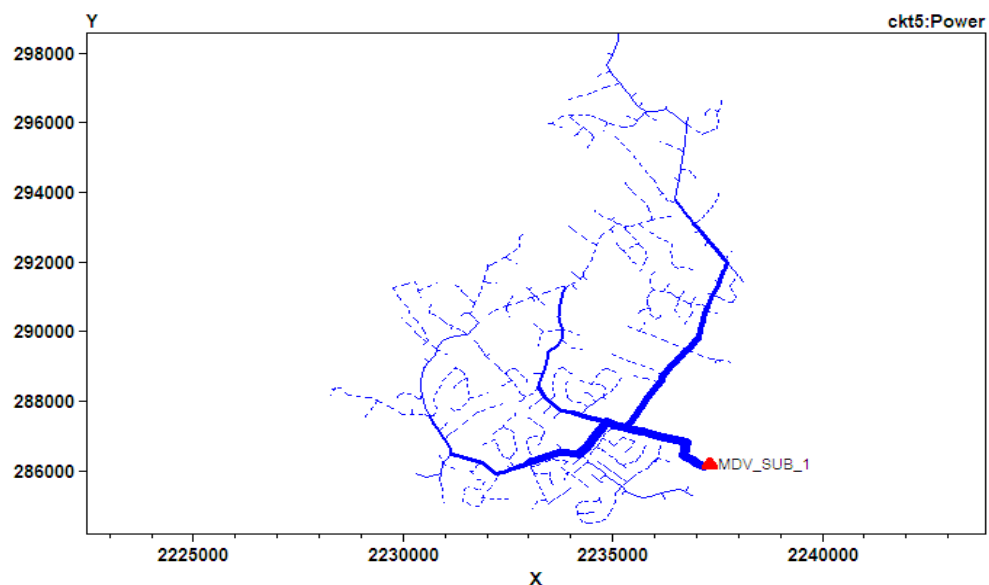
Tabela 02: Características dos circuitos do EPRI.

Nome do circuito	Ckt5	Ckt7	Ckt24
Tensão do sistema (kV)	12,47	12,5	34,5
Número de clientes	1379	5694	3885
Demanda dos transformadores de distribuição (kVA)	16310	19320	69373
Demanda total (kVAr)	1950	2400	3300
Tensão de subtransmissão (kV)	115	115	230
3-Ph SCC na Sub Sec. (MVA)	114	475	422
Comprimento do circuito primário (milhas)	48	8	74
Porcentagem residencial por carga	96	39	87
Nº de alimentadores no barramento secundário	1	14	2

Fonte: EPRI.

A Figura 24 apresenta a topologia do circuito ckt5 do EPRI.

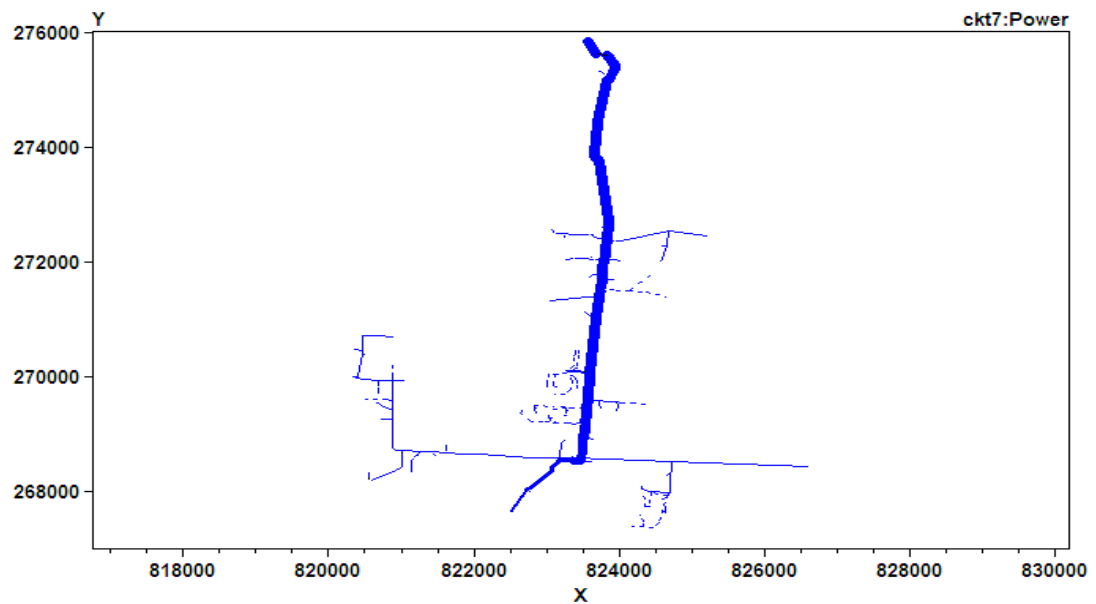
Figura 24: Topologia do circuito ckt5.



Fonte: EPRI.

A Figura 25 apresenta a topologia do circuito ckt7 do EPRI.

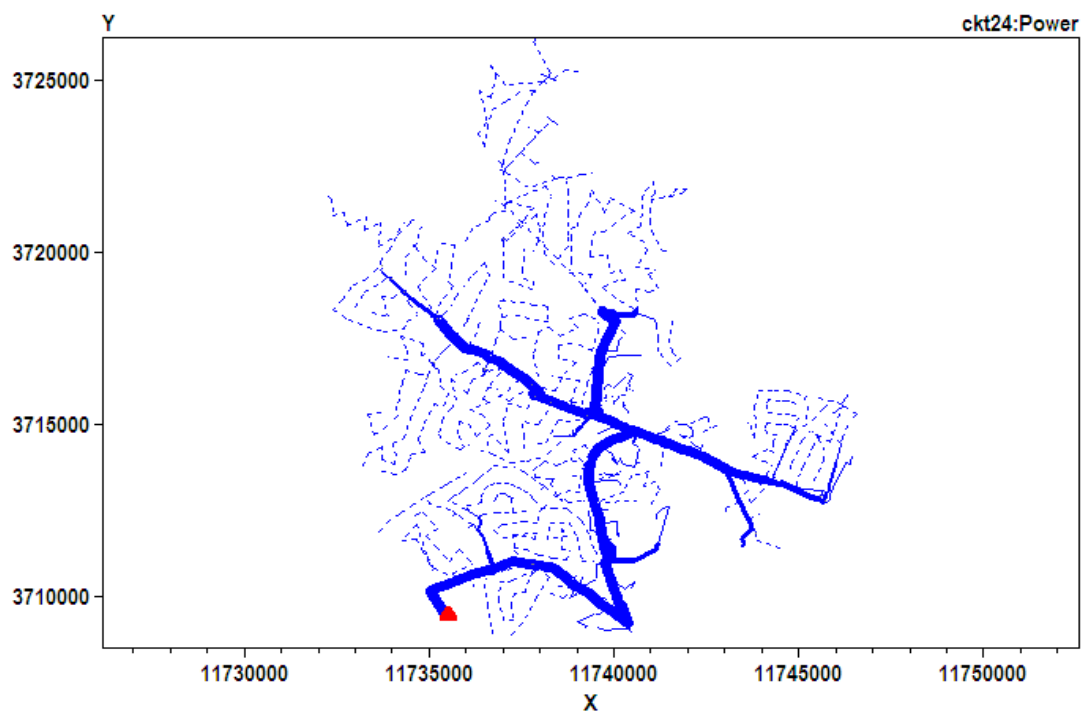
Figura 25: Topologia do circuito ckt7.



Fonte: EPRI.

A Figura 26 apresenta a topologia do circuito ckt24 do EPRI.

Figura 26: Topologia do circuito ckt24.



Fonte: EPRI.

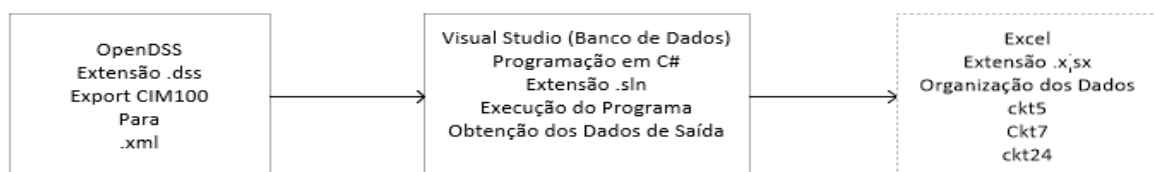
Os dados dos circuitos estão contidos em pastas separadas com os mesmos nomes. Em cada pasta há uma coleção de arquivos com os valores dos parâmetros de todos os equipamentos presente em cada circuito. A descrição dos parâmetros pode ser obtida através do manual do OpenDSS (DUGAN & MONTENEGRO, 2020). Assim, os pesquisadores são incentivados a usar esses modelos para investigar problemas de *Smart Grid* (EPRI, 2021).

A análise desses circuitos no formato original exige o entendimento do padrão de dados utilizado pelo OpenDSS®. Felizmente, o processamento dos dados desses circuitos pode ser realizado usando o DCIM. Para a obtenção dos valores da matriz de impedância e da demanda de potência usados no algoritmo de cálculo do fluxo de potência, os seguintes procedimentos foram realizados:

- Através do programa OpenDSS converte-se os arquivos padrão proprietário (.dss) para o DCIM com a geração de um arquivo *.xml que contém as informações padronizadas dos circuitos: ckt5, ckt9 e ckt24;
- No programa implementado, esses arquivos *.xml são importados e processados usando a biblioteca de classes do DCIM;
- Os objetos padronizados pelo DCIM são construídos e aos seus atributos são atribuídas as informações presentes nos arquivos *.xml;
- Os objetos padronizados criados são, então, inspecionados para verificar a quantidade de objetos construídos;
- No Excel, é montada uma tabela com as quantidades dos principais objetos padronizados que devem ser utilizados na solução do fluxo de potência.

O diagrama do procedimento é mostrado na Figura 27.

Figura 27: Diagrama do procedimento.



Fonte: Própria do Autor.

Na Figura 28, apresenta-se uma captura de tela demonstrando como o procedimento de inspeção dos objetos padronizados e construído pelo programa implementado foi realizado. No caso, esses objetos são correspondes ao circuito ckt5 que possui 2998 “*topologicalNodes*”.

Figura 28: Dados obtidos no circuito ckt5 com o auxílio do programa.

perLengthSequenceImpedances	{IEC61970.Base.Wires.PerLengthSequenceImpedance[2]}
powerTransformerEnds	{IEC61970.Base.Wires.PowerTransformerEnd[2]}
powerTransformerInfos	{IEC61968.AssetInfo.PowerTransformerInfo[591]}
powerTransformers	{IEC61970.Base.Wires.PowerTransformer[592]}
regulatingControls	{IEC61970.Base.Wires.RegulatingControl[4]}
rootBus	null
shortCircuitTests	{IEC61968.AssetInfo.ShortCircuitTest[591]}
subGeographicalRegion	{IEC61970.Base.Core.SubGeographicalRegion}
substation	{IEC61970.Base.Core.Substation}
switchPhases	{IEC61970.Base.Wires.SwitchPhase[57]}
terminals	{IEC61970.Base.Core.Terminal[7406]}
topologicalIsland	{IEC61970.Base.Topology.TopologicalIsland}
topologicalNodes	{IEC61970.Base.Topology.TopologicalNode[2998]}
transformerCoreAdmittance	{IEC61970.Base.Wires.TransformerCoreAdmittance}
transformerEndInfos	{IEC61968.AssetInfo.TransformerEndInfo[1182]}

Fonte: Própria do Autor.

Uma síntese da inspeção dos três circuitos na base de dados do EPRI é demonstrada na Tabela 03 com a quantidade dos objetos padronizados existentes em cada um dos circuitos.

Tabela 03: Inspeção de objetos para os circuitos do EPRI.

Objetos do DCIM	ckt5	ckt7	ckt24
TopologicalNodes	2998	1255	6058
Terminals	7406	3545	16025
ACLineSegments	2352	1148	5222
PowerTransformers	592	161	843
EnergyConsumers	1379	906	3891

Fonte: Própria do Autor.

Comparando a linha do número de clientes da Tabela 03 com a linha de *EnergyConsumers* da Tabela 03, verifica-se que as quantidades são coincidentes para o ckt5, estão bem próximas para o ckt24 (diferença de 6 clientes) e bastante diferentes para o ckt7.

5. CONCLUSÕES

A fim de facilitar a integração de informações entre concessionárias, um modelo de dados comum é necessário para descrever os dados do sistema de distribuição de energia elétrica. O CIM é apropriado para aplicações em fluxo de potência, dado que oferece versatilidade para análise de dados. Os dados padronizados do sistema de energia elétrica são exportados/importados usando arquivos XML. As simulações realizadas demonstram que os dados comuns podem ser analisados por diversas linguagens de programação, devido a flexibilidade dos dados para análise e processamento. A exportação entre vários programas é feita de maneira simples, como foi exposto anteriormente.

Do fluxo de potência analisado para o circuito com 135 barras, observa-se que a corrente e a tensão decaem quanto mais distante da barra inicial (subestação), isto deve-se, em relação à corrente, ao consumo das mesmas pelos consumidores ao longo das barras do sistema radial. O efeito disso é a queda tensão nas barras por efeito Joule. Então, as barras mais distantes da subestação apresentaram maior queda de tensão. Também é notável a rápida convergência da simulação, em poucas iterações o mesmo converge, levando-se em consideração a utilização do algoritmo *Backward/Forward*.

No processamento dos circuitos do banco de dados EPRI usando o DCIM, foi possível verificar uma discrepância, para o circuito ckt7, entre os dados do EPRI e lidos pelo programa. Em relação ao número de clientes, o EPRI apresenta o número de 5694 enquanto o programa apresentou o número de 906, para o ckt7. Isso pode ser decorrente dos objetos “*energyConsumers*” possuírem mais de um cliente, uma vez que estes possuem o atributo *customerCount*.

Em uma análise futura, o algoritmo de cálculo de fluxo de potência implementado deve ser utilizado para determinar as tensões e correntes nos três circuitos: ckt5, ckt7 e ckt24. Os valores obtidos devem ser comparados então com aqueles obtidos usando o pacote de software do OpenDSS®. Dessa forma é possível validar o algoritmo de processamento do arquivo XML padronizado pelo DCIM assim como o algoritmo de cálculo de fluxo de potência.

REFERÊNCIAS

A. C. SANTOS e R. L. C. CANATO. **Smart Grid: Desafios Em Segurança**, 2020. Disponível em: <http://www.prospectus.fatecitapira.edu.br/index.php/pgt/article/view/35>. Acesso em: 16 jun. 2020.

BLUME, S. W. **ELECTRIC POWER SYSTEM BASICS** For the Nonelectrical Professional. 2007.

CGEE, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (2012). **Redes inteligentes: contexto nacional**. Disponível em: <https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/Redes_Eletricas_Inteligentes_22mar13_9539.pdf/36f87ff1-43ed-4f33-9b53-5c869ace9023?version=1.5> Acesso em set. 2020.

CHENG, S.C., and SHIRMOHAMMADI, D.. **A Three-Phase Power Flow Method For Real-Time Distribution System Analysis**. IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 10, No, 2, 1995.

DUGAN, R. C.; MCDERMOTT, T. E. **An open source platform for collaborating on smart grid research**. In: 2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting. IEEE, 2011. p. 1-7.

ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE (EPRI), "**Summary of EPRI Test Circuits**", online: <https://sourceforge.net/p/electricdss/code/HEAD/tree/trunk/Distrib/EPRI/TestCircuits/Readme.pdf> (acessado Maio/2021)

FALLAH, S. N. et al. **Computational intelligence approaches for energy load forecasting in smart energy management grids: state of the art, future challenges, and research directions**. Energies, v. 11, n. 3, p. 596, 2018.

GARCIA, P. A et al. **Three-phase power flow calculations using the current injection method**. IEEE Transactions on power systems, v. 15, n. 2, p. 508-514, 2000.

IEC, IEC. 61970-301: 2009. **Energy management system application program interface (EMSAPI)-Part 301: Common Information Model (CIM) Base**, 2011.

IEC, “**IEC 61970 Energy management system application program interface (EMS-API) - Part 456: Solved power system state profiles**”, *IEC*, Edition 2.0, March 2018

IEC, “**IEC 61968 Application integration at electric utilities - System interfaces for distribution management - Part 11: Common Information Model (CIM)**”, *IEC Draft*

INTELIGENTES, CGEE Redes Eléctricas. Contexto Nacional. **Centro de Gestão e Estudos Estratégicos**, v. 16, p. 172, 2012.

KERSTING, W. H. “**Radial distribution test feeders, distribution system analysis subcommittee report**,” in *Proc. 2001 IEEE Power Eng. Soc. Winter Meeting*, pp. 908–912.

KERSTING, William H. **Distribution System Modeling and Analysis**. 2002.

LAPSEE. **Distribution system testing -135 buses**. Ilha Solteira: LAPSEE, 2020. Available in: <<https://www.feis.unesp.br/#!/lapsee>>.

LEITE, J. B.; MANTOVANI, J. R. S. **Development of a smart grid simulation environment, Part I: Project of the electrical devices simulator**. *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, v. 26, n. 1, p. 80-95, 2015.

LEME, H. F. **Papel do Usuário Final na Transição para as Redes Inteligentes**. Trabalho de Conclusão de Curso. UFRJ, Rio de Janeiro, 2020.

McMORRAN, Alan W. **An Introduction to IEC 61970-301 & 61968-11: The Common Information Model**. 2007.

NOZAKI, Y., **Research and Development of Smart Energy**, NTT Technical Review, Vol. 10 No. 1 Jan. 2012.

REIZ, C; LEITE, J. B. **Hardware-In-the-Loop Simulation to Test Advanced Automation Devices in Power Distribution Networks**. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2020.

SANTOS, A. C.; CANATO, R. L.C. **SMART GRID: DESAFIOS EM SEGURANÇA**. *Prospectus*, v. 2, n. 1, p. 122-135, 2020.

SCHNEIDER, K. P. et al. **Analytic considerations and design basis for the IEEE distribution test feeders**. IEEE Transactions on power systems, v. 33, n. 3, p. 3181-3188, 2017.

SHAHIDEHPOUR, M.; WANG, Y. **Parallel and distributed processing of power systems**. 2003.

USLAR, M. et al. **The Common Information Model CIM: IEC 61968/61970 and 62325-A practical introduction to the CIM**. Springer Science & Business Media, 2012.

VIEIRA, André Ricardo. **Implantação De Smart Grid No Brasil: Possibilidades E Limitações**. O Comunicante. Escola Coronel Hygino Corsetti. Vol. 9, No. 2, Pág. 20-28, junho 2019.

VIEIRA, F.L. **Impacts of Linear and Nonlinear Load Modelling on Power Harmonic Metrics in Smart Grid Context Using OpenDSS**. 2019. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2019.

APÊNDICE

Tabela 04: Tensões de fase em p.u. para o circuito teste de 135 barras.

Barra	Fase A		Fase B		Fase C	
	Módulo	Ângulo (°)	Módulo	Ângulo (°)	Módulo	Ângulo (°)
1	1,000	0,000	1,000	-120,000	1,000	120,000
2	0,980	-0,603	0,980	-120,512	0,984	119,391
3	0,978	-0,610	0,978	-120,515	0,982	119,382
4	0,978	-0,611	0,978	-120,516	0,982	119,382
5	0,977	-0,638	0,977	-120,538	0,981	119,355
6	0,973	-0,775	0,973	-120,655	0,978	119,217
7	0,968	-0,911	0,968	-120,771	0,974	119,080
8	0,964	-1,048	0,964	-120,887	0,971	118,944
9	0,964	-1,055	0,964	-120,893	0,971	118,937
10	0,963	-1,088	0,963	-120,921	0,970	118,903
11	0,956	-1,058	0,957	-120,882	0,964	118,932
12	0,956	-1,056	0,956	-120,879	0,964	118,933
13	0,956	-1,056	0,956	-120,879	0,964	118,934
14	0,956	-1,055	0,956	-120,878	0,964	118,935
15	0,956	-1,055	0,956	-120,878	0,964	118,935
16	0,956	-1,056	0,956	-120,879	0,964	118,934
17	0,956	-1,056	0,956	-120,879	0,964	118,934
18	0,956	-1,055	0,956	-120,878	0,964	118,935
19	0,956	-1,055	0,956	-120,878	0,964	118,934
20	0,956	-1,056	0,956	-120,878	0,963	118,934
21	0,955	-1,056	0,956	-120,878	0,963	118,934
22	0,956	-1,056	0,956	-120,878	0,964	118,934
23	0,955	-1,100	0,955	-120,917	0,963	118,890
24	0,952	-1,087	0,953	-120,900	0,961	118,903
25	0,952	-1,086	0,953	-120,899	0,961	118,903
26	0,952	-1,085	0,952	-120,897	0,960	118,904
27	0,952	-1,086	0,952	-120,898	0,960	118,903
28	0,952	-1,087	0,952	-120,898	0,960	118,902
29	0,952	-1,087	0,952	-120,898	0,960	118,902
30	0,951	-1,087	0,952	-120,899	0,960	118,902
31	0,951	-1,087	0,952	-120,899	0,960	118,902
32	0,952	-1,087	0,952	-120,898	0,960	118,902
33	0,952	-1,086	0,952	-120,898	0,960	118,903
34	0,952	-1,086	0,952	-120,898	0,960	118,903
35	0,952	-1,086	0,952	-120,898	0,960	118,903
36	0,951	-1,122	0,952	-120,930	0,960	118,867
37	0,951	-1,127	0,952	-120,934	0,960	118,862
38	0,951	-1,132	0,951	-120,938	0,960	118,857
39	0,950	-1,166	0,950	-120,968	0,959	118,823

40	0,950	-1,166	0,950	-120,968	0,959	118,823
41	0,950	-1,165	0,950	-120,966	0,959	118,824
42	0,950	-1,165	0,950	-120,966	0,959	118,824
43	0,950	-1,165	0,950	-120,966	0,959	118,824
44	0,950	-1,166	0,950	-120,966	0,959	118,824
45	0,950	-1,166	0,950	-120,967	0,959	118,823
46	0,950	-1,166	0,950	-120,967	0,959	118,823
47	0,950	-1,176	0,950	-120,975	0,959	118,814
48	0,948	-1,230	0,948	-121,022	0,957	118,760
49	0,947	-1,252	0,948	-121,041	0,957	118,738
50	0,947	-1,253	0,948	-121,041	0,957	118,737
51	0,947	-1,256	0,948	-121,044	0,957	118,734
52	0,947	-1,257	0,948	-121,045	0,957	118,733
53	0,947	-1,251	0,947	-121,039	0,956	118,739
54	0,947	-1,251	0,947	-121,039	0,956	118,739
55	0,947	-1,250	0,947	-121,038	0,956	118,740
56	0,947	-1,250	0,947	-121,037	0,956	118,740
57	0,947	-1,251	0,947	-121,038	0,956	118,739
58	0,947	-1,251	0,947	-121,038	0,956	118,739
59	0,947	-1,251	0,947	-121,038	0,956	118,739
60	0,947	-1,251	0,947	-121,038	0,956	118,739
61	0,947	-1,251	0,947	-121,038	0,956	118,739
62	0,947	-1,256	0,948	-121,044	0,957	118,734
63	0,947	-1,275	0,947	-121,060	0,956	118,715
64	0,946	-1,283	0,946	-121,066	0,956	118,707
65	0,946	-1,284	0,946	-121,067	0,956	118,706
66	0,946	-1,285	0,946	-121,068	0,956	118,705
67	0,946	-1,286	0,946	-121,069	0,956	118,704
68	0,946	-1,285	0,946	-121,068	0,955	118,705
69	0,946	-1,285	0,946	-121,067	0,955	118,705
70	0,946	-1,285	0,946	-121,067	0,955	118,705
71	0,946	-1,285	0,946	-121,068	0,955	118,704
72	0,946	-1,286	0,946	-121,068	0,955	118,704
73	0,946	-1,287	0,946	-121,069	0,955	118,703
74	0,946	-1,287	0,946	-121,069	0,955	118,703
75	0,945	-1,289	0,946	-121,071	0,955	118,701
76	0,945	-1,289	0,946	-121,071	0,955	118,701
77	0,946	-1,292	0,946	-121,074	0,955	118,698
78	0,945	-1,306	0,946	-121,086	0,955	118,684
79	0,945	-1,327	0,945	-121,104	0,955	118,664
80	0,945	-1,332	0,945	-121,108	0,955	118,659
81	0,945	-1,334	0,945	-121,109	0,954	118,657
82	0,945	-1,335	0,945	-121,111	0,954	118,655
83	0,944	-1,334	0,945	-121,110	0,954	118,656

84	0,944	-1,335	0,945	-121,110	0,954	118,656
85	0,944	-1,335	0,945	-121,110	0,954	118,655
86	0,944	-1,336	0,945	-121,111	0,954	118,654
87	0,944	-1,337	0,945	-121,111	0,954	118,654
88	0,944	-1,337	0,945	-121,112	0,954	118,654
89	0,945	-1,327	0,945	-121,104	0,955	118,663
90	0,944	-1,365	0,944	-121,136	0,954	118,626
91	0,943	-1,369	0,944	-121,140	0,954	118,622
92	0,943	-1,370	0,944	-121,140	0,953	118,620
93	0,942	-1,374	0,943	-121,142	0,953	118,617
94	0,942	-1,375	0,943	-121,143	0,953	118,616
95	0,942	-1,374	0,943	-121,142	0,953	118,617
96	0,942	-1,376	0,942	-121,143	0,952	118,615
97	0,942	-1,376	0,942	-121,143	0,952	118,615
98	0,942	-1,375	0,942	-121,141	0,952	118,616
99	0,942	-1,375	0,942	-121,141	0,952	118,615
100	0,942	-1,375	0,942	-121,141	0,952	118,615
101	0,942	-1,376	0,942	-121,142	0,952	118,614
102	0,942	-1,377	0,942	-121,143	0,952	118,614
103	0,942	-1,379	0,942	-121,145	0,952	118,612
104	0,941	-1,391	0,941	-121,155	0,951	118,599
105	0,940	-1,397	0,941	-121,160	0,951	118,593
106	0,941	-1,393	0,941	-121,156	0,951	118,598
107	0,940	-1,397	0,941	-121,160	0,951	118,593
108	0,940	-1,395	0,940	-121,156	0,950	118,595
109	0,940	-1,395	0,940	-121,156	0,950	118,596
110	0,940	-1,394	0,940	-121,155	0,950	118,596
111	0,940	-1,398	0,940	-121,159	0,950	118,592
112	0,940	-1,400	0,940	-121,160	0,950	118,591
113	0,940	-1,394	0,940	-121,155	0,950	118,596
114	0,939	-1,393	0,940	-121,154	0,950	118,597
115	0,939	-1,393	0,940	-121,154	0,950	118,597
116	0,939	-1,392	0,940	-121,152	0,950	118,598
117	0,939	-1,391	0,940	-121,151	0,950	118,599
118	0,939	-1,391	0,939	-121,151	0,950	118,599
119	0,939	-1,392	0,939	-121,152	0,950	118,599
120	0,943	-1,371	0,944	-121,141	0,954	118,620
121	0,943	-1,371	0,944	-121,141	0,954	118,619
122	0,943	-1,371	0,944	-121,141	0,953	118,620
123	0,943	-1,371	0,944	-121,141	0,954	118,620
124	0,943	-1,371	0,944	-121,141	0,953	118,620
125	0,943	-1,371	0,944	-121,141	0,953	118,620
126	0,943	-1,370	0,944	-121,140	0,953	118,620
127	0,943	-1,371	0,944	-121,141	0,953	118,620

128	0,943	-1,371	0,944	-121,141	0,953	118,620
129	0,944	-1,336	0,945	-121,111	0,954	118,654
130	0,944	-1,337	0,945	-121,112	0,954	118,654
131	0,940	-1,398	0,941	-121,160	0,951	118,592
132	0,940	-1,399	0,941	-121,161	0,951	118,592
133	0,940	-1,399	0,941	-121,161	0,951	118,592
134	0,940	-1,399	0,941	-121,161	0,951	118,591
135	0,940	-1,400	0,941	-121,162	0,951	118,591

Fonte: Própria do Autor.

Tabela 05: Correntes de fase para o circuito teste de 135 barras.

	Fase A		Fase B		Fase C	
Ramo	Módulo	Ângulo (°)	Módulo	Ângulo (°)	Módulo	Ângulo (°)
1	311,82	-24,31	311,70	-144,10	308,80	95,68
2	311,82	-24,31	311,70	-144,10	308,80	95,68
3	311,82	-24,31	311,70	-144,10	308,80	95,68
4	1,93	-23,68	1,93	-143,59	1,92	96,31
5	309,89	-24,31	309,77	-144,10	306,88	95,68
6	309,89	-24,31	309,77	-144,10	306,88	95,68
7	306,66	-24,32	306,55	-144,11	303,67	95,67
8	303,42	-24,32	303,31	-144,11	300,45	95,67
9	298,54	-24,33	298,42	-144,11	295,60	95,66
10	295,28	-24,33	295,17	-144,12	292,37	95,66
11	292,03	-24,33	291,91	-144,12	289,14	95,66
12	31,90	-24,13	31,88	-143,95	31,63	95,86
13	6,94	-24,13	6,94	-143,95	6,89	95,86
14	6,57	-24,13	6,56	-143,95	6,51	95,86
15	3,28	-24,13	3,28	-143,95	3,26	95,86
16	24,95	-24,13	24,94	-143,95	24,75	95,86
17	20,03	-24,13	20,02	-143,95	19,86	95,86
18	18,06	-24,13	18,05	-143,95	17,91	95,86
19	13,13	-24,13	13,13	-143,95	13,03	95,86
20	8,21	-24,13	8,21	-143,95	8,14	95,86
21	4,93	-24,13	4,92	-143,95	4,89	95,86
22	4,93	-24,13	4,92	-143,95	4,88	95,86
23	260,13	-24,36	260,03	-144,14	257,50	95,63
24	255,20	-24,36	255,10	-144,14	252,62	95,63
25	35,08	-24,16	35,07	-143,97	34,78	95,83
26	34,95	-24,16	34,94	-143,97	34,65	95,83
27	32,97	-24,16	32,96	-143,97	32,69	95,83
28	18,14	-24,16	18,13	-143,97	17,98	95,83
29	13,19	-24,16	13,19	-143,97	13,08	95,83
30	8,24	-24,16	8,24	-143,97	8,17	95,83
31	4,95	-24,16	4,95	-143,97	4,90	95,83
32	4,95	-24,16	4,94	-143,97	4,90	95,83

33	14,84	-24,16	14,83	-143,97	14,71	95,83
34	9,89	-24,16	9,89	-143,97	9,80	95,83
35	4,95	-24,16	4,94	-143,97	4,90	95,83
36	220,12	-24,39	220,03	-144,17	217,84	95,60
37	220,12	-24,39	220,03	-144,17	217,84	95,60
38	219,57	-24,39	219,48	-144,17	217,30	95,60
39	214,63	-24,39	214,54	-144,17	212,40	95,60
40	0,13	-24,24	0,13	-144,04	0,13	95,75
41	16,85	-24,24	16,84	-144,04	16,69	95,75
42	3,30	-24,24	3,30	-144,04	3,27	95,75
43	6,61	-24,24	6,61	-144,04	6,55	95,75
44	3,30	-24,24	3,30	-144,04	3,27	95,75
45	6,94	-24,24	6,94	-144,04	6,87	95,75
46	1,98	-24,24	1,98	-144,04	1,96	95,75
47	197,64	-24,41	197,56	-144,18	195,57	95,58
48	197,60	-24,41	197,52	-144,18	195,53	95,58
49	192,63	-24,41	192,55	-144,18	190,61	95,58
50	13,25	-24,33	13,25	-144,12	13,12	95,66
51	8,28	-24,33	8,28	-144,12	8,20	95,66
52	4,97	-24,33	4,97	-144,12	4,92	95,66
53	17,23	-24,32	17,23	-144,11	17,06	95,67
54	8,34	-24,32	8,33	-144,11	8,26	95,67
55	8,29	-24,32	8,28	-144,11	8,20	95,67
56	3,31	-24,32	3,31	-144,11	3,28	95,67
57	8,89	-24,32	8,89	-144,11	8,81	95,67
58	5,58	-24,32	5,58	-144,11	5,53	95,67
59	0,44	-24,33	0,44	-144,11	0,44	95,66
60	5,14	-24,32	5,14	-144,11	5,09	95,67
61	0,17	-24,32	0,17	-144,11	0,17	95,67
62	162,15	-24,43	162,08	-144,20	160,43	95,56
63	162,02	-24,43	161,95	-144,20	160,30	95,56
64	161,78	-24,43	161,71	-144,20	160,06	95,56
65	30,79	-24,36	30,77	-144,14	30,48	95,63
66	27,47	-24,36	27,46	-144,14	27,19	95,63
67	24,15	-24,36	24,14	-144,14	23,91	95,63
68	24,00	-24,36	23,99	-144,14	23,76	95,63
69	4,98	-24,36	4,97	-144,14	4,93	95,63
70	5,29	-24,36	5,28	-144,14	5,23	95,63
71	4,98	-24,36	4,97	-144,14	4,93	95,63
72	13,73	-24,36	13,73	-144,14	13,60	95,63
73	10,42	-24,36	10,41	-144,14	10,31	95,63
74	10,04	-24,36	10,04	-144,14	9,94	95,63
75	9,96	-24,36	9,95	-144,14	9,86	95,63
76	4,98	-24,36	4,98	-144,14	4,93	95,63

77	130,99	-24,44	130,93	-144,21	129,58	95,55
78	126,01	-24,45	125,96	-144,21	124,66	95,54
79	125,75	-24,45	125,70	-144,21	124,40	95,54
80	30,92	-24,41	30,91	-144,18	30,60	95,58
81	27,60	-24,41	27,59	-144,18	27,31	95,58
82	22,62	-24,41	22,61	-144,18	22,38	95,58
83	17,63	-24,41	17,63	-144,18	17,45	95,58
84	3,32	-24,41	3,32	-144,18	3,29	95,58
85	14,31	-24,41	14,31	-144,19	14,16	95,58
86	10,99	-24,41	10,98	-144,19	10,87	95,58
129	6,00	-24,41	6,00	-144,19	5,94	95,58
87	4,01	-24,41	4,01	-144,19	3,97	95,58
88	3,32	-24,41	3,32	-144,19	3,29	95,58
89	3,32	-24,40	3,32	-144,18	3,29	95,59
90	91,51	-24,46	91,47	-144,22	90,51	95,53
91	88,18	-24,46	88,15	-144,23	87,22	95,53
92	76,05	-24,46	76,02	-144,23	75,22	95,53
93	74,06	-24,46	74,03	-144,23	73,24	95,53
94	4,99	-24,45	4,99	-144,22	4,94	95,54
95	1,04	-24,45	1,04	-144,22	1,03	95,54
96	68,02	-24,47	67,99	-144,23	67,27	95,53
97	3,33	-24,45	3,33	-144,22	3,30	95,54
98	9,64	-24,45	9,64	-144,22	9,54	95,54
99	9,38	-24,45	9,37	-144,22	9,27	95,54
100	1,04	-24,45	1,04	-144,22	1,03	95,54
101	8,33	-24,45	8,33	-144,22	8,24	95,54
102	5,00	-24,45	5,00	-144,22	4,94	95,54
103	55,05	-24,47	55,02	-144,23	54,44	95,52
104	50,05	-24,47	50,03	-144,23	49,49	95,52
105	18,35	-24,47	18,34	-144,23	18,15	95,52
106	31,70	-24,47	31,68	-144,23	31,34	95,52
107	28,36	-24,47	28,35	-144,23	28,04	95,52
108	23,53	-24,47	23,52	-144,23	23,27	95,52
109	14,85	-24,47	14,84	-144,23	14,68	95,52
110	14,85	-24,47	14,84	-144,23	14,68	95,52
111	10,02	-24,47	10,01	-144,23	9,91	95,52
112	5,01	-24,47	5,01	-144,23	4,95	95,52
113	8,68	-24,47	8,68	-144,23	8,59	95,52
114	5,35	-24,47	5,34	-144,23	5,29	95,52
115	0,00	0,00	0,00	180,00	0,00	0,00
116	5,35	-24,47	5,34	-144,23	5,29	95,52
117	4,01	-24,47	4,01	-144,23	3,96	95,52
118	2,67	-24,47	2,67	-144,23	2,64	95,52
119	1,34	-24,47	1,34	-144,23	1,32	95,52

120	12,13	-24,44	12,13	-144,21	12,00	95,55
121	3,77	-24,45	3,77	-144,22	3,73	95,55
122	2,44	-24,45	2,44	-144,22	2,41	95,55
123	8,36	-24,44	8,36	-144,21	8,27	95,55
124	8,36	-24,44	8,36	-144,21	8,27	95,55
125	0,69	-24,44	0,69	-144,21	0,68	95,55
126	7,67	-24,44	7,67	-144,21	7,59	95,55
127	6,99	-24,44	6,98	-144,21	6,91	95,55
128	4,99	-24,44	4,99	-144,21	4,94	95,55
130	1,99	-24,41	1,99	-144,19	1,97	95,58
131	15,02	-24,47	15,01	-144,24	14,85	95,52
132	5,01	-24,47	5,00	-144,23	4,95	95,52
133	10,01	-24,47	10,01	-144,24	9,90	95,52
134	10,01	-24,47	10,01	-144,24	9,90	95,52

Fonte: Própria do Autor.

ANEXO

Dados do sistema teste de 135 no formato xml.

```
- <Network name="tDN_135b">
- <Branch>
<DL from="136" to="1" raa="0" xaa="0" rab="0" xab="0" rac="0" xac="0" rbb="0" xbb="0" rbc="0" xbc="0" rcc="0" xcc="0" />
<DL from="1" to="2" raa="0.38448" xaa="0.86481" rab="0.054" xab="0.4302" rac="0.054" xac="0.405" rbb="0.38448"
  xbb="0.86481" rbc="0.054" xbc="0.4824" rcc="0.38448" xcc="0.86481" />
<DL from="2" to="3" raa="0.0542" xaa="0.0499" rab="0.003" xab="0.0239" rac="0.003" xac="0.0225" rbb="0.0542"
  xbb="0.0499" rbc="0.003" xbc="0.0268" rcc="0.0542" xcc="0.0499" />
<DL from="3" to="4" raa="0.04272" xaa="0.09609" rab="0.006" xab="0.0478" rac="0.006" xac="0.045" rbb="0.04272"
  xbb="0.09609" rbc="0.006" xbc="0.0536" rcc="0.04272" xcc="0.09609" />
<DL from="3" to="5" raa="0.017088" xaa="0.038436" rab="0.0024" xab="0.01912" rac="0.0024" xac="0.018" rbb="0.017088"
  xbb="0.038436" rbc="0.0024" xbc="0.02144" rcc="0.017088" xcc="0.038436" />
<DL from="5" to="6" raa="0.08544" xaa="0.19218" rab="0.012" xab="0.0956" rac="0.012" xac="0.09" rbb="0.08544"
  xbb="0.19218" rbc="0.012" xbc="0.1072" rcc="0.08544" xcc="0.19218" />
<DL from="6" to="7" raa="0.08544" xaa="0.19218" rab="0.012" xab="0.0956" rac="0.012" xac="0.09" rbb="0.08544"
  xbb="0.19218" rbc="0.012" xbc="0.1072" rcc="0.08544" xcc="0.19218" />
<DL from="7" to="8" raa="0.08544" xaa="0.19218" rab="0.012" xab="0.0956" rac="0.012" xac="0.09" rbb="0.08544"
  xbb="0.19218" rbc="0.012" xbc="0.1072" rcc="0.08544" xcc="0.19218" />
<DL from="8" to="9" raa="0.004272" xaa="0.009609" rab="0.0006" xab="0.00478" rac="0.0006" xac="0.0045"
  rbb="0.004272" xbb="0.009609" rbc="0.0006" xbc="0.00536" rcc="0.004272" xcc="0.009609" />
<DL from="9" to="10" raa="0.02136" xaa="0.048045" rab="0.003" xab="0.0239" rac="0.003" xac="0.0225" rbb="0.02136"
  xbb="0.048045" rbc="0.003" xbc="0.0268" rcc="0.02136" xcc="0.048045" />
<DL from="10" to="11" raa="0.1644" xaa="0.1006" rab="0.006" xab="0.0478" rac="0.006" xac="0.045" rbb="0.1644"
  xbb="0.1006" rbc="0.006" xbc="0.0536" rcc="0.1644" xcc="0.1006" />
<DL from="11" to="12" raa="0.09864" xaa="0.06036" rab="0.0036" xab="0.02868" rac="0.0036" xac="0.027" rbb="0.09864"
  xbb="0.06036" rbc="0.0036" xbc="0.03216" rcc="0.09864" xcc="0.06036" />
<DL from="12" to="13" raa="0.04932" xaa="0.03018" rab="0.0018" xab="0.01434" rac="0.0018" xac="0.0135" rbb="0.04932"
  xbb="0.03018" rbc="0.0018" xbc="0.01608" rcc="0.04932" xcc="0.03018" />
<DL from="13" to="14" raa="0.26304" xaa="0.16096" rab="0.0096" xab="0.07648" rac="0.0096" xac="0.072" rbb="0.26304"
  xbb="0.16096" rbc="0.0096" xbc="0.08576" rcc="0.26304" xcc="0.16096" />
<DL from="14" to="15" raa="0.04932" xaa="0.03018" rab="0.0018" xab="0.01434" rac="0.0018" xac="0.0135" rbb="0.04932"
  xbb="0.03018" rbc="0.0018" xbc="0.01608" rcc="0.04932" xcc="0.03018" />
<DL from="12" to="16" raa="0.01644" xaa="0.01006" rab="0.0006" xab="0.00478" rac="0.0006" xac="0.0045" rbb="0.01644"
  xbb="0.01006" rbc="0.0006" xbc="0.00536" rcc="0.01644" xcc="0.01006" />
<DL from="16" to="17" raa="0.03288" xaa="0.02012" rab="0.0012" xab="0.00956" rac="0.0012" xac="0.009" rbb="0.03288"
  xbb="0.02012" rbc="0.0012" xbc="0.01072" rcc="0.03288" xcc="0.02012" />
<DL from="17" to="18" raa="0.06576" xaa="0.04024" rab="0.0024" xab="0.01912" rac="0.0024" xac="0.018" rbb="0.06576"
  xbb="0.04024" rbc="0.0024" xbc="0.02144" rcc="0.06576" xcc="0.04024" />
<DL from="18" to="19" raa="0.04336" xaa="0.03992" rab="0.0024" xab="0.01912" rac="0.0024" xac="0.018" rbb="0.04336"
  xbb="0.03992" rbc="0.0024" xbc="0.02144" rcc="0.04336" xcc="0.03992" />
<DL from="19" to="20" raa="0.0542" xaa="0.0499" rab="0.003" xab="0.0239" rac="0.003" xac="0.0225" rbb="0.0542"
  xbb="0.0499" rbc="0.003" xbc="0.0268" rcc="0.0542" xcc="0.0499" />
<DL from="20" to="21" raa="0.1626" xaa="0.1497" rab="0.009" xab="0.0717" rac="0.009" xac="0.0675" rbb="0.1626"
  xbb="0.1497" rbc="0.009" xbc="0.0804" rcc="0.1626" xcc="0.1497" />
<DL from="19" to="22" raa="0.012816" xaa="0.028827" rab="0.0018" xab="0.01434" rac="0.0018" xac="0.0135"
  rbb="0.012816" xbb="0.028827" rbc="0.0018" xbc="0.01608" rcc="0.012816" xcc="0.028827" />
<DL from="11" to="23" raa="0.029904" xaa="0.067263" rab="0.0042" xab="0.03346" rac="0.0042" xac="0.0315"
  rbb="0.029904" xbb="0.067263" rbc="0.0042" xbc="0.03752" rcc="0.029904" xcc="0.067263" />
<DL from="23" to="24" raa="0.0822" xaa="0.0503" rab="0.003" xab="0.0239" rac="0.003" xac="0.0225" rbb="0.0822"
  xbb="0.0503" rbc="0.003" xbc="0.0268" rcc="0.0822" xcc="0.0503" />
<DL from="24" to="25" raa="0.03288" xaa="0.02012" rab="0.0012" xab="0.00956" rac="0.0012" xac="0.009" rbb="0.03288"
  xbb="0.02012" rbc="0.0012" xbc="0.01072" rcc="0.03288" xcc="0.02012" />
<DL from="25" to="26" raa="0.04932" xaa="0.03018" rab="0.0018" xab="0.01434" rac="0.0018" xac="0.0135" rbb="0.04932"
  xbb="0.03018" rbc="0.0018" xbc="0.01608" rcc="0.04932" xcc="0.03018" />
<DL from="26" to="27" raa="0.06504" xaa="0.05988" rab="0.0036" xab="0.02868" rac="0.0036" xac="0.027" rbb="0.06504"
  xbb="0.05988" rbc="0.0036" xbc="0.03216" rcc="0.06504" xcc="0.05988" />
<DL from="27" to="28" raa="0.04336" xaa="0.03992" rab="0.0024" xab="0.01912" rac="0.0024" xac="0.018" rbb="0.04336"
  xbb="0.03992" rbc="0.0024" xbc="0.02144" rcc="0.04336" xcc="0.03992" />
<DL from="28" to="29" raa="0.02168" xaa="0.01996" rab="0.0012" xab="0.00956" rac="0.0012" xac="0.009" rbb="0.02168"
  xbb="0.01996" rbc="0.0012" xbc="0.01072" rcc="0.02168" xcc="0.01996" />
<DL from="29" to="30" raa="0.13008" xaa="0.11976" rab="0.0072" xab="0.05736" rac="0.0072" xac="0.054" rbb="0.13008"
  xbb="0.11976" rbc="0.0072" xbc="0.06432" rcc="0.13008" xcc="0.11976" />
<DL from="30" to="31" raa="0.02168" xaa="0.01996" rab="0.0012" xab="0.00956" rac="0.0012" xac="0.009" rbb="0.02168"
  xbb="0.01996" rbc="0.0012" xbc="0.01072" rcc="0.02168" xcc="0.01996" />
<DL from="29" to="32" raa="0.03288" xaa="0.02012" rab="0.0012" xab="0.00956" rac="0.0012" xac="0.009" rbb="0.03288"
  xbb="0.02012" rbc="0.0012" xbc="0.01072" rcc="0.03288" xcc="0.02012" />
<DL from="27" to="33" raa="0.00822" xaa="0.00503" rab="0.0003" xab="0.00239" rac="0.0003" xac="0.00225"
  rbb="0.00822" xbb="0.00503" rbc="0.0003" xbc="0.00268" rcc="0.00822" xcc="0.00503" />
<DL from="33" to="34" raa="0.0411" xaa="0.02515" rab="0.0015" xab="0.01195" rac="0.0015" xac="0.01125" rbb="0.0411"
  xbb="0.02515" rbc="0.0015" xbc="0.0134" rcc="0.0411" xcc="0.02515" />
```

```

<DL from="34" to="35" raa="0.004272" xaa="0.009609" rab="0.0006" xab="0.00478" rac="0.0006" xac="0.0045"
rbb="0.004272" xbb="0.009609" rbc="0.0006" xbc="0.00536" rcc="0.004272" xcc="0.009609" />
<DL from="24" to="36" raa="0.029904" xaa="0.067263" rab="0.0042" xab="0.03346" rac="0.0042" xac="0.0315"
rbb="0.029904" xbb="0.067263" rbc="0.0042" xbc="0.03752" rcc="0.029904" xcc="0.067263" />
<DL from="36" to="37" raa="0.004272" xaa="0.009609" rab="0.0006" xab="0.00478" rac="0.0006" xac="0.0045"
rbb="0.004272" xbb="0.009609" rbc="0.0006" xbc="0.00536" rcc="0.004272" xcc="0.009609" />
<DL from="37" to="38" raa="0.004272" xaa="0.009609" rab="0.0006" xab="0.00478" rac="0.0006" xac="0.0045"
rbb="0.004272" xbb="0.009609" rbc="0.0006" xbc="0.00536" rcc="0.004272" xcc="0.009609" />
<DL from="38" to="39" raa="0.029904" xaa="0.067263" rab="0.0042" xab="0.03346" rac="0.0042" xac="0.0315"
rbb="0.029904" xbb="0.067263" rbc="0.0042" xbc="0.03752" rcc="0.029904" xcc="0.067263" />
<DL from="39" to="40" raa="0.04272" xaa="0.09609" rab="0.006" xab="0.0478" rac="0.006" xac="0.045" rbb="0.04272"
xbb="0.09609" rbc="0.006" xbc="0.0536" rcc="0.04272" xcc="0.09609" />
<DL from="39" to="41" raa="0.09864" xaa="0.06036" rab="0.0036" xab="0.02868" rac="0.0036" xac="0.027" rbb="0.09864"
xbb="0.06036" rbc="0.0036" xbc="0.03216" rcc="0.09864" xcc="0.06036" />
<DL from="41" to="42" raa="0.0822" xaa="0.0503" rab="0.003" xab="0.0239" rac="0.003" xac="0.0225" rbb="0.0822"
xbb="0.0503" rbc="0.003" xbc="0.0268" rcc="0.0822" xcc="0.0503" />
<DL from="41" to="43" raa="0.01644" xaa="0.01006" rab="0.0006" xab="0.00478" rac="0.0006" xac="0.0045" rbb="0.01644"
xbb="0.01006" rbc="0.0006" xbc="0.00536" rcc="0.01644" xcc="0.01006" />
<DL from="43" to="44" raa="0.012816" xaa="0.028827" rab="0.0018" xab="0.01434" rac="0.0018" xac="0.0135"
rbb="0.012816" xbb="0.028827" rbc="0.0018" xbc="0.01608" rcc="0.012816" xcc="0.028827" />
<DL from="41" to="45" raa="0.017088" xaa="0.038436" rab="0.0024" xab="0.01912" rac="0.0024" xac="0.018"
rbb="0.017088" xbb="0.038436" rbc="0.0024" xbc="0.02144" rcc="0.017088" xcc="0.038436" />
<DL from="45" to="46" raa="0.025632" xaa="0.057654" rab="0.0036" xab="0.02868" rac="0.0036" xac="0.027"
rbb="0.025632" xbb="0.057654" rbc="0.0036" xbc="0.03216" rcc="0.025632" xcc="0.057654" />
<DL from="39" to="47" raa="0.008544" xaa="0.019218" rab="0.0012" xab="0.00956" rac="0.0012" xac="0.009"
rbb="0.008544" xbb="0.019218" rbc="0.0012" xbc="0.01072" rcc="0.008544" xcc="0.019218" />
<DL from="47" to="48" raa="0.051264" xaa="0.115308" rab="0.0072" xab="0.05736" rac="0.0072" xac="0.054"
rbb="0.051264" xbb="0.115308" rbc="0.0072" xbc="0.06432" rcc="0.051264" xcc="0.115308" />
<DL from="48" to="49" raa="0.02136" xaa="0.048045" rab="0.003" xab="0.0239" rac="0.003" xac="0.0225" rbb="0.02136"
xbb="0.048045" rbc="0.003" xbc="0.0268" rcc="0.02136" xcc="0.048045" />
<DL from="49" to="50" raa="0.008544" xaa="0.019218" rab="0.0012" xab="0.00956" rac="0.0012" xac="0.009"
rbb="0.008544" xbb="0.019218" rbc="0.0012" xbc="0.01072" rcc="0.008544" xcc="0.019218" />
<DL from="50" to="51" raa="0.072624" xaa="0.163353" rab="0.0102" xab="0.08126" rac="0.0102" xac="0.0765"
rbb="0.072624" xbb="0.163353" rbc="0.0102" xbc="0.09112" rcc="0.072624" xcc="0.163353" />
<DL from="51" to="52" raa="0.04272" xaa="0.09609" rab="0.006" xab="0.0478" rac="0.006" xac="0.045" rbb="0.04272"
xbb="0.09609" rbc="0.006" xbc="0.0536" rcc="0.04272" xcc="0.09609" />
<DL from="49" to="53" raa="0.09864" xaa="0.06036" rab="0.0036" xab="0.02868" rac="0.0036" xac="0.027" rbb="0.09864"
xbb="0.06036" rbc="0.0036" xbc="0.03216" rcc="0.09864" xcc="0.06036" />
<DL from="53" to="54" raa="0.04932" xaa="0.03018" rab="0.0018" xab="0.01434" rac="0.0018" xac="0.0135" rbb="0.04932"
xbb="0.03018" rbc="0.0018" xbc="0.01608" rcc="0.04932" xcc="0.03018" />
<DL from="54" to="55" raa="0.21372" xaa="0.13078" rab="0.0078" xab="0.06214" rac="0.0078" xac="0.0585" rbb="0.21372"
xbb="0.13078" rbc="0.0078" xbc="0.06968" rcc="0.21372" xcc="0.13078" />
<DL from="55" to="56" raa="0.03288" xaa="0.02012" rab="0.0012" xab="0.00956" rac="0.0012" xac="0.009" rbb="0.03288"
xbb="0.02012" rbc="0.0012" xbc="0.01072" rcc="0.03288" xcc="0.02012" />
<DL from="53" to="57" raa="0.13152" xaa="0.08048" rab="0.0048" xab="0.03824" rac="0.0048" xac="0.036" rbb="0.13152"
xbb="0.08048" rbc="0.0048" xbc="0.04288" rcc="0.13152" xcc="0.08048" />
<DL from="57" to="58" raa="0.0542" xaa="0.0499" rab="0.003" xab="0.0239" rac="0.003" xac="0.0225" rbb="0.0542"
xbb="0.0499" rbc="0.003" xbc="0.0268" rcc="0.0542" xcc="0.0499" />
<DL from="58" to="59" raa="0.06504" xaa="0.05988" rab="0.0036" xab="0.02868" rac="0.0036" xac="0.027" rbb="0.06504"
xbb="0.05988" rbc="0.0036" xbc="0.03216" rcc="0.06504" xcc="0.05988" />
<DL from="58" to="60" raa="0.02168" xaa="0.01996" rab="0.0012" xab="0.00956" rac="0.0012" xac="0.009" rbb="0.02168"
xbb="0.01996" rbc="0.0012" xbc="0.01072" rcc="0.02168" xcc="0.01996" />
<DL from="60" to="61" raa="0.017088" xaa="0.038436" rab="0.0024" xab="0.01912" rac="0.0024" xac="0.018"
rbb="0.017088" xbb="0.038436" rbc="0.0024" xbc="0.02144" rcc="0.017088" xcc="0.038436" />
<DL from="49" to="62" raa="0.004272" xaa="0.009609" rab="0.0006" xab="0.00478" rac="0.0006" xac="0.0045"
rbb="0.004272" xbb="0.009609" rbc="0.0006" xbc="0.00536" rcc="0.004272" xcc="0.009609" />
<DL from="62" to="63" raa="0.02136" xaa="0.048045" rab="0.003" xab="0.0239" rac="0.003" xac="0.0225" rbb="0.02136"
xbb="0.048045" rbc="0.003" xbc="0.0268" rcc="0.02136" xcc="0.048045" />
<DL from="63" to="64" raa="0.022701" xaa="0.030201" rab="0.0018" xab="0.01434" rac="0.0018" xac="0.0135"
rbb="0.022701" xbb="0.030201" rbc="0.0018" xbc="0.01608" rcc="0.022701" xcc="0.030201" />
<DL from="64" to="65" raa="0.015134" xaa="0.020134" rab="0.0012" xab="0.00956" rac="0.0012" xac="0.009"
rbb="0.015134" xbb="0.020134" rbc="0.0012" xbc="0.01072" rcc="0.015134" xcc="0.020134" />
<DL from="65" to="66" raa="0.022701" xaa="0.030201" rab="0.0018" xab="0.01434" rac="0.0018" xac="0.0135"
rbb="0.022701" xbb="0.030201" rbc="0.0018" xbc="0.01608" rcc="0.022701" xcc="0.030201" />
<DL from="66" to="67" raa="0.015134" xaa="0.020134" rab="0.0012" xab="0.00956" rac="0.0012" xac="0.009"
rbb="0.015134" xbb="0.020134" rbc="0.0012" xbc="0.01072" rcc="0.015134" xcc="0.020134" />
<DL from="67" to="68" raa="0.04932" xaa="0.03018" rab="0.0018" xab="0.01434" rac="0.0018" xac="0.0135" rbb="0.04932"
xbb="0.03018" rbc="0.0018" xbc="0.01608" rcc="0.04932" xcc="0.03018" />
<DL from="68" to="69" raa="0.03288" xaa="0.02012" rab="0.0012" xab="0.00956" rac="0.0012" xac="0.009" rbb="0.03288"
xbb="0.02012" rbc="0.0012" xbc="0.01072" rcc="0.03288" xcc="0.02012" />
<DL from="68" to="70" raa="0.03288" xaa="0.02012" rab="0.0012" xab="0.00956" rac="0.0012" xac="0.009" rbb="0.03288"
xbb="0.02012" rbc="0.0012" xbc="0.01072" rcc="0.03288" xcc="0.02012" />
<DL from="70" to="71" raa="0.037835" xaa="0.050335" rab="0.003" xab="0.0239" rac="0.003" xac="0.0225" rbb="0.037835"
xbb="0.050335" rbc="0.003" xbc="0.0268" rcc="0.037835" xcc="0.050335" />

```

```

<DL from="68" to="72" raa="0.030268" xaa="0.040268" rab="0.0024" xab="0.01912" rac="0.0024" xac="0.018"
rbb="0.030268" xbb="0.040268" rbc="0.0024" xbc="0.02144" rcc="0.030268" xcc="0.040268" />
<DL from="72" to="73" raa="0.030268" xaa="0.040268" rab="0.0024" xab="0.01912" rac="0.0024" xac="0.018"
rbb="0.030268" xbb="0.040268" rbc="0.0024" xbc="0.02144" rcc="0.030268" xcc="0.040268" />
<DL from="73" to="74" raa="0.015134" xaa="0.020134" rab="0.0012" xab="0.00956" rac="0.0012" xac="0.009"
rbb="0.015134" xbb="0.020134" rbc="0.0012" xbc="0.01072" rcc="0.015134" xcc="0.020134" />
<DL from="74" to="75" raa="0.083237" xaa="0.110737" rab="0.0066" xab="0.05258" rac="0.0066" xac="0.0495"
rbb="0.083237" xbb="0.110737" rbc="0.0066" xbc="0.05896" rcc="0.083237" xcc="0.110737" />
<DL from="75" to="76" raa="0.008544" xaa="0.019218" rab="0.0012" xab="0.00956" rac="0.0012" xac="0.009"
rbb="0.008544" xbb="0.019218" rbc="0.0012" xbc="0.01072" rcc="0.008544" xcc="0.019218" />
<DL from="64" to="77" raa="0.012816" xaa="0.028827" rab="0.0018" xab="0.01434" rac="0.0018" xac="0.0135"
rbb="0.012816" xbb="0.028827" rbc="0.0018" xbc="0.01608" rcc="0.012816" xcc="0.028827" />
<DL from="77" to="78" raa="0.02136" xaa="0.048045" rab="0.003" xab="0.0239" rac="0.003" xac="0.0225" rbb="0.02136"
xbb="0.048045" rbc="0.003" xbc="0.0268" rcc="0.02136" xcc="0.048045" />
<DL from="78" to="79" raa="0.029904" xaa="0.067263" rab="0.0042" xab="0.03346" rac="0.0042" xac="0.0315"
rbb="0.029904" xbb="0.067263" rbc="0.0042" xbc="0.03752" rcc="0.029904" xcc="0.067263" />
<DL from="79" to="80" raa="0.029904" xaa="0.067263" rab="0.0042" xab="0.03346" rac="0.0042" xac="0.0315"
rbb="0.029904" xbb="0.067263" rbc="0.0042" xbc="0.03752" rcc="0.029904" xcc="0.067263" />
<DL from="80" to="81" raa="0.012816" xaa="0.028827" rab="0.0018" xab="0.01434" rac="0.0018" xac="0.0135"
rbb="0.012816" xbb="0.028827" rbc="0.0018" xbc="0.01608" rcc="0.012816" xcc="0.028827" />
<DL from="81" to="82" raa="0.012816" xaa="0.028827" rab="0.0018" xab="0.01434" rac="0.0018" xac="0.0135"
rbb="0.012816" xbb="0.028827" rbc="0.0018" xbc="0.01608" rcc="0.012816" xcc="0.028827" />
<DL from="82" to="83" raa="0.0822" xaa="0.0503" rab="0.003" xab="0.0239" rac="0.003" xac="0.0225" rbb="0.0822"
xbb="0.0503" rbc="0.003" xbc="0.0268" rcc="0.0822" xcc="0.0503" />
<DL from="83" to="84" raa="0.02136" xaa="0.048045" rab="0.003" xab="0.0239" rac="0.003" xac="0.0225" rbb="0.02136"
xbb="0.048045" rbc="0.003" xbc="0.0268" rcc="0.02136" xcc="0.048045" />
<DL from="83" to="85" raa="0.012816" xaa="0.028827" rab="0.0018" xab="0.01434" rac="0.0018" xac="0.0135"
rbb="0.012816" xbb="0.028827" rbc="0.0018" xbc="0.01608" rcc="0.012816" xcc="0.028827" />
<DL from="85" to="86" raa="0.012816" xaa="0.028827" rab="0.0018" xab="0.01434" rac="0.0018" xac="0.0135"
rbb="0.012816" xbb="0.028827" rbc="0.0018" xbc="0.01608" rcc="0.012816" xcc="0.028827" />
<DL from="86" to="129" raa="0.008544" xaa="0.019218" rab="0.0012" xab="0.00956" rac="0.0012" xac="0.009"
rbb="0.008544" xbb="0.019218" rbc="0.0012" xbc="0.01072" rcc="0.008544" xcc="0.019218" />
<DL from="129" to="87" raa="0.14092" xaa="0.12974" rab="0.0078" xab="0.06214" rac="0.0078" xac="0.0585"
rbb="0.14092" xbb="0.12974" rbc="0.0078" xbc="0.06968" rcc="0.14092" xcc="0.12974" />
<DL from="87" to="92" raa="0.002136" xaa="0.004805" rab="0.0003" xab="0.00239" rac="0.0003" xac="0.00225"
rbb="0.002136" xbb="0.004805" rbc="0.0003" xbc="0.00268" rcc="0.002136" xcc="0.004805" />
<DL from="79" to="89" raa="0.02136" xaa="0.048045" rab="0.003" xab="0.0239" rac="0.003" xac="0.0225" rbb="0.02136"
xbb="0.048045" rbc="0.003" xbc="0.0268" rcc="0.02136" xcc="0.048045" />
<DL from="79" to="90" raa="0.076896" xaa="0.172962" rab="0.0108" xab="0.08604" rac="0.0108" xac="0.081"
rbb="0.076896" xbb="0.172962" rbc="0.0108" xbc="0.09648" rcc="0.076896" xcc="0.172962" />
<DL from="90" to="91" raa="0.008544" xaa="0.019218" rab="0.0012" xab="0.00956" rac="0.0012" xac="0.009"
rbb="0.008544" xbb="0.019218" rbc="0.0012" xbc="0.01072" rcc="0.008544" xcc="0.019218" />
<DL from="91" to="92" raa="0.03252" xaa="0.02994" rab="0.0018" xab="0.01434" rac="0.0018" xac="0.0135" rbb="0.03252"
xbb="0.02994" rbc="0.0018" xbc="0.01608" rcc="0.03252" xcc="0.02994" />
<DL from="92" to="93" raa="0.07588" xaa="0.06986" rab="0.0042" xab="0.03346" rac="0.0042" xac="0.0315" rbb="0.07588"
xbb="0.06986" rbc="0.0042" xbc="0.03752" rcc="0.07588" xcc="0.06986" />
<DL from="93" to="94" raa="0.04272" xaa="0.09609" rab="0.006" xab="0.0478" rac="0.006" xac="0.045" rbb="0.04272"
xbb="0.09609" rbc="0.006" xbc="0.0536" rcc="0.04272" xcc="0.09609" />
<DL from="93" to="95" raa="0.04336" xaa="0.03992" rab="0.0024" xab="0.01912" rac="0.0024" xac="0.018" rbb="0.04336"
xbb="0.03992" rbc="0.0024" xbc="0.02144" rcc="0.04336" xcc="0.03992" />
<DL from="93" to="96" raa="0.0542" xaa="0.0499" rab="0.003" xab="0.0239" rac="0.003" xac="0.0225" rbb="0.0542"
xbb="0.0499" rbc="0.003" xbc="0.0268" rcc="0.0542" xcc="0.0499" />
<DL from="96" to="97" raa="0.06504" xaa="0.05988" rab="0.0036" xab="0.02868" rac="0.0036" xac="0.027" rbb="0.06504"
xbb="0.05988" rbc="0.0036" xbc="0.03216" rcc="0.06504" xcc="0.05988" />
<DL from="96" to="98" raa="0.18084" xaa="0.11066" rab="0.0066" xab="0.05258" rac="0.0066" xac="0.0495" rbb="0.18084"
xbb="0.11066" rbc="0.0066" xbc="0.05896" rcc="0.18084" xcc="0.11066" />
<DL from="98" to="99" raa="0.04336" xaa="0.03992" rab="0.0024" xab="0.01912" rac="0.0024" xac="0.018" rbb="0.04336"
xbb="0.03992" rbc="0.0024" xbc="0.02144" rcc="0.04336" xcc="0.03992" />
<DL from="99" to="100" raa="0.11924" xaa="0.10978" rab="0.0066" xab="0.05258" rac="0.0066" xac="0.0495"
rbb="0.11924" xbb="0.10978" rbc="0.0066" xbc="0.05896" rcc="0.11924" xcc="0.10978" />
<DL from="99" to="101" raa="0.025632" xaa="0.057654" rab="0.0036" xab="0.02868" rac="0.0036" xac="0.027"
rbb="0.025632" xbb="0.057654" rbc="0.0036" xbc="0.03216" rcc="0.025632" xcc="0.057654" />
<DL from="101" to="102" raa="0.017088" xaa="0.038436" rab="0.0024" xab="0.01912" rac="0.0024" xac="0.018"
rbb="0.017088" xbb="0.038436" rbc="0.0024" xbc="0.02144" rcc="0.017088" xcc="0.038436" />
<DL from="96" to="103" raa="0.022701" xaa="0.030201" rab="0.0018" xab="0.01434" rac="0.0018" xac="0.0135"
rbb="0.022701" xbb="0.030201" rbc="0.0018" xbc="0.01608" rcc="0.022701" xcc="0.030201" />
<DL from="103" to="104" raa="0.113505" xaa="0.151005" rab="0.009" xab="0.0717" rac="0.009" xac="0.0675"
rbb="0.113505" xbb="0.151005" rbc="0.009" xbc="0.0804" rcc="0.113505" xcc="0.151005" />
<DL from="104" to="105" raa="0.158907" xaa="0.211407" rab="0.0126" xab="0.10038" rac="0.0126" xac="0.0945"
rbb="0.158907" xbb="0.211407" rbc="0.0126" xbc="0.11256" rcc="0.158907" xcc="0.211407" />
<DL from="104" to="106" raa="0.022701" xaa="0.030201" rab="0.0018" xab="0.01434" rac="0.0018" xac="0.0135"
rbb="0.022701" xbb="0.030201" rbc="0.0018" xbc="0.01608" rcc="0.022701" xcc="0.030201" />
<DL from="106" to="107" raa="0.07567" xaa="0.10067" rab="0.006" xab="0.0478" rac="0.006" xac="0.045" rbb="0.07567"
xbb="0.10067" rbc="0.006" xbc="0.0536" rcc="0.07567" xcc="0.10067" />

```

```

<DL from="107" to="108" raa="0.1644" xaa="0.1006" rab="0.006" xab="0.0478" rac="0.006" xac="0.045" rbb="0.1644"
  xbb="0.1006" rbc="0.006" xbc="0.0536" rcc="0.1644" xcc="0.1006" />
<DL from="108" to="109" raa="0.04932" xaa="0.03018" rab="0.0018" xab="0.01434" rac="0.0018" xac="0.0135"
  rbb="0.04932" xbb="0.03018" rbc="0.0018" xbc="0.01608" rcc="0.04932" xcc="0.03018" />
<DL from="109" to="110" raa="0.03288" xaa="0.02012" rab="0.0012" xab="0.00956" rac="0.0012" xac="0.009"
  rbb="0.03288" xbb="0.02012" rbc="0.0012" xbc="0.01072" rcc="0.03288" xcc="0.02012" />
<DL from="110" to="111" raa="0.072624" xaa="0.163353" rab="0.0102" xab="0.08126" rac="0.0102" xac="0.0765"
  rbb="0.072624" xbb="0.163353" rbc="0.0102" xbc="0.09112" rcc="0.072624" xcc="0.163353" />
<DL from="111" to="112" raa="0.046992" xaa="0.105699" rab="0.0066" xab="0.05258" rac="0.0066" xac="0.0495"
  rbb="0.046992" xbb="0.105699" rbc="0.0066" xbc="0.05896" rcc="0.046992" xcc="0.105699" />
<DL from="108" to="113" raa="0.18084" xaa="0.11066" rab="0.0066" xab="0.05258" rac="0.0066" xac="0.0495"
  rbb="0.18084" xbb="0.11066" rbc="0.0066" xbc="0.05896" rcc="0.18084" xcc="0.11066" />
<DL from="113" to="114" raa="0.3288" xaa="0.2012" rab="0.012" xab="0.0956" rac="0.012" xac="0.09" rbb="0.3288"
  xbb="0.2012" rbc="0.012" xbc="0.1072" rcc="0.3288" xcc="0.2012" />
<DL from="114" to="115" raa="0.3288" xaa="0.2012" rab="0.012" xab="0.0956" rac="0.012" xac="0.09" rbb="0.3288"
  xbb="0.2012" rbc="0.012" xbc="0.1072" rcc="0.3288" xcc="0.2012" />
<DL from="114" to="116" raa="0.3288" xaa="0.2012" rab="0.012" xab="0.0956" rac="0.012" xac="0.09" rbb="0.3288"
  xbb="0.2012" rbc="0.012" xbc="0.1072" rcc="0.3288" xcc="0.2012" />
<DL from="116" to="117" raa="0.3288" xaa="0.2012" rab="0.012" xab="0.0956" rac="0.012" xac="0.09" rbb="0.3288"
  xbb="0.2012" rbc="0.012" xbc="0.1072" rcc="0.3288" xcc="0.2012" />
<DL from="117" to="118" raa="0.11924" xaa="0.10978" rab="0.0066" xab="0.05258" rac="0.0066" xac="0.0495"
  rbb="0.11924" xbb="0.10978" rbc="0.0066" xbc="0.05896" rcc="0.11924" xcc="0.10978" />
<DL from="118" to="119" raa="0.029904" xaa="0.067263" rab="0.0042" xab="0.03346" rac="0.0042" xac="0.0315"
  rbb="0.029904" xbb="0.067263" rbc="0.0042" xbc="0.03752" rcc="0.029904" xcc="0.067263" />
<DL from="91" to="120" raa="0.029904" xaa="0.067263" rab="0.0042" xab="0.03346" rac="0.0042" xac="0.0315"
  rbb="0.029904" xbb="0.067263" rbc="0.0042" xbc="0.03752" rcc="0.029904" xcc="0.067263" />
<DL from="120" to="121" raa="0.07588" xaa="0.06986" rab="0.0042" xab="0.03346" rac="0.0042" xac="0.0315"
  rbb="0.07588" xbb="0.06986" rbc="0.0042" xbc="0.03752" rcc="0.07588" xcc="0.06986" />
<DL from="121" to="122" raa="0.21372" xaa="0.13078" rab="0.0078" xab="0.06214" rac="0.0078" xac="0.0585"
  rbb="0.21372" xbb="0.13078" rbc="0.0078" xbc="0.06968" rcc="0.21372" xcc="0.13078" />
<DL from="120" to="123" raa="0.03288" xaa="0.02012" rab="0.0012" xab="0.00956" rac="0.0012" xac="0.009"
  rbb="0.03288" xbb="0.02012" rbc="0.0012" xbc="0.01072" rcc="0.03288" xcc="0.02012" />
<DL from="123" to="124" raa="0.03288" xaa="0.02012" rab="0.0012" xab="0.00956" rac="0.0012" xac="0.009"
  rbb="0.03288" xbb="0.02012" rbc="0.0012" xbc="0.01072" rcc="0.03288" xcc="0.02012" />
<DL from="124" to="125" raa="0.06576" xaa="0.04024" rab="0.0024" xab="0.01912" rac="0.0024" xac="0.018"
  rbb="0.06576" xbb="0.04024" rbc="0.0024" xbc="0.02144" rcc="0.06576" xcc="0.04024" />
<DL from="124" to="126" raa="0.06576" xaa="0.04024" rab="0.0024" xab="0.01912" rac="0.0024" xac="0.018"
  rbb="0.06576" xbb="0.04024" rbc="0.0024" xbc="0.02144" rcc="0.06576" xcc="0.04024" />
<DL from="126" to="127" raa="0.008544" xaa="0.019218" rab="0.0012" xab="0.00956" rac="0.0012" xac="0.009"
  rbb="0.008544" xbb="0.019218" rbc="0.0012" xbc="0.01072" rcc="0.008544" xcc="0.019218" />
<DL from="127" to="128" raa="0.06504" xaa="0.05988" rab="0.0036" xab="0.02868" rac="0.0036" xac="0.027"
  rbb="0.06504" xbb="0.05988" rbc="0.0036" xbc="0.03216" rcc="0.06504" xcc="0.05988" />
<DL from="129" to="130" raa="0.052969" xaa="0.070469" rab="0.0042" xab="0.03346" rac="0.0042" xac="0.0315"
  rbb="0.052969" xbb="0.070469" rbc="0.0042" xbc="0.03752" rcc="0.052969" xcc="0.070469" />
<DL from="105" to="131" raa="0.008544" xaa="0.019218" rab="0.0012" xab="0.00956" rac="0.0012" xac="0.009"
  rbb="0.008544" xbb="0.019218" rbc="0.0012" xbc="0.01072" rcc="0.008544" xcc="0.019218" />
<DL from="131" to="132" raa="0.07567" xaa="0.10067" rab="0.006" xab="0.0478" rac="0.006" xac="0.045" rbb="0.07567"
  xbb="0.10067" rbc="0.006" xbc="0.0536" rcc="0.07567" xcc="0.10067" />
<DL from="131" to="133" raa="0.030268" xaa="0.040268" rab="0.0024" xab="0.01912" rac="0.0024" xac="0.018"
  rbb="0.030268" xbb="0.040268" rbc="0.0024" xbc="0.02144" rcc="0.030268" xcc="0.040268" />
<DL from="133" to="134" raa="0.030268" xaa="0.040268" rab="0.0024" xab="0.01912" rac="0.0024" xac="0.018"
  rbb="0.030268" xbb="0.040268" rbc="0.0024" xbc="0.02144" rcc="0.030268" xcc="0.040268" />
<DL from="134" to="135" raa="0.030268" xaa="0.040268" rab="0.0024" xab="0.01912" rac="0.0024" xac="0.018"
  rbb="0.030268" xbb="0.040268" rbc="0.0024" xbc="0.02144" rcc="0.030268" xcc="0.040268" />
</Branch>
- <Bus>
<LD id="1" pa="0" pb="0" pc="0" qa="0" qb="0" qc="0" />
<LD id="2" pa="0" pb="0" pc="0" qa="0" qb="0" qc="0" />
<LD id="3" pa="0" pb="0" pc="0" qa="0" qb="0" qc="0" />
<LD id="4" pa="13.8" pb="13.8" pc="13.8" qa="5.8788" qb="5.8788" qc="5.8788" />
<LD id="5" pa="0" pb="0" pc="0" qa="0" qb="0" qc="0" />
<LD id="6" pa="23" pb="23" pc="23" qa="9.798" qb="9.798" qc="9.798" />
<LD id="7" pa="23" pb="23" pc="23" qa="9.798" qb="9.798" qc="9.798" />
<LD id="8" pa="34.5" pb="34.5" pc="34.5" qa="14.6969" qb="14.6969" qc="14.6969" />
<LD id="9" pa="23" pb="23" pc="23" qa="9.798" qb="9.798" qc="9.798" />
<LD id="10" pa="23" pb="23" pc="23" qa="9.798" qb="9.798" qc="9.798" />
<LD id="11" pa="0" pb="0" pc="0" qa="0" qb="0" qc="0" />
<LD id="12" pa="0" pb="0" pc="0" qa="0" qb="0" qc="0" />
<LD id="13" pa="2.6375" pb="2.6375" pc="2.6375" qa="1.1235" qb="1.1235" qc="1.1235" />
<LD id="14" pa="23" pb="23" pc="23" qa="9.798" qb="9.798" qc="9.798" />
<LD id="15" pa="23" pb="23" pc="23" qa="9.798" qb="9.798" qc="9.798" />
<LD id="16" pa="34.5" pb="34.5" pc="34.5" qa="14.6969" qb="14.6969" qc="14.6969" />
<LD id="17" pa="13.8" pb="13.8" pc="13.8" qa="5.8788" qb="5.8788" qc="5.8788" />
<LD id="18" pa="34.5" pb="34.5" pc="34.5" qa="14.6969" qb="14.6969" qc="14.6969" />
<LD id="19" pa="0" pb="0" pc="0" qa="0" qb="0" qc="0" />

```



```

<LD id="95" pa="7.2065" pb="7.2065" pc="7.2065" qa="3.07" qb="3.07" qc="3.07" />
<LD id="96" pa="0" pb="0" pc="0" qa="0" qb="0" qc="0" />
<LD id="97" pa="23" pb="23" pc="23" qa="9.798" qb="9.798" qc="9.798" />
<LD id="98" pa="1.84" pb="1.84" pc="1.84" qa="0.7838" qb="0.7838" qc="0.7838" />
<LD id="99" pa="0" pb="0" pc="0" qa="0" qb="0" qc="0" />
<LD id="100" pa="7.2065" pb="7.2065" pc="7.2065" qa="3.07" qb="3.07" qc="3.07" />
<LD id="101" pa="23" pb="23" pc="23" qa="9.798" qb="9.798" qc="9.798" />
<LD id="102" pa="34.5" pb="34.5" pc="34.5" qa="14.6969" qb="14.6969" qc="14.6969" />
<LD id="103" pa="34.5" pb="34.5" pc="34.5" qa="14.6969" qb="14.6969" qc="14.6969" />
<LD id="104" pa="0" pb="0" pc="0" qa="0" qb="0" qc="0" />
<LD id="105" pa="23" pb="23" pc="23" qa="9.798" qb="9.798" qc="9.798" />
<LD id="106" pa="23" pb="23" pc="23" qa="9.798" qb="9.798" qc="9.798" />
<LD id="107" pa="33.2735" pb="33.2735" pc="33.2735" qa="14.1744" qb="14.1744" qc="14.1744" />
<LD id="108" pa="0" pb="0" pc="0" qa="0" qb="0" qc="0" />
<LD id="109" pa="0" pb="0" pc="0" qa="0" qb="0" qc="0" />
<LD id="110" pa="33.2735" pb="33.2735" pc="33.2735" qa="14.1744" qb="14.1744" qc="14.1744" />
<LD id="111" pa="34.5" pb="34.5" pc="34.5" qa="14.6969" qb="14.6969" qc="14.6969" />
<LD id="112" pa="34.5" pb="34.5" pc="34.5" qa="14.6969" qb="14.6969" qc="14.6969" />
<LD id="113" pa="23" pb="23" pc="23" qa="9.798" qb="9.798" qc="9.798" />
<LD id="114" pa="0" pb="0" pc="0" qa="0" qb="0" qc="0" />
<LD id="115" pa="0" pb="0" pc="0" qa="0" qb="0" qc="0" />
<LD id="116" pa="9.2" pb="9.2" pc="9.2" qa="3.9192" qb="3.9192" qc="3.9192" />
<LD id="117" pa="9.2" pb="9.2" pc="9.2" qa="3.9192" qb="3.9192" qc="3.9192" />
<LD id="118" pa="9.2" pb="9.2" pc="9.2" qa="3.9192" qb="3.9192" qc="3.9192" />
<LD id="119" pa="9.2" pb="9.2" pc="9.2" qa="3.9192" qb="3.9192" qc="3.9192" />
<LD id="120" pa="0" pb="0" pc="0" qa="0" qb="0" qc="0" />
<LD id="121" pa="9.2" pb="9.2" pc="9.2" qa="3.9192" qb="3.9192" qc="3.9192" />
<LD id="122" pa="16.8665" pb="16.8665" pc="16.8665" qa="7.1852" qb="7.1852" qc="7.1852" />
<LD id="123" pa="0" pb="0" pc="0" qa="0" qb="0" qc="0" />
<LD id="124" pa="0" pb="0" pc="0" qa="0" qb="0" qc="0" />
<LD id="125" pa="4.7535" pb="4.7535" pc="4.7535" qa="2.0249" qb="2.0249" qc="2.0249" />
<LD id="126" pa="4.7535" pb="4.7535" pc="4.7535" qa="2.0249" qb="2.0249" qc="2.0249" />
<LD id="127" pa="13.8" pb="13.8" pc="13.8" qa="5.8788" qb="5.8788" qc="5.8788" />
<LD id="128" pa="34.5" pb="34.5" pc="34.5" qa="14.6969" qb="14.6969" qc="14.6969" />
<LD id="129" pa="0" pb="0" pc="0" qa="0" qb="0" qc="0" />
<LD id="130" pa="13.8" pb="13.8" pc="13.8" qa="5.8788" qb="5.8788" qc="5.8788" />
<LD id="131" pa="0" pb="0" pc="0" qa="0" qb="0" qc="0" />
<LD id="132" pa="34.5" pb="34.5" pc="34.5" qa="14.6969" qb="14.6969" qc="14.6969" />
<LD id="133" pa="0" pb="0" pc="0" qa="0" qb="0" qc="0" />
<LD id="134" pa="34.5" pb="34.5" pc="34.5" qa="14.6969" qb="14.6969" qc="14.6969" />
<LD id="135" pa="34.5" pb="34.5" pc="34.5" qa="14.6969" qb="14.6969" qc="14.6969" />
<LD id="136" pa="34.5" pb="34.5" pc="34.5" qa="14.6969" qb="14.6969" qc="14.6969" />
</Bus>
</Network>

```