



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA ELÉTRICA



Ferramenta para a Análise do Consumo Ótimo em Redes de Distribuição de Energia Elétrica e da Eficiência de seu Faturamento

Paulo Ramon Oliveira de Lima

Orientador: Prof. Dr. Max Chianca Pimentel Filho

Dissertação de Mestrado apresentada
ao Programa de Pós-Graduação em Energia
Elétrica do Centro de Tecnologia da UFRN
(área de concentração: Qualidade da Ener-
gia) como parte dos requisitos para obtenção
do título de Mestre em Ciências.

dezembro de 2022
Natal/RN

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Lima, Paulo Ramon Oliveira.

Ferramenta para a análise do consumo ótimo em redes de distribuição de energia elétrica e da eficiência de seu faturamento / Paulo Ramon Oliveira de Lima. - 2022.

115 f.: il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Energia Elétrica, Natal, RN, 2023.

Orientador: Prof. Dr. Max Chianca Pimentel Filho.

1. Automação de sistemas elétricos - Dissertação. 2. Consumo de energia - Dissertação. 3. Faturamento - Dissertação. 4. Gestão de energia - Dissertação. 5. Redes de distribuição - Dissertação. 6. Redes inteligentes - Dissertação. I. Pimentel Filho, Max Chianca. II. Título.

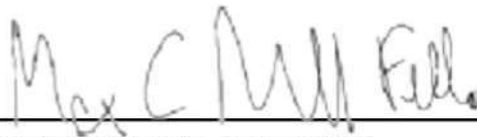
RN/UF/BCZM

CDU 621.5


Ferramenta para a Análise do Consumo Ótimo em Redes de Distribuição de Energia Elétrica e a Eficiência de seu Faturamento

Paulo Ramon Oliveira de Lima

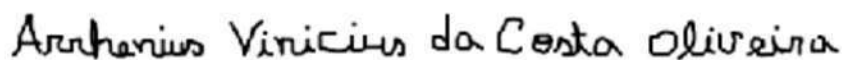
Dissertação de Mestrado aprovada em 14 de dezembro de 2022 pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:



Prof. Dr. Max Chianca Pimentel Filho (orientador) DEE/UFRN

 Documento assinado digitalmente
JOSE LUIZ DA SILVA JUNIOR
Data: 22/12/2022 10:41:13-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

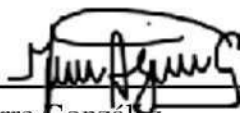
Prof. Dr. José Luis da Silva Júnior DEE/UFRN



Prof. Dr. Arrhenius Vinícius de Costa Oliveira DEE/UFRN



Prof. Dr. Humberto Dionísio De Andrade (Externo) MET/UFERSA



Prof. Dr. Mario Orestes Aguirre González PRO/UFRN

*A minha querida avó Isabel Oliveira
de Lima (in memoriam), o maior
exemplo de um ser humano íntegro e
ético, cuja presença foi essencial na
minha vida.*

Agradecimentos

Ao meu orientador, professor Max Chianca Pimentel Filho, cujo empenho em me educar sempre veio em primeiro lugar, sou grato pelo apoio, bons conselhos e orientações.

Aos professores Arrhenius Vinícius de Costa Oliveira, José Luiz da Silva Junior e Manoel Firmino de Medeiros Junior pelas orientações e palavras de incentivo no ato da defesa da proposta do tema desta dissertação.

Aos professores Humberto Dionísio de Andrade e Mario Orestes Aguirre González pelas contribuições e disponibilidade no ato da defesa deste trabalho.

As professoras Priscila da Cunha Jácome Vidal e Vitória Sheilla de Oliveira Silva pelas contribuições à revisão técnica desta dissertação.

A minha noiva Stefane Oliveira, por todo amor, companheirismo, compreensão e colaboração, muito obrigado por estar ao meu lado nessa fase importante da minha vida.

Aos colegas de graduação e pós-graduação, pelas críticas e sugestões.

Resumo

Com o aumento do número de empresas geradoras de energia renováveis e da comercialização de energia, observa-se a tendência disruptiva do modelo atual da gestão de energia no setor elétrico brasileiro. Anteriormente adquirida de forma exclusiva das geradoras estatais e repassadas aos consumidores através das suas distribuidoras, a energia elétrica no Brasil passa a ser passível de comercialização entre auto-produtores, produtores independentes, geradores, comercializadores, consumidores livres e consumidores especiais no mercado livre de energia brasileiro. *Status quo* que proporciona foco das atividades das empresas de distribuição na manutenção, operacionalização e desenvolvimento das redes de distribuição, além de um ambiente de comercialização pluralizada de energia elétrica. Este cenário comercial movimenta a economia no setor elétrico brasileiro por meio da prestação de novos serviços como os de gestão personalizada do consumo e produção de energia elétrica para os consumidores. Neste contexto, a aquisição de energia elétrica incentivada como fonte para o consumo das necessidades energéticas, as metas climáticas estabelecidas na Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) do Brasil para o acordo de Paris, assim como a adoção de estratégias para o consumo consciente de energia, justificam o desenvolvimento de instrumentos para o consumo ótimo de energia elétrica e a obtenção da máxima eficiência de seu faturamento aos grandes consumidores. Para subsidiar tais mudanças e maximizar seus benefícios, surgem níveis avançados de automação, apoiando o gerenciamento do desempenho das redes elétricas de distribuição com maior capacidade de apoio à operação e supervisão em tempo real das unidades consumidoras. Nesta conjuntura, o objetivo deste trabalho é o desenvolvimento da base científica necessária para a implementação de soluções tecnológicas direcionadas ao problema da gestão eficiente dos recursos energéticos das unidades consumidoras alimentadas pelas distribuidoras brasileiras. Nessa conjuntura, a metodologia para o desenvolvimento da inteligência computacional para as aplicações propostas neste trabalho consiste no estabelecimento de um conjunto de estratégias para a análise do consumo de energia de uma unidade. Estas estratégias são baseadas nos dados de consumo coletados [kW] em um período determinado de tempo. Por fim, são apresentados os resultados obtidos da execução das análises sobre três perfis de consumo e o cenário tarifário nos quais eles estão inseridos.

Palavras-chave: automação de sistemas elétricos, consumo de energia, faturamento, gestão de energia, redes de distribuição, redes inteligentes.

Abstract

With the increase in the number of renewable energy generators and energy commercialization, there is a disruptive trend in the current model of energy management in the Brazilian electricity sector. The electric energy in Brazil was previously acquired exclusively from state-owned generators and passed on to consumers through their distributors, however, now it can be traded between self-producers, independent producers, generators, traders, free consumers and special consumers in the Brazilian free energy market. Status Quo provides a focus for distributors activities on the maintenance, operation and development of distribution networks, in addition to an environment for the pluralized commercialization of electric energy. This commercial scenario drives the economy in the Brazilian electricity sector through the provision of new services such as personalized management of consumption and production of electricity for consumers. In this context, the acquisition of electrical energy encouraged as a source for the consumption of energy needs, the climate goals established in Brazil's Nationally Determined Contribution (NDC) to the Treaty of Paris, as well as the adoption of strategies for the conscious consumption of energy, justify the development of instruments for a greater consumption of electric energy, obtaining the maximum efficiency of income to large consumers. To subsidize such changes and maximize their benefits, advanced levels of automation emerge, supporting the performance management of electrical distribution networks with greater capacity to support the operation and real-time supervision of consumer units. In this context, the aim of this work is the development of the scientific base needed for the implementation of technological solutions directed to the management problem of energy resources of the consumer units fed by Brazilian distributors. In this context, the methodology for developing computational intelligence for the applications proposed in this work consists of establishing a set of strategies for analyzing the energy consumption of a unit. These strategies are based on consumption data collected [kW] in a given period of time. Finally, the results obtained from carrying out the analyzes on three consumption profiles and the tariff scenario in which they are inserted are presented.

Keywords: automation of electrical systems, billing, distribution generation, energy management, energy consumption, smart grids.

Sumário

Sumário	i
Lista de Figuras	iii
Lista de Tabelas	v
Lista de Símbolos e Abreviaturas	vii
1 Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivo	2
1.3 Metodologia	3
1.4 Descrição dos Capítulos	4
2 Pesquisa e Fundamentação Teórica	5
2.1 Legislação e o Setor Elétrico Brasileiro	6
2.1.1 História da Regulação do Setor Elétrico Brasileiro	6
2.1.2 Governança Vigente	14
2.1.3 A Matriz Elétrica Brasileira	15
2.2 Dados	16
2.2.1 Processamento de dados	18
2.2.2 Representação de dados	19
2.2.3 Banco de Dados	21
2.3 Soluções do Mercado	24
2.3.1 <i>SmartEnergy</i> , da Gestal	25
2.3.2 Sistema Integrado de Gestão de Energia (SIGE), da Metrum	26
2.3.3 <i>PowerHub</i> , da Way2	27
2.3.4 <i>Software Intelligent Power Manager (IPM)</i> , da Eaton	27
2.4 Trabalhos publicados sobre o tema	28
2.4.1 Análise das publicações	30
2.4.2 Soluções das publicações	30
2.4.3 Contribuição, Diferenças e Semelhança deste Trabalho	30
2.5 Conclusão	31

3	Implementação Tecnológica	33
3.1	Projeto do Banco de Dados	33
3.1.1	Modelo Conceitual	34
3.1.2	Projeto Lógico	39
3.1.3	Modelo Físico	40
3.2	Projeto da Solução	41
3.2.1	Arquitetura da Solução	41
3.2.2	Interação com o Banco de Dados	41
3.3	Conclusão	42
4	Análise dos Dados Energéticos	43
4.1	Despesas Tarifárias	44
4.2	Perfil de Consumo	46
4.3	Demanda Ótima	47
4.4	Geração em Horário de Ponta	48
4.5	Contratação Sazonal	50
4.6	Excedente de Reativo	51
4.7	Conclusão	52
5	Resultados dos Experimentos	53
5.1	O Cenário Tarifário	53
5.2	Os Perfis de Consumo	57
5.3	Aferição da Demanda Ótima	59
5.4	Viabilidade da Geração em Horário Ponta	61
5.5	Sazonalidade das Unidades	63
5.6	Produção de Reativo	65
5.7	Conclusão	67
6	Conclusão	69
6.1	Informação para a Tomada de Decisão	69
6.2	Avaliação do Trabalho	71
6.3	Perspectivas futuras	71
A	SQL para Gerar o Banco de Dados	83
B	A tabela ASCII	93

Lista de Figuras

1.1	<i>The 2022 international energy efficiency scorecard.</i>	1
1.2	Cenários de observação para tomada de decisão.	2
1.3	Metodologia para análise do consumo ótimo de energia.	3
2.1	Segmentos do setor elétrico.	6
2.2	Reunião com dirigentes de associações do setor elétrico.	7
2.3	Construção da Usina Hidrelétrica de Paulo Afonso/BA.	8
2.4	Consulta pública sobre as novas regras para a Geração Distribuída (GD).	9
2.5	Centro de Operações Integradas da ONS no Rio de Janeiro.	10
2.6	<i>WEBMAP</i> interativo do sistema energético brasileiro.	11
2.7	Projeção do PLD - Nordeste.	12
2.8	Entidades governantes do setor elétrico brasileiro.	14
2.9	Evolução da Matriz Elétrica Brasileira.	15
2.10	Consumo Setorial da Matriz Elétrica do Brasil.	15
2.11	Estimativa da quantidade de dados produzidas por dia na internet.	17
2.12	Tabela " <i>CONSUMER_UNITS</i> ".	21
2.13	Conjunto de operações realizadas sobre as relações.	23
2.14	Conjunto de operações da <i>Structured Query Language (SQL)</i>	23
2.15	<i>Software Smart Energy</i>	25
2.16	<i>Software SIGE</i>	26
2.17	<i>Software PowerHub</i>	27
2.18	<i>Software IPM</i>	28
2.19	Periódicos Utilizados na Pesquisa.	28
3.1	Entidades do setor elétrico brasileiro.	34
3.2	Modelagem conceitual das agências reguladoras brasileiras.	35
3.3	Modelagem conceitual dos agentes de distribuição de energia elétrica.	36
3.4	Modelagem conceitual das unidades consumidoras de energia elétrica.	36
3.5	Atributos do modelo conceitual das unidades.	37
3.6	Modelagem conceitual das análises de consumo.	38
3.7	Relacionamentos representado no diagrama Entidade-Relacionamento.	39
3.8	O projeto lógico do banco de dados relacional proposto.	39
3.9	Infraestrutura para a hospedagem da solução.	40
4.1	Gestão inteligente do consumo de energia.	43
4.2	Análise das despesas tarifárias no ciclo de consumo.	44
4.3	Representação do perfil de consumo de uma unidade consumidora.	46

4.4	Representação da demanda ótima de uma unidade consumidora.	47
4.5	Tarifas de Energia (TE).	48
4.6	Tarifas de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD).	48
4.7	Geração em horário de ponta de uma unidade consumidora.	49
4.8	Representação da sazonalidade de uma unidade consumidora.	50
4.9	Representação do excedente de reativo de uma unidade consumidora.	51
5.1	Distribuidoras nordestinas por regiões de concessão.	53
5.2	Tarifas de Energia (TE).	54
5.3	Tarifas de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD).	54
5.4	Subgrupos do grupo A na região de concessão.	55
5.5	Modalidades do subgrupo A4(2,3 a 25kV) na região de concessão.	55
5.6	Valores das Bandeiras Tarifárias.	56
5.7	Perfis de Consumo de Três Unidades Consumidoras	58
5.8	Análise da Demanda Ótima para Três Unidades Consumidoras.	60
5.9	Geração em hora ponta de Três Unidades Consumidoras	62
5.10	Sazonalidade de Três Unidades Consumidoras.	64
5.11	Consumo excedente de reativo de Três Unidades Consumidoras.	66
6.1	Sistema para visão interativa do consumo de energia por unidade.	70
6.2	Sistema para visão interativa das despesas tarifárias atuais por distribuidoras.	71

Lista de Tabelas

2.1	Múltiplos do <i>BYTE</i> no sistema internacional de unidades (S.I) na base 10.	17
2.2	Representação binária de algumas letras do alfabeto.	19
2.3	Tipos de dados nas linguagens <i>SQL</i> e <i>C</i> , respectivamente.	20
2.4	Valores dos atributos de tabela " <i>CONSUMER_UNITS</i> ".	22
2.5	Trabalhos publicados sobre sistemas de gestão de energia em unidades consumidoras.	29
2.6	Classificação das publicações por tema de atuação.	30

Lista de Símbolos e Abreviaturas

<i>ACEEE</i>	<i>American Council for an Energy-Efficient Economy</i>
<i>EMS</i>	<i>Energy Management System</i>
<i>IPM</i>	<i>Intelligent Power Manager</i>
<i>ISO</i>	<i>International Organization for Standardization</i>
<i>SQL</i>	<i>Structured Query Language</i>
ACL	Ambiente de Contratação Livre
ACR	Ambiente de Contratação Regulada
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ASCII	Código Padrão Americano para o Intercâmbio de Informação
ASMAE	Administradora de Serviços do Mercado Atacadista de Energia Elétrica
BEN	Balanco Energético Nacional
BIT	unidade equivalente a um registro binário com um estado
BYTE	unidade equivalente a oito BITS
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CDE	Conta de Desenvolvimento Energético
CEP	Código de Endereço Postal
CERJ	Companhia de Eletricidade do Rio de Janeiro
CMO	Custo Marginal de Operação
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
CNAEE	Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CONER	Conta de Energia de Reserva

CPF	Cadastro de Pessoa Física
CVU	Custo Variável Unitário
DB	Banco de Dados
DevOps	Desenvolvimento e Operação
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
Escelsa	Espírito Santo Centrais Elétricas S/A
GD	Geração Distribuída
GD	Geração Distribuída
HFP	Horário Fora de Ponta
HP	Horário de Ponta
kW	medida da energia elétrica consumida
kW	medida da energia elétrica consumida
kW	medida da energia elétrica consumida
kWh	medida da energia elétrica consumida por um aparelho durante um determinado período de funcionamento
LGPD	Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais
MAE	Mercado Atacadista de Energia
MME	Ministério de Minas e Energia
MMGD	Micro e Mini Geração Distribuída
MP	Medida Provisória
NDC	Contribuição Nacionalmente Determinada
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PERS	Programa de Energia Renovável Social
PLD	Preço de Liquidação das Diferenças
PND	Plano Nacional de Desestatização

PRODIST Procedimentos de Distribuição

Proinfa Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

REN Resolução Normativa

RGR Reserva Global de Reversão

ROL Receita Operacional Líquida

S.I Sistema Internacional de unidades

SCEE Sistema de Compensação de Energia Elétrica

SGBD Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados

SIGE Sistema Integrado de Gestão de Energia

SIN Sistema Interligado Nacional

TCU Tribunal de Contas da União

tep Tonelada Equivalente de Petróleo

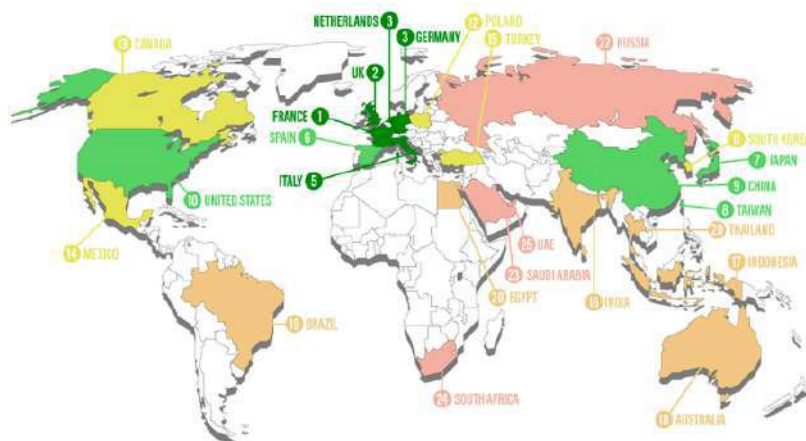
Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivação

A política energética no Brasil prioriza a produção de energia renovável, especialmente em seus setores de eletricidade e transporte (BEN 2021) [50]. Contudo, o país caiu cinco posições em referência aos demais países americanos em termos de eficiência energética segundo o estudo realizado no ano de 2022 pelo *American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE)* [1], sendo classificado como o país com o consumo de energia menos eficiente dos quatro países americanos estudados, ficando na 19ª posição entre 25 importantes economias do mundo, Figura 1.1. [92]

Figura 1.1 – *The 2022 international energy efficiency scorecard.*



Fonte: *American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE)*.

Neste contexto, a avaliação das condições de atendimento às necessidades energéticas dos consumidores brasileiros expõe cenários propícios ao aperfeiçoamento e a customização de sua rede elétrica, proporcionando um retorno financeiro aos seus proprietários e a **motivação** para este trabalho. Isto é feito por meio da instalação de um conjunto de instrumentos de medição. Estes instrumentos coletam dados de consumo em tempo real e os armazenam em um banco de dados. Em seguida, os dados armazenados são consultados por aplicações que realizam a análise do perfil de consumo da unidade, gerando informação para tomada de decisão dos gestores das instalações elétricas observadas.

1.2 Objetivo

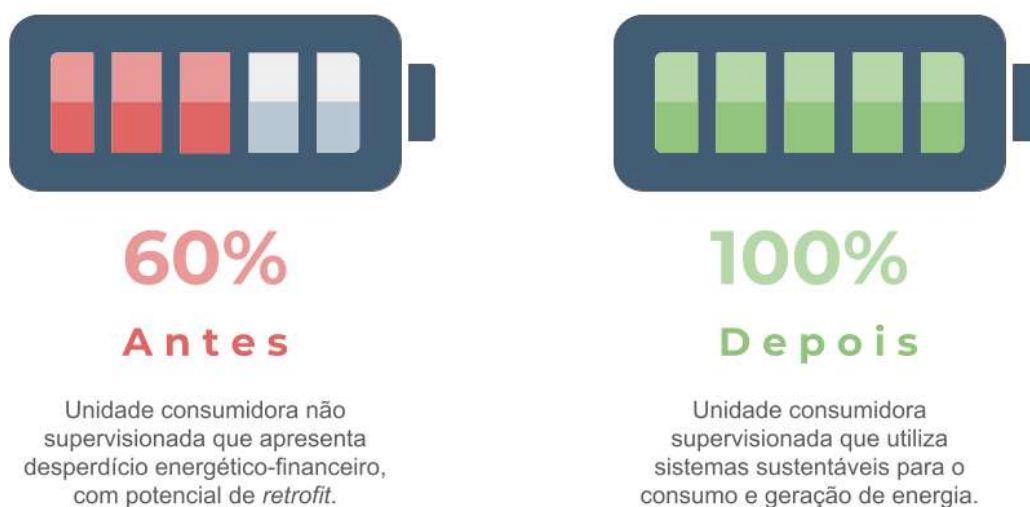
O **objetivo** deste trabalho é o desenvolver um software para a análise do consumo ótimo em redes de distribuição de energia elétrica e a eficiência de seu faturamento no Sistema Interligado Nacional (SIN). Este desenvolvimento é estratificado nos seguintes objetivos:

- Analisar a viabilidade de autoprodução a partir de fontes convencionais e/ou renováveis de energia, implantação de banco de capacitores e execução de *retrofit* nas unidades consumidoras;
- Desenvolver modelo conceitual e relacional do banco para o armazenamento dos dados necessários às aplicações;
- Diagnosticar o perfil energético das instalações e o uso racional da energia;
- Incentivar a implementação de soluções *open-source* de sistemas de gestão de energia pela comunidade acadêmica;
- Propor modelagem para o cálculo dos indicadores de qualidade de energia relacionados às tendências econômicas do faturamento.

Estas análises objetivam prover informações baseadas em fatos e evidências ao gestor ou sistema de controle. As informações coletadas auxiliam na tomada de decisão, seja para se agendar a manutenção automática de equipamentos, diagnosticar problemas na rede elétrica, estimar despesas futuras com energia e obter seu estado ótimo de operação, Figura 1.2. O público alvo destas tecnologias são os consumidores de média e alta tensão em todos os setores da economia.

Nesta dissertação é promovida a metodologia científica aplicada à digitalização do gerenciamento de energia desde o nível de monitoramento e análise de indicadores de desempenho, até os níveis de planejamento, execução e efficientização através das tecnologias atuais e futuras para o desenvolvimento de *softwares* essenciais à captura de valor.

Figura 1.2 – Cenários de observação para tomada de decisão.



1.3 Metodologia

Os projetos de eficiência energética devem demonstrar a importância e a viabilidade econômica do uso de equipamentos, processos e consumo de energia. Por meio de um programa de eficiência energética, é possível disponibilizar energia para outras atividades e/ou se obter ganhos financeiros com a redução da fatura de energia (MAMEDE, 2013) [75]. Já os sistemas computacionais auxiliam na supervisão e tratamento de diversas cargas constituintes da rede elétrica, agregando funcionalidades ao programa. Contudo, os efeitos da eficiência energética podem ser observados além de onde este programa seja aplicado como, por exemplo, na diminuição da necessidade de expansão da infraestrutura da rede de distribuição, na manutenção de sua integridade e na contribuição relativa à redução dos danos ambientais causados pelos poluentes lançados à atmosfera pelas fábricas e usinas termoeletricas. Este programa também exerce um papel importante para o estabelecimento e revisão dos planos de contingência e segurança, identificando as zonas prioritárias em termos energéticos nas redes de distribuição (ROMÉRO *et al*, 2012) [80].

Nessa conjuntura, a **metodologia** para o desenvolvimento da inteligência computacional para as aplicações propostas neste trabalho consiste no estabelecimento de um conjunto de estratégias para a análise do consumo de energia de uma unidade. Estas estratégias são baseadas nos dados de consumo coletados [kW] em um período determinado de tempo, cuja unidade é o kWh. Estes dados descrevem o perfil de consumo em função das atividades executadas nas unidades e representam a síntese de seu estado natural de operação na rede elétrica de distribuição. Esta síntese é aqui entendida como a assinatura energética da unidade. Esta assinatura é utilizada como objeto de observação para aferição do potencial econômico de energia da unidade em estudo. A aferição é realizada por meio da relação dos dados de assinatura energética da unidade com o cenário regulatório do setor elétrico brasileiro, cujo modelo relacional de suas entidades é apresentado nos capítulos seguintes deste trabalho. Dada a complexidade do problema optou-se por dividir a metodologia em 4 fases distintas e sequenciais, Figura 1.3.

Figura 1.3 – Metodologia para análise do consumo ótimo de energia.



1.4 Descrição dos Capítulos

Neste **capítulo introdutório** são apresentadas a motivação, Figura 1.1, o objetivo, Figura 1.2, e a metodologia explorada para o desenvolvimento deste trabalho, Figura 1.3.

No **Capítulo 2** são exploradas as mudanças do setor elétrico brasileiro no contexto científico, regulatório e tecnológico, desde sua versão primitiva até a data da escrita desta dissertação. As mudanças na governança, Figura 2.8, a expansão da diversidade de fontes na matriz elétrica brasileira, Figura 2.9, e o consumo setorial de energia no Brasil, Figura 2.10, provê uma perspectiva do futuro do setor. Neste cenário, sua expansão é impulsionada pela integração de fontes renováveis de energia e os sistemas de micro e mini geração distribuída (MMGD) no sistema interligado nacional (SIN). Este capítulo também aborda o conceito de dados e apresenta o contexto no qual eles estão inseridos, Figura 2.11. Esta explanação consolida a importância deste conceito para a compreensão das atividades realizadas na implementação da solução. Para tal, os dados são apresentados desde seu conceito fundamental até a sua aplicação nos sistemas através de um banco de dados relacional. Além disso, é explanada a sua utilização em outros trabalhos publicados sobre sistemas de gestão de energia (Tabela 2.5).

No **Capítulo 3** são descritos os passos para o projeto do banco de dados relacional utilizado pelas aplicações para o cumprimento dos objetivos predefinidos no capítulo 1. O banco foi explanado desde o seu modelo conceitual, Figura 3.2, projeto lógico, Figura 3.8, modelo físico, Figura 3.9, e sua interação com as aplicações por meio de consultas *SQL*, além da apresentação do conceito de *VIEWS*, que auxiliam neste processo.

No **Capítulo 4** são exploradas as estratégias para o tratamento das despesas que compõem um ciclo de faturamento de uma distribuidora. Nele é apresentado o conceito de "perfil de consumo" como uma forma de analisar as despesas com energia de uma unidade consumidora. Este conceito é aplicado a uma metodologia que busca novas oportunidades de economia no uso da energia através da observação e adequação do perfil de cada unidade.

O **Capítulo 5** apresenta os resultados obtidos da execução das análises sobre três perfis de consumo e o cenário tarifário nos quais eles estão inseridos.

No **Capítulo 6** se condensa os pontos centrais dos objetos de discussão explorados ao logo deste trabalho, apresentando as conclusões sobre eles. Também é realizada uma reflexão sobre o uso da informação para a tomada de decisão, uma auto-avaliação deste trabalho e do cumprimento de seus objetos, assim como as perspectivas futuras, concluindo esta dissertação.

Capítulo 2

Pesquisa e Fundamentação Teórica

Observa-se a tendência disruptiva do modelo da gestão de energia no setor elétrico brasileiro com a popularização da geração distribuída e sua comercialização.

Anteriormente adquirida de forma exclusiva das geradoras, a energia elétrica no Brasil era repassada aos estados através das transmissoras e fornecida aos consumidores através das distribuidoras públicas. Desta forma, este produto era produzido e regulamentado sob o domínio do estado e suas empresas estatais. Atualmente, o setor elétrico tem se modernizado com um modelo de produção descentralizado, ou seja, com a possibilidade de atuação de agentes de comercialização, geração, transmissão e distribuição da iniciativa privada. Este modelo viabiliza a comercialização de energia entre auto-produtores, produtores independentes, geradores, comercializadores, consumidores livres e especiais no mercado livre de energia. Neste cenário, o estado passa a ter sua atuação direcionada à regulação do setor, desestatizando, gradativamente, a produção de energia elétrica no país através da revisão de normas legislativas e a privatização de empresas estatais.

Estas ações possibilitam aos consumidores um papel de maior participação no trato deste recurso, seja por meio de contratos bilaterais de aquisição ou pela produção independente de energia. Com isso, as distribuidoras também podem desenvolver os sistemas computacionais de seus centros de operações, implantando instrumentos de gestão e monitoramento da qualidade da energia nas unidades consumidoras. Estas ações aumentam a perspectiva de observação do sistema elétrico de distribuição.

Nessa conjuntura, a gestão de energia apresenta potenciais de redução nas despesas das unidades, além de garantir a operação sustentável da rede de distribuição quando aplicada em larga escala. Para tal, esta economia é ponderada pelo perfil de consumo e pelas condições da rede elétrica da unidade consumidora.

Com base no que foi exposto, este capítulo apresenta o estado da arte da gestão de energia para o desenvolvimento e operação (DevOps) de aplicações neste contexto, descrevendo as teorias, técnicas e metodologias existentes no escopo do gerenciamento inteligente deste recurso. Também são apresentados os estudos anteriores sobre o tema que sejam essenciais ao entendimento deste trabalho. Nas seções seguintes, a regulação do setor elétrico, os conceitos, as tecnologias, as ferramentas matemáticas e seus instrumentos são revisitados, tais como entidades governamentais, livros, *survey papers*, *seminar papers* e demais fontes de conhecimento científico.

2.1 Legislação e o Setor Elétrico Brasileiro

No Brasil, o **setor elétrico** é regido através de um conjunto de normas que estabelecem regras e diretrizes sobre seus segmentos, Figura 2.1. Estas **normas** são revisadas conforme a evolução do setor e a necessidade da sociedade quanto a utilização da energia elétrica. Para tal, elas são revisadas pelo poder legislativo. Neste escopo, estes conjuntos normativos visam o desenvolvimento sustentável, a operação salubre do setor elétrico nacional assim como sua estabilidade, objetivando um resultado eficaz do manuseio desse recurso.

Figura 2.1 – Segmentos do setor elétrico.



2.1.1 História da Regulação do Setor Elétrico Brasileiro

Em 1879, D. Pedro II concedeu a Thomas Edson a permissão de implementar os primeiros sistemas de iluminação pública do Brasil. A primeira delas foi a iluminação da **Estação Central da Estrada de Ferro D. Pedro II**, no Rio de Janeiro. Nos primórdios da história da energia elétrica no Brasil do final do século XIX, o setor elétrico contava com um conjunto de pequenas regiões dotadas do fornecimento de energia (BRITO *et al*, 2001) [24]. Este conjuntos funcionavam sob regimes regulamentários primitivos, geralmente municipal. Sua existência ocorreu em função das demandas de produção de setores industriais tais como a agricultura, iluminação e transportes públicos (Estado de Alagoas, 2019) [41].

No início do século XX a utilização da energia elétrica foi potencializada como modelo de avanço econômico industrial no Brasil. Esse marco histórico ocorreu com a criação do **Código de Águas**, por meio do Decreto nº 24.643/1934 [67]. Este decreto proveu o país de uma legislação que permitisse ao poder público controlar e incentivar o aproveitamento industrial das águas em território nacional, incluindo sua utilização na geração de energia nas usinas hidroelétricas. Este decreto marcou o início da regulamentação do setor elétrico brasileiro com a participação maior do Estado no setor.

Naquela época, o Estado concentrava todo o controle no que tange à comercialização de energia dentro do setor elétrico. Com o passar dos anos, o setor cresceu ao ponto de o Estado necessitar formalizar uma gestão sustentável dos recursos energéticos, contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico do país. Nesse contexto, foi instituído o primeiro Órgão do Governo Federal no âmbito de energia elétrica como serviço público, o Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica (CNAEE), criado pelo Decreto nº 1.285/1939 [66]. Este conselho nasceu com a finalidade de estudar o problema da exploração e utilização da energia elétrica no país. Em especial, a de origem hidráulica sob as disposições contidas no Código de Águas.

Posteriormente, se iniciou um processo de expansão na esfera da produção e consumo de energia no país. Isso ocorreu em função do avanço tecnológico na indústria, produção de bens de consumo dependentes de energia e da inserção significativa de capital estrangeiro no setor. Como consequência, o Estado vivenciou a necessidade de uma estruturação específica e em conformidade com suas diretrizes para a execução das funções públicas do setor energético, especialmente as de natureza administrativa. Foi então que a Presidência da República, através do Art. 5º da Lei nº 3.782/1960 [13], criou o **Ministério de Minas e Energia (MME)**. O MME surge com o intuito de tratar sobre todas as matérias pertinentes à distribuição e comercialização de energia, além de formular e assegurar a execução de políticas públicas para a gestão sustentável dos recursos energéticos e minerais no país, Figura 2.2.

Figura 2.2 – Reunião com dirigentes de associações do setor elétrico.



Fonte: Ministério de Minas e Energia (MME). [43]

Nesse ínterim, foi assinada a Lei nº 3.890/1961 [14], que autorizou a União a criar uma empresa para coordenar todas as empresas do setor elétrico subordinadas ao MME, a **Eletrobras**. Entre 1963 e 1979, a estatal promoveu um intenso processo de nacionalização e estatização da produção por meio de grandes investimentos, Figura 2.3. A Eletrobras foi criada com o propósito de gerir, transmitir e distribuir a energia elétrica, contribuindo com o avanço da industrialização do setor no país. Em seguida, com a Lei nº 4.904/1965 [15], foi criado o Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), órgão integrante da estrutura do MME. Este departamento passou a ser responsável por promo-

ver e desenvolver a produção de energia elétrica no Brasil. Após este período, o CNAEE foi perdendo gradualmente suas funções, sendo extinto em 1969.

Figura 2.3 – Construção da Usina Hidrelétrica de Paulo Afonso/BA.



Fonte: Centro da Memória da Eletricidade no Brasil. [31]

Nos anos seguintes, a situação de inadimplência das empresas de energia se tornou insustentável, culminando na crise do setor durante a década de 90. Como consequência das dificuldades financeiras, as concessionárias do sistema elétrico começaram a não ter renda para pagar os tributos federais ou eram levadas a adiar o seu pagamento, além de comprometer o pagamento do consumo de energia fornecida pelas geradoras, evidenciando o esgotamento do modelo público estabelecido (GOMES, 2009) [57]. Contudo, este cenário começou a mudar com o **Plano Nacional de Desestatização (PND)** implementado pela Medida Provisória¹ 155/1990 [19] e a criação da concessão do serviço público por meio da Lei nº 8.987/1995 [16], que abriu espaço para a descentralização de vários setores de infraestrutura, incluindo o setor elétrico.

A respeito disso, CORRÊA (2005) [74] leciona que:

“O instituto da ‘concessão de serviço público’ era justificado em razão das dificuldades no atendimento a toda a série de novas exigências determinadas, principalmente nos centros urbanos, pelo acesso às mudanças tecnológicas nos serviços públicos, surgindo assim os primeiros contratos de obras e serviços públicos.”

Além de incentivar novos empreendimentos em geração e novos contratos de licitação, a nova legislação previa a abertura para produção independente e a liberdade para que alguns consumidores pudessem escolher seus respectivos fornecedores no futuro, o

¹MP convertida na Lei nº 8.031, de 1990 e *a posteriori* revogada pela Lei. nº 9.491, de 1997.

que viabilizou a criação do Mercado Atacadista de Energia (MAE) e da Administradora de Serviços do Mercado Atacadista de Energia Elétrica (ASMAE). O intuito era desenvolver dois setores distintos dentro da organização do fornecimento de energia, separando um **mercado cativo**, com estrutura tarifária regulamentada estritamente pelo princípio do teto de preços e um **mercado livre**, onde produtores poderiam negociar livremente quantidades e prazos de fornecimento.

Após a homologação da Lei das Concessões, as privatizações começaram pela venda da distribuidora do Espírito Santo (Escelsa), da Light e da Companhia de Eletricidade do Rio de Janeiro (CERJ) (GOMES, 1996) [42]. Em 1996, a **Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)** foi instituída nos termos da Lei nº 9.427/1996 [17] como autarquia em regime especial subordinada ao MME, dando início a reestruturação do setor. A agência reguladora é membro da administração pública indireta e compõe o poder Executivo, não podendo, portanto, ser autônoma em relação a este. Contudo, ela é autônoma em relação ao chefe do Executivo. Assim, a ANEEL surge com a finalidade de regular e fiscalizar a geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, em conformidade com as novas políticas e diretrizes do Governo Federal, Figura 2.4. Regulamentada pelo Decreto nº 2.335/1997 [4], a agência assumiu funções desde o estabelecimento de tarifas até a mediação de conflitos, anteriormente exercidas pelo DNAEE, sendo este formalmente extinto na mesma ocasião. Neste cenário de descentralização do setor elétrico, a ANEEL se tornou um símbolo desse novo modelo híbrido, no qual a geração, transmissão e comercialização eram majoritariamente de empresas estatais, enquanto a distribuição passou a ser, gradativamente, privada.

Figura 2.4 – Consulta pública sobre as novas regras para a Geração Distribuída (GD).



Fonte: Canal Solar. [84]

Visando tratar sobre a política energética nacional e as atividades relativas ao monopólio do petróleo, o Governo Federal instituiu o **Conselho Nacional de Política Energética (CNPE)** por meio da Lei nº 9.478/1997 [18]. Este novo conselho é responsável por assessorar o presidente da República a respeito de assuntos relacionados à formulação de políticas nacionais e diretrizes do setor energético, auxiliando o chefe do poder executivo na tomada de decisão eficiente.

Este contexto legislativo propiciou a liberação do mercado de energia pela ANEEL. Isto foi realizado por meio da criação do **Ambiente de Contratação Livre (ACL)** através da Resolução Normativa (REN) nº 265/1998 [33]. Com esta ação, o estado concentra menos esforços no controle direto da produção e do fornecimento, passando de um Estado produtor para um Estado regulamentador.

Sob esta nova ótica para o setor, o Estado cria o **Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS)**, instituído como uma pessoa jurídica de direito privado, na forma de associação civil sem fins lucrativos. O ONS foi criado através da Lei nº 9.648/1998 [20] visando garantir a segurança do suprimento contínuo de energia em todo o país. Este órgão assume a responsabilidade pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN) e pelo planejamento da operação dos sistemas isolados do país, Figura 2.5. Para tal, o ONS atua sob a fiscalização e regulação da ANEEL.

Figura 2.5 – Centro de Operações Integradas da ONS no Rio de Janeiro.



Fonte: Esfera Energia. [55]

No início dos anos 2000, o Brasil era significativamente dependente das usinas hidrelétricas para o abastecimento interno de energia elétrica, as quais representavam uma parcela de 89% de sua matriz elétrica (BEN, 2001) [44]. Além desta forte dependência, a redução da ocorrência de chuvas, o aumento da demanda por eletricidade e o planejamento ineficiente do Governo na gestão do crescimento do setor tiveram como consequência uma sobrecarga no SIN. Este fato gerou um sério risco de interrupções forçadas no fornecimento de energia, culminando em uma nova crise no setor elétrico, gerando escassez deste recurso no país. Quando a **crise energética** se tornou eminente, não haviam redes de transmissão o suficiente para atender às regiões deficitárias, e as termelétricas estavam em fase de construção [5], ou seja, não poderiam ser acionadas em casos de escassez energética, tal como é realizado nos dias atuais. A principal medida adotada para a contenção da crise foi o racionamento de energia, que incluiu indústrias, estabelecimentos comerciais e residências particulares das regiões Sudeste, Nordeste e Centro-Oeste do Brasil entre junho de 2001 e março de 2002. Esta ação foi coordenada pelo Comitê de Gestão da Crise de Energia Elétrica, criado através da Medida Provisória nº 2.198-5/2001 [22].

A respeito do consumo de energia neste ano, o BEN (2003) [45] informa que:

"O Consumo Final de Energia em 2002 foi de 177,4 milhões de tep , montante correspondente a 89,6% da Oferta Interna de Energia e 2,9 vezes superior ao de 1970. A indústria com 37%, o transporte com 27% e o residencial com 12%, respondem por 76% do consumo final de energia."

Visando resgatar a responsabilidade constitucional do Estado em assegurar as bases para o desenvolvimento sustentável da infraestrutura energética do país, o Governo Federal instituiu uma nova pessoa jurídica de direito privado, a **Empresa de Pesquisa Energética (EPE)**. Criada por meio da Lei 10.847/2004 [9], regulamentada pelo Decreto 5.184/2004 [8] e subordinada ao MME, a EPE depende financeiramente do Orçamento Geral da União e atua na criação de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético. Seus estudos são direcionados a energia elétrica, petróleo e gás natural, além de seus derivados, Figura 2.6.

Figura 2.6 – *WEBMAP* interativo do sistema energético brasileiro.



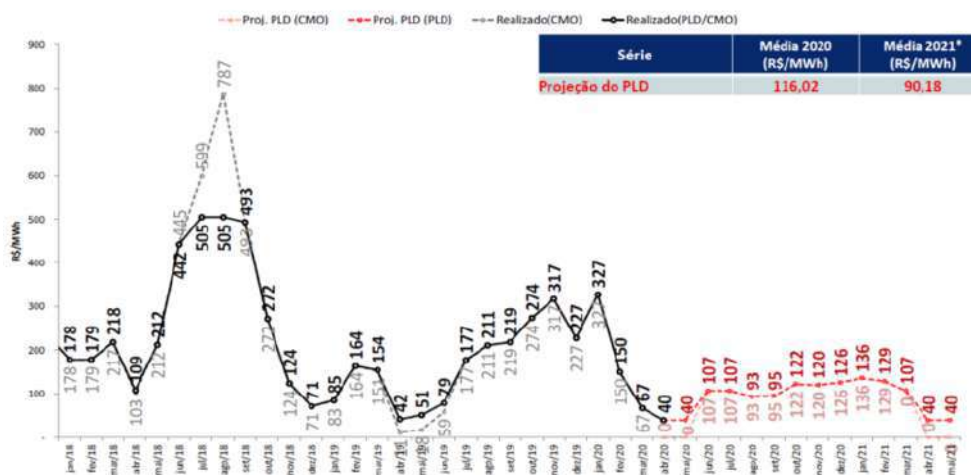
Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (EPE). [48]

O racionamento de energia causou uma redução forte na demanda e comprometeu o equilíbrio econômico-financeiro do setor elétrico. Um dos efeitos do racionamento foi a recusa de empresas de liquidar débitos, causando suspensão de operações e intervenção da ANEEL no MAE. Para lidar com o problema, foi implantado o Novo Modelo do Setor Elétrico, estabelecido a partir da Medida Provisória¹ nº 144/2003 [10], que viabilizou a sucessão da ASMAE pela **Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE)**, sendo regulamentada pelo Decreto 5.177/2004 [6]. Esta lei é conhecida como a lei do “Novo Modelo do Setor Elétrico” e tratou com mais efetividade a gestão dos aspectos

¹MP convertida na Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004.

que geraram a crise, otimizando o setor com novas diretrizes do Governo Federal. A CCEE concentra suas atividades no registro dos contratos de comercialização de energia elétrica e na contabilização dos montantes comercializados nos mercado livre e regulado, todas executadas sob regulação e fiscalização da ANEEL. A câmara também realiza a liquidação financeira dos valores das operações de compra e venda no mercado de curto prazo. Além disso, a CCEE é responsável pelo cálculo e divulgação do **Preço de Liquidação das Diferenças (PLD)**, Figura 2.7, e pela realização de leilões de energia nova, por delegação da ANEEL. Outras de suas funções são a estruturação e gestão da Conta de Energia de Reserva (CONER) e da Conta Centralizadora dos Recursos de Bandeiras Tarifárias, além da gestão administrativa dos recursos financeiros da Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), da Reserva Global de Reversão (RGR), da Conta Proinfa, geridas pela Eletrobras até 2017, e da Conta Ambiente de Contratação Regulada (ACR), todas visando a estabilidade do sistema financeiro do setor elétrico.

Figura 2.7 – Projeção do PLD - Nordeste.



Fonte: Grid Energia. [56]

Da necessidade de acompanhar e avaliar a continuidade e segurança do suprimento de energia elétrica no país, o Governo Federal instituiu o **Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE)** pela Lei 10.848/2004 [10], e pelo Decreto nº 5.175/2004 [7]. O CMSE é coordenado pelo MME e participa do comitê de membros da ANEEL, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). O comitê determina o despacho termelétrico fora da ordem de mérito para garantir a segurança do abastecimento elétrico do país. O despacho fora da ordem de mérito prevê o acionamento de termelétricas de Custo Variável Unitário (CVU) superior ao Custo Marginal de Operação (CMO) daquele momento. Desta forma, o CMSE realiza a análise integral e periódica da segurança do abastecimento e atendimento aos mercados de energia elétrica, gás natural, petróleo e seus derivados. Isto é feito por meio da gestão da mudança de forma estratégica para que os recursos energéticos sejam aproveitados da melhor forma possível, integralizando o ambiente de governança

do setor elétrico brasileiro no ato da escrita desta dissertação.

Alguns anos depois, a ANEEL estabelece as condições gerais para o acesso de **Micro e Mini Geração Distribuída (MMGD)** aos sistemas de distribuição de energia elétrica, assim como o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) em território nacional. Esta ação foi regulada pela ANEEL conforme REN nº 482/2012 [36]. Contudo, os encargos da manutenção do SIN não incidiam sobre a totalidade da energia absorvida na rede elétrica pelo consumidor MMGD. Este problema foi solucionado pela CNPE com a inserção destes encargos nas tarifas de uso da rede no faturamento dos consumidores MMGD, realizada através da Resolução nº 15/2020 [52]. Com esta resolução, a ANEEL alinhou suas ações às diretrizes emitidas pelo CNPE. Nela destacam-se, também, o livre acesso do consumidor às redes das distribuidoras para fins de conexão de Geração Distribuída, a segurança jurídica e a segurança regulatória destas atividades.

No ano seguinte, a ANEEL publicou a REN nº 1.000/2021 [23], que consolidou as principais regras da agência para a prestação do serviço público de distribuição de energia elétrica no país. A nova norma modifica atos normativos relativos aos direitos e deveres do consumidor e dos demais usuários do serviço público de distribuição de energia, definindo as responsabilidades dos agentes e os procedimentos a serem seguidos pelos consumidores. Para isso, o documento modifica 61 normas, nas quais parte delas envolvem diretamente o setor de MMGD.

Entre as principais resoluções revogadas pela REN nº 1.000/2021 estão:

- REN 376/2009 [34]: Contratação de energia elétrica por consumidor livre no Sistema Interligado Nacional;
- REN 414/2010 [35]: Condições gerais de fornecimento de energia elétrica;
- REN 547/2013 [37]: Bandeiras Tarifárias – Procedimentos comerciais;
- REN 581/2013 [38]: Prestação de atividades acessórias pelas distribuidoras;
- REN 733/2016 [39]: Aplicação da modalidade tarifária horária branca;
- REN 819/2018 [40]: Recarga de veículos elétricos.

As principais modificações nestas resoluções são:

- O consumidor terá até cinco anos para pedir à distribuidora o ressarcimento do valor pago por equipamentos danificados devido a falhas no fornecimento de energia;
- Um rito específico que prevê a conexão em 45 dias para unidades com potência contratada de até 140 kVA, em área urbana, distância até 150 metros da rede e onde não haja a necessidade de obras de ampliação, de reforço ou de melhoria no sistema de distribuição;
- Se a distribuidora cobrar um valor maior do consumidor de forma indevida, deverá devolvê-la em dobro;
- Vedação de corte da energia nos finais de semana e feriados;
- Distribuidora deverá avisar quando começa o corte de energia.

Desde então, a ANEEL tem regulado, gradativamente, a transição das regras de concessão aos consumidores MMGD, considerando os seus benefícios, no escopo da Lei nº 14.300/2022 [12]. A nova lei institui o marco legal da MMGD, o SCEE e o Programa de Energia Renovável Social (PERS). Estas ações integram o ambiente regulatório do setor elétrico brasileiro no ato da escrita desta dissertação.

2.1.2 Governança Vigente

Diante do atual cenário econômico e político do setor de elétrico exposto, o segmento de distribuição passou a ter a presença de alguns organismos regulamentadores corporativos como: O Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), o qual realiza um papel de assessoramento ao chefe do poder executivo no desenvolvimento de políticas para o setor; O Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE), que assegura a eficiência do suprimento de energia; O Operador Nacional do Sistema (ONS), operando na coordenação, controle, geração e transmissão de energia; A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) responsável por desenvolver planejamentos integrados e de longo prazo para o setor elétrico e a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), que tem o intuito de organizar o mercado de compra e venda de energia. Juntos, estas entidades governamentais constituem a **governança vigente do setor elétrico brasileiro**, Figura 2.8.

Figura 2.8 – Entidades governantes do setor elétrico brasileiro.



Fonte: Adaptada pelo Autor.

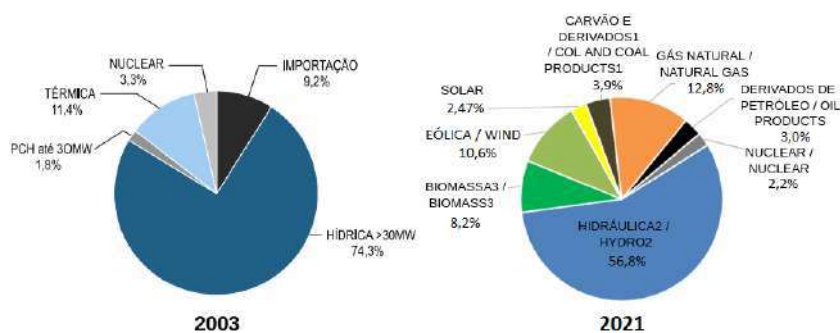
Para o crescimento do setor elétrico, o Governo Federal instituiu os recursos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) e de Eficiência Energética por meio da Lei nº 9.991/2000 [21]. Nos termos dessa lei e seus regulamentos, os agentes de geração e transmissão são obrigados a destinar percentual de 1% da Receita Operacional Líquida (ROL) para P&D. Já os agentes de distribuição devem destinar 0,5% da ROL para P&D e 0,5% para programas de eficiência energética.

Não menos relevantes, contudo, fora da gestão do órgão e das entidades que constituem a governança vigente, pode-se mencionar ainda o Congresso Nacional, o Tribunal de Contas da União (TCU) e o Ministério Público como instituições que afetam as relações entre agentes no setor elétrico.

2.1.3 A Matriz Elétrica Brasileira

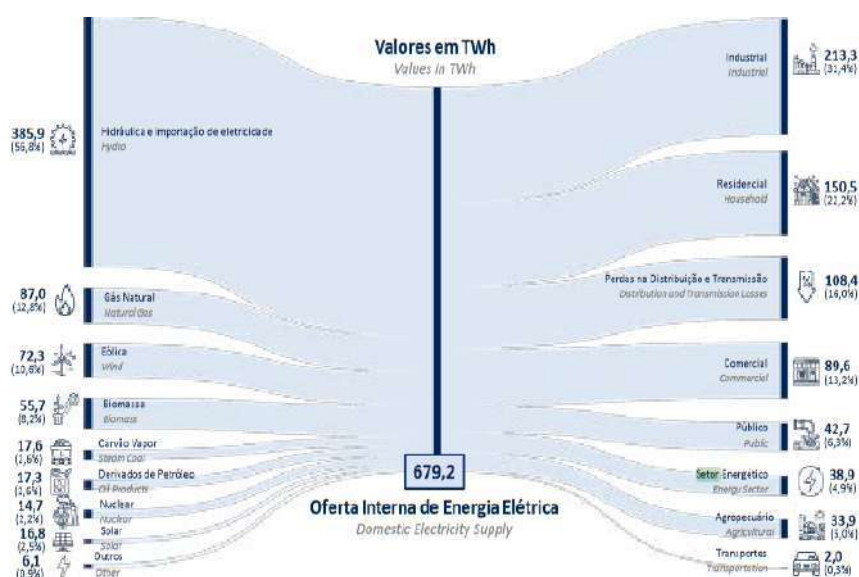
A **matriz elétrica** é formada pelo conjunto de fontes disponíveis para a geração de energia elétrica nos estados e municípios de um país. Atualmente, as usinas hidrelétricas permanecem como maior constituinte da matriz elétrica brasileira. Contudo, sua matriz tem se expandido desde a crise energética dos anos 2000, agregando novas fontes de energia ao setor, reduzindo a dependência das usinas hidrelétricas para manutenção do SIN. Neste novo cenário, se destacam a produção de fontes renováveis de energia como a energia eólica e de biocombustíveis, assim como a energia solar, incentivadas pela abertura de mercado, incentivos tributários e a geração distribuída. Em 2020, pouco mais de 100 anos depois da chegada da eletricidade, o Brasil está entre os maiores produtores de energia elétrica do mundo, com uma capacidade instalada de 174.412,6 MW, além de contar com 74,76% de suas usinas alimentadas por fontes sustentáveis de energia, Figura 2.9 e 2.10.

Figura 2.9 – Evolução da Matriz Elétrica Brasileira.



Fonte: BEN 2004 [49] e BEN 2022 [51].

Figura 2.10 – Consumo Setorial da Matriz Elétrica do Brasil.



Fonte: BEN 2022 [51].

2.2 Dados

Para se definir o que é um **dado**, se faz necessário compreender o conceito de registro. Um **registro** é uma estrutura física que armazena uma condição de estado de um sistema dentre várias possibilidades, ou seja, é algo que existe fisicamente, é algo tátil, é o contrário de algo abstrato. Uma lâmpada pode ser considerada um registro de dois estados: acesa ou apagada.

Para o estudo da computação é adotado um tipo de registro, o **registro binário**. O registro binário possui dois estados: ligado "1" ou desligado "0".

Sobre este conceito, em computação, um dado é apresentado como um estado de um registro ou um conjunto de registros. Um conjunto de dados pode ser definido como uma representação de fatos, conceitos ou instruções. Estes dados são organizados de maneira adequada para a comunicação, interpretação ou transformação pelo homem ou dispositivo eletrônico que o utiliza.

Um dado se torna útil quando passível de relação com algo da realidade, aspecto de um problema ou um contexto. Quando isso ocorre, um dado pode ser chamado de **informação**. Os estados das lâmpadas de um semáforo transmitem instruções aos condutores de veículos.

Uma vez relacionados os conceitos de dados e informação, pode-se observar que nem todo tipo de informação pode ser representada por apenas um registro binário ("0" e "1") como, por exemplo, o número de cadastro de pessoa física (CPF), nome completo ou data de nascimento de um cidadão. Para tal, um conjunto de registros binários é utilizado para sua representação.

Sabendo que um dado binário é formado por um conjunto de dois registros mais o estado de cada um deles, dados ou informações mais complexas podem ser representadas pela aglomeração de um conjunto de registros binários. As palavras em um painel de *LED* são formadas pelos conjuntos dos estados de cada um deles, formando frases de maneira a transmitir a informação ao leitor. Desta maneira, é possível relacionar outros tipos de informação aos registros binários, concatenando diversos registros e seus respectivos estados.

Uma vez que um dado é contável, ele deve possuir uma unidade. A unidade utilizada em computação para a contagem de dados é o *BIT* (Equação 2.1). Um *BIT* equivale a um registro binário com um estado.

$$1 \text{ BIT} = \text{REGISTRO} + \text{ESTADO} \quad (2.1)$$

Logo, um dado é mensurado pela quantidade de registros necessários para representá-lo, por exemplo: 40 *BITs* de dados, ou seja, 40 registros binários, cada um com seu estado. Em computação é comum utilizarmos 8 *BITs* (Equação 2.2), agrupá-los e definir uma nova unidade chamada de *BYTE*.

$$8 \text{ BITs} = 1 \text{ BYTE} \quad (2.2)$$

A partir do *BYTE* pode-se definir diversas outras unidades (Tabela 2.1).

Definidas as unidades quantitativas dos dados e os preceitos físicos que os constituem, alguns números interessantes sobre sua presença e dimensionamento podem ser explorados. O "*A Day in Data*" [79] estima uma quantidade de dados produzidos por dia na internet (2.3) e a quantidade de dados existentes no universo digital (2.4) no ano de 2020, respectivamente:

$$463 EB = 463.000.000.000.000.000.000 BYTES \quad (2.3)$$

$$44 ZB = 44.000.000.000.000.000.000.000 BYTES \quad (2.4)$$

Esta quantidade massiva de dados necessita uma quantidade equivalente de registros para representá-los. Além disso, há também preocupação quanto ao tratamento e o processamento dessa quantidade de informação (O'Reilly, 2012) [87]. Estes fatos evidenciam a necessidade de soluções que, além de resolverem os problemas para os quais se destinam, sejam capazes de prover resultados em tempo hábil, lidando com uma grande de informação de forma eficiente. Esse montante de dados também evidencia o potencial de estudos que podem ser realizados sobre eles, gerando conhecimento e cautela quanto a sua utilização (Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais, LGPD, nº 13.709/2018) [11].

2.2.1 Processamento de dados

Um algoritmo pode demorar para resolver o problema proposto, ou precisar de muita memória para tratá-lo quando exposto a uma quantidade massiva de informação. Isso significa que há necessidade de muito recurso computacional para executá-lo. Nesse contexto, um problema computacional pode ter várias soluções, onde a qualidade dos algoritmos propostos para uma determinada solução impacta a viabilidade de implementá-lo, utilizá-lo, ou ambos. Assim, o processamento dos dados requer o tratamento ótimo da informação para ser computacionalmente eficiente.

Existem algumas técnicas para avaliar a qualidade dos programas, além de sua funcionalidade. Estas técnicas são baseadas nas operações sobre os dados como, por exemplo:

- Acessar;
- Comparar;
- Modificar;
- Transferir.

O número de operações que um programa necessita realizar para resolver um problema proposto representa o quão eficiente ele é para solucioná-lo. Para mensurar esta eficiência, é necessário saber como os algoritmos processam os dados.

No aspecto científico, a computação de uma quantidade grande de dados (*big data*) representou a criação de um novo paradigma, denominado o **4º paradigma**. Este paradigma consiste em uma nova metodologia de desenvolver a ciência, baseada no uso intensivo de dados e na utilização de computação avançada para interpretar essas informações e criar novo conhecimento. Este método permite avançar as fronteiras do conhecimento por meio de novas tecnologias para coletar, manipular, analisar e exibir dados, agregando conhecimento aos estudos científicos e seus resultados.

2.2.2 Representação de dados

Nem todo tipo de informação pode ser representada por apenas um registro binário ("0" ou "1"). Em muitas situações, é necessário representar os dados mais complexos como, por exemplo, o número de cadastro da pessoa física (CPF), nome completo e data de nascimento de um cidadão. Pode-se representar este tipo de informação por meio de um conjunto de registros binários que, quando combinados, formam uma abstração para a manipulação destes dados.

As letras do alfabeto podem ser representadas por um conjunto de registros binários:

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z

| reg. 1 | reg. 2 | reg. 3 | reg. 4 | reg. 5 | reg. 6 | reg. 7 | reg. 8 | . . . | reg. N | (2.5)

Onde cada uma das letras do alfabeto pode ser representada por um conjunto de estados de 8 registros binários, ou seja, 1 *BYTE*:

A equivale a $(01000001)_2$ (2.6)

É possível utilizar dos mesmos registros para representar os símbolos cujas possibilidades de estado tenham a mesma ordem de grandeza, tais como as letras do alfabeto, ilustradas na tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Representação binária de algumas letras do alfabeto.

Letra	reg. 1	reg. 2	reg. 3	reg. 4	reg. 5	reg. 6	reg. 7	reg. 8
A	0	1	0	0	0	0	0	1
B	0	1	0	0	0	0	1	0

Fonte: Autor.

Normalmente existem tabelas que associam os registros com alguma possibilidade de estado como, por exemplo, a tabela *ASCII* (Apêndice B).

Dados mais complexos necessitam de um número maior de registros binários para serem representados. Para tal, existe uma relação entre o tipo de dado e o seu tamanho (quantidade de registros binários). Assim, cada tipo de dado tem um tamanho equivalente ao número de registros binários necessários para representar todos os seus estados possíveis. O tamanho de um tipo de um dados é representado em *BYTES* (Tabela 2.3).

Logo, para cada registro binário, tem-se:

2 possibilidades de estado (2.7)

e para cada registro binário adicionado ao conjunto de registros, o número de possibilidades será dobrada:

2.2.2.2.2 . . . n possibilidades de estado (2.8)

Assim, para determinar o **número de estados** (x) que um número de *BITS* (n) pode representar utiliza-se da equação (2.9).

$$x = 2^n \quad (2.9)$$

Analogamente, o **número de bits** necessários para representar uma quantidade de dados (estados) é calculado pela equação (2.10).

$$n = \log_2 x \quad (2.10)$$

Tabela 2.3 – Tipos de dados nas linguagens *SQL* e *C*, respectivamente.

L	Tipo	Tamanho	Estados	Valores/Formato
SQL	CHAR(<i>Length</i>)	<i>Length</i> bytes	$2^L - 1$	String (0-255)
SQL	VARCHAR(<i>Length</i>)	String length + 1 bytes	$2^{[(L+1) \times 8 - 1]}$	String (0-65535)
SQL	TINYTEXT	String length + 1 bytes	$2^{[(L+1) \times 8 - 1]}$	String (0-255)
SQL	TEXT	String length + 2 bytes	$2^{[(L+2) \times 8 - 1]}$	String (0-65535)
SQL	BLOB	0 a 65535 bytes	$2^{65535 \times 8} - 1$	String (0-65535)
SQL	MEDIUMTEXT	String length + 3 bytes	$2^{[(L+3) \times 8 - 1]}$	String (0-16777215)
SQL	MEDIUMBLOB	0 a 16.777.215 bytes	$2^{(16777215 \times 8)} - 1$	String (0-16777215)
SQL	LONGTEXT	String length + 4 bytes	$2^{[(L+4) \times 8 - 1]}$	String (0-4294967295)
SQL	LOB	0 a 4.294.967.295 bytes	$2^{(4294967295 \times 8)} - 1$	String (0-4294967295)
SQL	TINYINT(<i>Length</i>)	1 byte	$2^8 - 1$	-128 a 127
SQL	SMALLINT(<i>Length</i>)	2 bytes	$2^{16} - 1$	-32768 a 32767
SQL	MEDIUMINT(<i>Length</i>)	3 bytes	$2^{24} - 1$	-8388608 a 8388607
SQL	INT	4 bytes	$2^{32} - 1$	-2147483648 a 2147483647
SQL	BIGINT(<i>Length</i>)	8 bytes	$2^{64} - 1$	$-9,2 \cdot 10^{18}$ a $9,2 \cdot 10^{18}$
SQL	FLOAT	4 bytes	$2^{32} - 1$	$3,4 \cdot 10^{-38}$ a $3,4 \cdot 10^{38}$
SQL	DOUBLE(<i>Length</i> , <i>Decimals</i>)	8 bytes	$2^{64} - 1$	$1,7 \cdot 10^{-308}$ a $1,7 \cdot 10^{308}$
SQL	DECIMAL(<i>Length</i> , <i>Decimals</i>)	Length + 1 ou 2 bytes	$2^{16} - 1$	"DOUBLE" como string
SQL	DATE	3 bytes	$2^{24} - 1$	YYYY-MM-DD
SQL	DATETIME	8 bytes	$2^{64} - 1$	YYYY-MM-DD HH:MM:SS
SQL	TIMESTAMP	4 bytes	$2^{32} - 1$	YYYYMMDDHHMMSS
SQL	TIME	3 bytes	$2^{24} - 1$	HH:MM:SS
SQL	ENUM	1 ou 2 bytes	$2^{16} - 1$	0 a 255
SQL	SET	1, 2, 3, 4, or 8 bytes	$2^{64} - 1$	-32768 a 32767
SQL	BOOLEAN	TINYINT(1)	$2^8 - 1$	0 para "false", $\neq 0$ para "true"
C	boolean	1 bit	2^1	"true" e "false"
C	byte	1 byte	$2^8 - 1$	-127 a 128
C	short int	2 bytes	$2^{16} - 1$	-32768 a 32767
C	int	4 bytes	$2^{32} - 1$	-2147483648 a 2147483647
C	long int	8 bytes	$2^{64} - 1$	$-9,2 \cdot 10^{18}$ a $9,2 \cdot 10^{18}$
C	float	4 bytes	$2^{32} - 1$	$3,4 \cdot 10^{-38}$ a $3,4 \cdot 10^{38}$
C	double	8 bytes	$2^{64} - 1$	$1,7 \cdot 10^{-308}$ a $1,7 \cdot 10^{308}$
C	char	1 byte	$2^8 - 1$	0 a 255

Fonte: *cplusplus/Doc./Data Types* [3] e *MySQL/Doc./Data Types* [28].

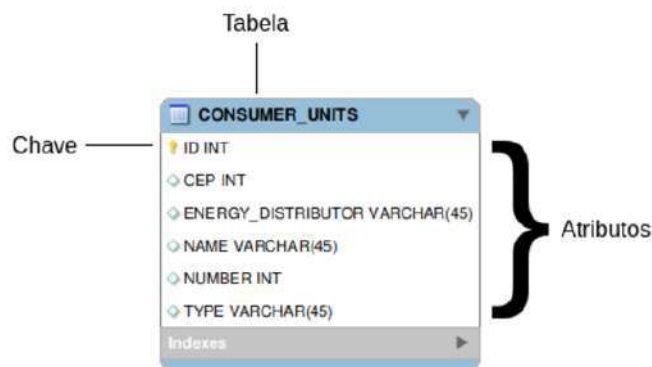
2.2.3 Banco de Dados

Um **banco de dados (DB)** é um *software* que armazena um conjunto de dados relacionados entre si, representando informações sobre um escopo específico. Sempre que for possível agrupar informações que se relacionam e tratam de um mesmo assunto, pode-se dizer que é possível, também, modelar um banco de dados capaz de lidar com esta informação (KORTH, 2020) [86].

Existem vários tipos de bancos de dados, tais como o banco de dados relacionais e o banco de dados orientados a objetos (BOSCARIOLI, Clodis *et al*, 2006.) [88]. Neste trabalho será adotado o **banco de dados relacional**, explanado nesta seção. Este tipo de banco de dados foi escolhido por oferecer um número maior de ferramentas para sua manipulação, além de ser amplamente utilizado nos sistemas computacionais.

Os bancos de dados relacionais usam relações para representar e armazenar os dados. A **relação** é um conceito da álgebra relacional que é utilizada para modelar o banco de dados, tecendo uma ligação semântica entre dois ou mais conjuntos de informações. No Modelo Relacional, elas são também chamadas de **entidades** ou **tabelas** em sua representação lógica computacional. Por exemplo, em uma tabela "*CONSUMER_UNITS*" são armazenadas informações sobre as diversas unidades consumidoras de uma cidade, Figura 2.12.

Figura 2.12 – Tabela "*CONSUMER_UNITS*".



Fonte: *MySQL Workbench*.

As informações desta tabela são armazenadas em seus **atributos** (colunas) como, por exemplo "*CEP*", "*ENERGY_DISTRIBUTOR*", "*ID*", "*NAME*", "*NUMBER*" e "*TYPE*". Cada atributo deve ter um domínio definido. O **domínio** representa todos os valores possíveis que um atributo pode receber. Por exemplo, o atributo "*ID*" pode receber um conjunto de número com dez dígitos. Por outro lado, o atributo "*NAME*" pode receber um conjunto de cadeias de caracteres que representa o nome da unidade consumidora. Desse modo, o domínio de um atributo define qual o tipo de dado e o formato que o dado pode ser armazenado por aquele atributo como, por exemplo, o formato do atributo "*CEP*" é "nnnnn-nnn". Desta maneira, o formato descreve como o dado será exibido para o usuário do sistema.

Outro aspecto importante no conceito de tabelas e atributos é a possibilidade de individualização de cada um dos objetos representados nas tabelas. Esta individualização é realizada através da definição de um atributo como "a chave" que representa, individualmente, cada um dos objetos da tabela, ou seja, para cada tabela um atributo chave é definido. Por exemplo, na tabela "*CONSUMER_UNITS*" o atributo "*ID*" é definido como o seu atributo chave.

Os valores dos atributos de uma tabela são representados por suas **tuplas** (linhas). Se uma tabela não tiver tuplas, ela estará vazia, ou seja, sem dados. Desse modo, quando realizada uma busca em um banco de dados, se recebe como resposta as tuplas do banco de dados daquele site. Estas tuplas estão relacionadas de forma semântica com o texto procurado e são chamadas de **registros** por grande parte dos desenvolvedores. As tuplas da tabela "*CONSUMER_UNITS*" são apresentadas na Tabela 2.4. Quando tabelas são criadas em um banco de dados, é comum que uma ou mais colunas tenham restrições que lhes estão associadas. A **restrição** pode ser definida como uma regra associada a uma coluna que diz quais as limitações dos dados inseridos nela. Por exemplo, a restrição *UNIQUE*, em *SQL*, garante que o conteúdo da coluna assuma um valor diferente para cada linha da tabela, ou seja, eles devem ser todos originais (*MySQL* 8.0, 2020) [29].

Tabela 2.4 – Valores dos atributos de tabela "*CONSUMER_UNITS*".

CEP	<i>ENERGY_DISTRIBUTOR</i>	<i>ID</i>	<i>NAME</i>	<i>NUMBER</i>	<i>TYPE</i>
59067310	COSERN	68627	ESCOLA	8005	BT
60067320	CELPE	76534	INDÚSTRIA	7080	AT
70067330	CEPISA	14234	SHOPPING	5980	MT
80067340	ELEKTRO	67589	HOSPITAL	4052	AT

Neste conceito, o usuário descreve os passos a serem executados para a extração de dados de um banco por meio de um conjunto de operações binárias. Estas operações utilizam como recurso de entrada uma ou mais relações, produzindo uma nova relação. Esta relação gerada é chamada de **consulta** ou **query** (ROB & CORONEL, 2011) [27].

Os dados de um banco são gerenciados por um **Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD)**, que consiste em um *software* dotado de recursos capazes de manipular as informações em um banco e interagir com o usuário. Para tal, o SGBD disponibiliza uma interface na qual os usuários podem incluir, alterar ou consultar dados previamente armazenados. Existem diversos SGBD no mercado, tais como o *MySQL*, *Oracle*, *PostgreSQL* etc. Neste trabalho será adotado o *MySQL*, por ser *Open-Source* mais popular do mundo (*DB-Engines Ranking ranks*, 2022) [65]. Nos bancos de dados relacionais, a interface permite a execução de comandos na linguagem *SQL* (*Structured Query Language*).

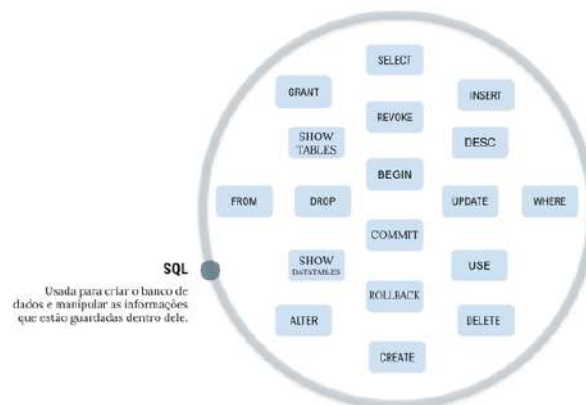
O *SQL* é uma linguagem declarativa para a realização de consultas em um banco de dados. Em *SQL*, o esforço de codificação é resumido na escrita de solicitações que são submetidas ao SGBD. Esta linguagem abstrai as operações de álgebra relacional, Figura 2.13, para o ambiente computacional, Figura 2.14. Sua utilização é fundamental para a extração de dados de um banco pelas aplicações (ELMASRI, Ramez *et al*, 2005) [89].

Figura 2.13 – Conjunto de operações realizadas sobre as relações.



Fonte: Autor e SANTANCHÊ, 2013.

Figura 2.14 – Conjunto de operações da *Structured Query Language (SQL)*



Fonte: Autor e W3C.

Nesta seção foi explanado que os dados necessitam ser armazenados em uma quantidade de registro equivalentes para a sua utilização computacional. Contudo, é necessário mais do que ter um grande conjunto de dados para se obter informação de qualidade. Para tal, estes dados devem ser submetidos a um processo que os organize. Este processo deve permitir o acesso, administração e a manipulação dos dados armazenados. O banco de dados é o sistema que permite a realização destes processos e mantém as informações registradas em um computador. Neste contexto, no capítulo seguinte será apresentado o projeto e modelagem do banco de dados relacional a ser utilizado neste trabalho.

2.3 Soluções do Mercado

As consequências das crises energéticas no país, tais como o aumento das despesas nas faturas de energia, sua escassez e a liberação do mercado de energia tornaram a racionalização dos recursos energéticos objeto de estudo de diversas empresas do mercado. Estas empresas exploram os retornos financeiros do consumo eficiente e da comercialização de energia em seus modelos de negócio. As soluções propostas por elas estão sendo integradas por geradoras, transmissoras, distribuidoras, unidades consumidoras e agentes de comercialização do setor elétrico. Para isso, um sistema de gestão de energia, devidamente implementado nos moldes da *ISO 50001* (2018) [47], é uma ferramenta eficiente para auxiliar qualquer organização a alcançar esses objetivos.

Um *Energy Management System (EMS)* é um conjunto de procedimentos e atividades implementados por qualquer tipo de organização, seja industrial, comercial, administrativa ou de serviços na sua rotina diária. Um *EMS* torna o consumo energético e o enquadramento tarifário mais eficiente. Seu uso promove uma redução do consumo de energia, monitorando a sua qualidade e as atividades executadas nas unidades consumidoras. O resultado da adoção de um *EMS* aparece na forma de economia financeira nos faturamentos de energia elétrica (Ações e Programas do MME, 2020) [46].

Uma organização determina as partes interessadas relevantes para o seu desempenho energético ou para o seu *EMS*. As partes relevantes podem ser internas ou externas. As internas são, por exemplo, os empregados relacionados ao uso significativo da energia ou uma equipe de gestão da energia que afeta o desempenho do *EMS*. Já as partes externas podem ser os fornecedores de equipamentos que podem impactar o desempenho da energia ou os clientes que podem ser percebidos como afetados pelo desempenho energético da organização.

A **norma ISO 50001 (2018)** contém diretrizes sobre segurança, desempenho e eficiência energética para que as organizações implantem um *EMS* bem estruturado e de acordo com a sua realidade. Esta norma orienta a implementação, manutenção, revisão e melhoria do *EMS* em qualquer organização, independente de fatores geográficos, escala ou setor de atuação. Para tal, ela propõe que empresas possam estabelecer metas de racionalização de insumos energéticos e aplicá-las continuamente para a obtenção de melhores resultados no uso de recursos energéticos. As ações propostas na norma auxiliam os gestores na melhor escolha dos locais onde intervir e no discernimento das metas possíveis de serem alcançadas. Assim, as organizações obtêm o escalonamento das aplicações de seus modelos de negócios sob um modelo sustentável de crescimento e consumo dos recursos energéticos de suas unidades consumidoras, garantindo seus interesses financeiros.

Para o propósito da eficiência energética, a energia elétrica pode ser comprada, armazenada, processada, utilizada em equipamentos ou submetida a processos e até recuperada. Ao centralizar os dados de uso de energia em uma mesma plataforma, o gestor passa a ter acesso facilitado a informações relevantes e confiáveis que auxiliam na tomada de decisões e no gerenciamento dos parâmetros de utilização de energia, como consumo, demanda e fator de potência. Neste contexto, a gestão de energia como fator de contribuição para os resultados das organizações é integrada por meio de soluções para o seu tratamento. Algumas destas soluções são apresentadas nas seções seguintes.

2.3.1 *SmartEnergy*, da Gestal

O *Smart Energy* é o serviço em nuvem da empresa Gestal para gestão de energia elétrica e utilidades, Figura 2.15. É uma solução adequada para unidades consumidoras distribuídas que requerem uma gestão centralizada de insumos energéticos. Nesta solução, os dados e o acesso às informações são realizados através da internet, que possui a melhor relação custo/benefício dentre os meios existentes para o tráfego dessa informação.

Os seus serviços básicos são:

- Supervisão 24hs/dia das grandezas elétricas da entrada de energia da concessionária e quadros/alimentadores internos da instalação, no ambiente tarifário livre e/ou cativo;
- Monitoração do consumo e água, gás e outras utilidades a partir de medidores de vazão, nível, temperatura, etc;
- Gráficos e relatórios (diários, mensais e anuais) da demanda, do consumo, do fator de potência ,etc;
- Simulação para otimização dos contratos de fornecimento, planejamento estratégico e ajustes operacionais;
- Data Center robusto com elevado índice de confiabilidade e disponibilidade das informações;
- Envio de alarmes e alertas para microcomputadores, *tablets* e/ou *smartphones*.

Além destes recursos, o serviço *Smart Energy* está preparado para funções de controle de demanda, consumo e fator de potência, medições virtuais, além de rateio e ranking entre unidades distintas. A modalidade padrão de comercialização do *Smart Energy* se dá por fornecimento de equipamentos em regime de comodato, com taxa de adesão e mensalidades.

Figura 2.15 – *Software Smart Energy*



Fonte: Gestal. [59]

2.3.2 Sistema Integrado de Gestão de Energia (SIGE), da Metrum

O Sistema Integrado de Gestão de Energia (SIGE) da METRUM é um sistema modular que engloba uma extensa gama de funcionalidades. Estas funcionalidades dependem de cada empresa, seus objetivos, porte, capacidade ou interesse de investimento em gerenciamento, controle e gestão dos vetores energéticos que são aplicados em seus produtos e processos, Figura 2.16. O SIGE fornece dados e controladores globais que são aplicados na obtenção de índices individuais de cada atividade ou produto, dentro da empresa. Destes índices podem ser retirados potenciais de melhorias de produtividade no trato da energia.

O SIGE poderá ser composto de equipamentos, *softwares* e pacote de serviços adequados a cada cliente ou projeto. As futuras necessidades de expansões do número de pontos de medição, inclusão de novas fontes de dados ou de funcionalidades como, por exemplo, relatórios e *dashboards* podem, também, ser integrados ao SIGE em função do aumento da escalabilidade da organização. Por meio da integração de sistemas legados, o SIGE aproveita todo o investimento e engenharia de soluções anteriormente implantadas. Esta ferramenta promete otimizar o consumo ao longo da cadeia produtiva, bem como os custos relacionados, possibilitando a escolha pela alternativa com melhor relação custo-benefício para equipamentos e serviços. O SIGE também propicia uma análise completa dos índices de qualidade de energia, o que permite ao cliente a possibilidade de reivindicar o atendimento de todos os requisitos do PRODIST (Procedimentos de Distribuição) determinados pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). As principais funcionalidades do SIGE são listadas abaixo.

- Racionalização do consumo e economia de energia;
- Gestão de Contratos de compra e venda de energia;
- Suporte para melhorias de qualidade no fornecimento;
- Gestão de projetos de eficiência.

Figura 2.16 – Software SIGE



Fonte: METRUM. [77]

2.3.3 *PowerHub*, da Way2

A *PowerHub* é uma plataforma desenvolvida pela Way2 para facilitar a gestão eficiente dos dados de energia por meio da tecnologia, Figura 2.17. A solução une dados de energia de diferentes fontes, permitindo centralizar as informações de uso de energia em um único sistema de monitoramento para realizar o acompanhamento da medição de entrada e, também, da medição setorial. As principais funcionalidades do *PowerHub* são listadas abaixo.

- Monitoramento de energia elétrica em tempo real;
- Gestão das faturas de energia;
- Sistemas de alarmes personalizados;
- Integração com outros sistemas e tecnologias.

Figura 2.17 – *Software PowerHub*



Fonte: Way2. [91]

2.3.4 *Software Intelligent Power Manager (IPM)*, da Eaton

O *software Intelligent Power Manager (IPM)* da Eaton fornece as ferramentas necessárias para monitorar e gerenciar dispositivos de energia em seu ambiente físico ou virtual, Figura 2.18. Esta solução de *software* garante o tempo de atividade do sistema e a integridade dos dados ao permitir o monitoramento, gerenciamento e acionamento remoto de no-breaks e outros dispositivos em rede privada. As principais funcionalidades do IPM são listadas abaixo.

- Descomissionamento de servidores sem travamento do sistema;
- Desligamento seguro do módulo de armazenamento para manter os dados seguros;
- Dados de monitoramento personalizados;
- Drivers genéricos para integração de sistemas;
- Agrupamento de dispositivos para atuar sob uma única política de configuração.

Figura 2.18 – Software IPM



Fonte: Eaton. [53]

2.4 Trabalhos publicados sobre o tema

O primeiro *EMS* computadorizado foi relatado em 1976 (Berlad *et al*, 1976) [2]. Em seu trabalho, Berlad propõe um conjunto de abordagens integradas para esquemas de aquecimento e resfriamento energeticamente econômicos através do gerenciamento da entalpia de pequenos edifícios residenciais e comerciais. Desde então, os *EMSs* vem sendo desenvolvidos há cerca de 45 anos. Esses sistemas podem gerenciar de forma automática o uso de energia em edifícios, indústrias, empresas, fábricas e equipamentos de acordo com lógicas de controle ou funções desenvolvidas. No entanto, a diversidade de funções de gerenciamento aumentou a complexidade dos *EMSs*. Neste cenário, a forma para o gerenciamento eficaz da energia nas unidades consumidoras permanece sob constante investigação em diversos periódicos, Figura 2.19. Alguns trabalhos sobre o tema e, também, publicados em periódicos conceituados, são listados na Tabela 2.5.

Figura 2.19 – Periódicos Utilizados na Pesquisa.



Fonte: ELSEVIER. [54]

Tabela 2.5 – Trabalhos publicados sobre sistemas de gestão de energia em unidades consumidoras.

ANO	TÍTULO	PERIÓDICO	REF.
1976	<i>On enthalpy management in small buildings</i>	<i>Energy</i>	[2]
1977	<i>New applications timeshared computer reduces electrical and gas energy usage and costs</i>	<i>IEEE Trans. Indust. Apps.</i>	[78]
1978	<i>Long-term energy demand forecasting: A new approach</i>	<i>Energy Policy.</i>	[69]
1985	<i>Energy management in educational premises and staff morale at U.K.</i>	<i>Appl. Energy</i>	[26]
1986	<i>Advances in energy management systems</i>	<i>IEEE Trans. Power Syst.</i>	[62]
1986	<i>Industrial energy accounting and control systems: A survey</i>	<i>Energy Convers. Manag.</i>	[73]
1993	<i>Industrial applications of production planning with optimal electricity demand</i>	<i>Appl. Energy</i>	[83]
1996	<i>Novel technology for displaying complex building energy consumption data: case study from central Texas, U.S.A</i>	<i>Energy and Buildings</i>	[30]
1999	<i>Computerized economic optimization of refrigeration system design</i>	<i>Energy Convers. Manag.</i>	[63]
2003	<i>Industrial energy efficiency: the need for investment decision support from a manager perspective</i>	<i>Energy Policy.</i>	[81]
2003	<i>Network Architecture for Home Energy Management System</i>	<i>IEEE Trans. Consum. Electron</i>	[64]
2008	<i>A monitoring study of the electricity consumption of a sample of UK domestic buildings</i>	<i>Energy and Buildings</i>	[58]
2010	<i>Development of an energy management system: Case study of serbian car manufacturer</i>	<i>Energy Convers. Manag.</i>	[60]
2011	<i>Application of an energy management system in combination with FMCS to high energy consuming IT industries</i>	<i>Energy and Buildings</i>	[71]
2011	<i>Energy saving in HVAC system: the case of Turkey</i>	<i>Energy and Buildings</i>	[85]
2013	<i>Hierarchical control method applied to energy management of a residential house</i>	<i>Energy and Buildings</i>	[72]
2013	<i>Real-time EMS for microgrids in islanded mode</i>	<i>Energy Convers. Manag.</i>	[76]
2014	<i>Optimization of EMS in commercial buildings with weather forecasting input</i>	<i>Renew Sustain Energy</i>	[70]
2016	<i>Energy management in industry: A systematic review of conceptual framework</i>	<i>Journal of Cleaner Prod.</i>	[82]
2021	<i>Review of Energy Management System Approaches in Microgrids</i>	<i>Energies</i>	[90]

Fonte: ELSEVIER. [54]

2.4.1 Análise das publicações

A quantidade de trabalhos publicados sobre metodologias de análises e o gerenciamento do consumo de energia é menor que nas demais áreas do setor (ELSEVIER, 2020) [54]. Isso se deve à dificuldade na formulação das análises matemáticas e computacionais que explorem todo o escopo referente ao gerenciamento de energia das unidades consumidoras.

2.4.2 Soluções das publicações

Os algoritmos propostos nos periódicos são desenvolvidos através da análise de processos industriais, operação diária das empresas, equipamentos e da determinação de configurações de controle ou estratégias de gerenciamento (Tabela 2.6). Com base em seus resultados, é possível observar que a análise das características de consumo e da rede elétrica de uma unidade pode prover informação que justifique a automação inteligente dos ambientes de consumo seja a unidade uma casa [62] [64] [71] [72] [90] ou edifício [2] [69] [78] [83] [58] para prever seu uso futuro de energia [30] [71] [85] [76], otimizar o estado de consumo [63] [70], diagnosticar as condições de operação dos equipamentos [26] [71] [70], detectar falhas na rede elétrica [73] [83] [81] [60] [71] [82] e sugerir o cronograma de manutenção dos equipamentos de maneira automatizada [73] [82].

Tabela 2.6 – Classificação das publicações por tema de atuação.

TEMA	REF.
Agendamento automático de manutenção	[73] [82]
Casos de sistemas de gestão de energia industrial, empresarial e fabril	[73] [83] [81] [60] [71] [82]
Casa inteligente e Ambiente inteligente	[62] [64] [71] [72] [90]
Controle de equipamentos	[26] [71] [70]
Diagnóstico e apresentação de dados de consumo	[30] [71] [85] [76]
Otimização econômica de sistemas elétricos	[63] [70]
Sistemas de gestão de energia em edifícios	[2] [69] [78] [83] [58]

2.4.3 Contribuição, Diferenças e Semelhança deste Trabalho

Este trabalho se assemelha a estes periódicos no uso dos conceitos de engenharia elétrica e da tecnologia da informação para a confecção da base teórica e tecnológica para o desenvolvimento do sistema proposto. Contudo, ele se diferencia deles no cenário de operação da rede elétrica e na metodologia aplicada para o processamento dos dados. Nesta dissertação, os métodos utilizados são direcionados ao setor elétrico Brasileiro no escopo de suas características de consumo e da distribuição de energia entre suas unidades consumidoras.

2.5 Conclusão

Neste capítulo, o estado da arte da gestão de energia foi apresentando por meio da explanação de aplicações, conceitos, periódicos e tecnologias sobre o tema. Para tal, a legislação sob o uso da energia elétrica no setor elétrico, assim como a governança vigente e a matriz elétrica brasileira foram apresentados sob uma abordagem histórica do crescimento do setor no Brasil.

O conceito de dados foi, também, explorado. Esta explanação tem o intuito de consolidar a sua importância para a compreensão das atividades realizadas na implementação do sistema proposto neste trabalho. Com este objetivo, os dados foram apresentados desde seu conceito fundamental até sua aplicação nos sistemas computacionais através de um banco de dados relacional, adotado neste trabalho.

Também foram apresentadas as aplicações já comercializadas no mercado e os estudos anteriores sobre o tema. As aplicações apresentadas evidenciam a presença dos *EMSs* no setor elétrico, enquanto os trabalhos publicados demonstram a eficácia da metodologia científica como instrumento essencial para o desenvolvimento de normas, processos, sistemas e técnicas eficientes para o desenvolvimento contínuo destas aplicações.

O capítulo seguinte descreve o projeto do banco de dados relacional como o foco de suas seções. Este banco será utilizado na implementação do sistema proposto neste trabalho. Nas suas seções são, também, apresentados as entidades e atributos usados na confecção do banco, assim como os procedimentos para a sua criação.

Capítulo 3

Implementação Tecnológica

No Capítulo 2 foi apresentado o conceito de dados assim como o contexto nos quais eles estão inseridos. Esta explanação teve o intuito de consolidar a importância destes conceitos para a compreensão das atividades realizadas na implementação do sistema proposto neste trabalho. Para tal, os dados foram apresentados desde seu conceito fundamental até a sua aplicação nos sistemas computacionais através de um banco de dados relacional.

Neste capítulo, será apresentado o projeto do banco de dados relacional para uso pelas aplicações propostas. O banco será explanado desde seu modelo conceitual até sua interação com estas aplicações.

3.1 Projeto do Banco de Dados

Em computação, os bancos de dados são desenvolvidos para funcionar nos bastidores das aplicações que os utilizam, sustentando todas as operações que são realizadas sem interação direta com o usuário das aplicações. Seu uso garante o crescimento sustentável, integridade e segurança do montante de informação processada a ser armazenada, o que torna a qualidade de seu projeto essencial para as aplicações que o utilizam.

No desenvolvimento de *software*, o banco é responsável por organizar as informações necessárias à aplicação e fornecê-las de forma eficiente. Neste propósito, o banco provê acesso facilitado aos dados, possibilitando que seus usuários utilizem uma grande variedade de abordagens no tratamento das informações por suas aplicações. Para tal, são abstraídos das aplicações que utilizaram o banco: a unidade de armazenamento, o seu tamanho e onde serão inseridos os dados no banco a ser projetado. Uma destas abordagens consiste nas análises dos dados energéticos, explanadas no próximo capítulo.

O **projeto do banco de dados** é realizado em três fases:

- **Modelagem conceitual:** planejamento em termos de entidades e relacionamentos;
- **Projeto lógico:** definição das chaves primárias e estrangeiras, assim como a estrutura do banco, conforme características do *MySQL Server*;
- **Modelo físico:** análise das características e recursos necessários para armazenamento e manipulação das estruturas de dados proposta.

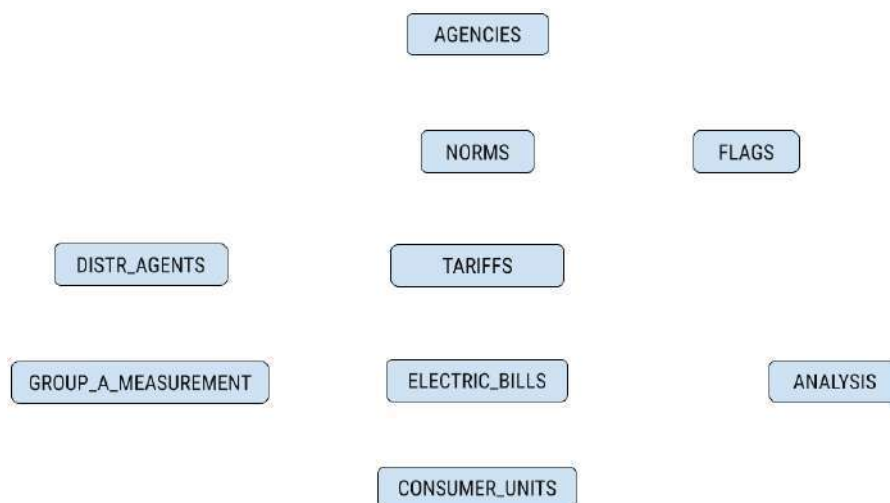
3.1.1 Modelo Conceitual

Nesta seção será adotado o **Modelo de Entidade-Relacionamento (MER)** para implementar o diagrama que irá descrever os requisitos de dados, ou seja, como os dados devem ser armazenados no banco.

Para a modelagem conceitual deste banco, é necessário priorizar os aspectos essenciais do contexto do gerenciamento de energia elétrica e de seu faturamento. Isto é realizado pelo discernimento dos atributos de um conjunto de entidades que representam o cenário de observação do estudo. Neste trabalho, os atributos e entidades são apresentados em língua inglesa, em compatibilidade com tecnologia de sua implementação. Também serão omitidos os detalhes fora do escopo de atuação das aplicações propostas como, por exemplo, as cores das estruturas da entidade "*CONSUMER_UNITS*".

Os passos para a confecção deste diagrama são o discernimento das entidades no projeto, seus atributos constituintes e suas relações. A entidade em um banco de dados é algo que possui existência distinta e separada, real ou imaginária. Ou seja, uma entidade é um objeto no mundo real que pode ser identificado de forma única em relação aos outros objetos. Cada entidade representa objetos com as mesmas características. Identificado todas as entidades, são definidas quais serão as tabelas a serem criadas no banco. Para o sistema proposto, as entidades do banco Figura 3.1, são:

Figura 3.1 – Entidades do setor elétrico brasileiro.

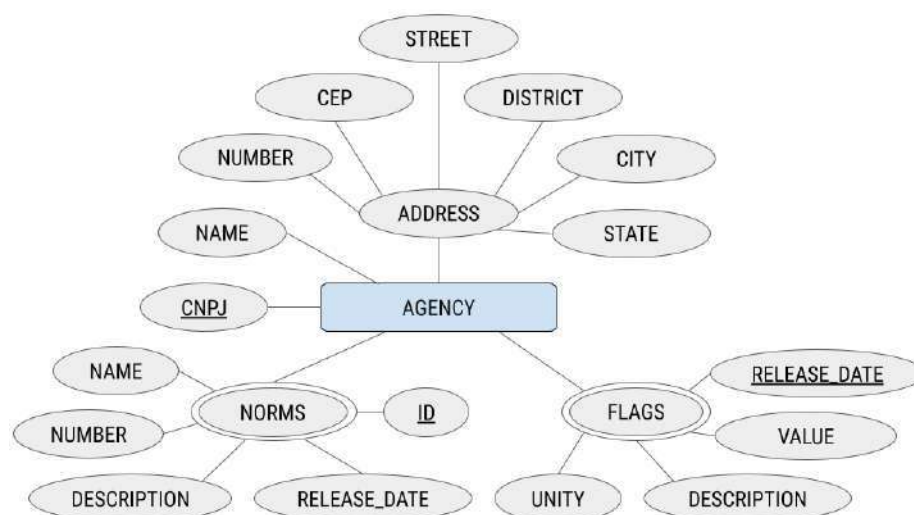


- *AGENCIES*: agências reguladoras de serviços públicos brasileiros;
- *ANALYSIS*: análises realizadas sobre o histórico de dados armazenados;
- *FLAGS*: bandeiras tarifárias publicadas pelas agências;
- *DISTR_AGENTS*: distribuidoras de energia elétrica;
- *ELECTRIC_BILLS*: faturas das despesas com energia consumida;
- *GROUP_A_MENSUREMENT*: medições coletadas pelos medidores de consumo;
- *NORMS*: normas publicadas pelas agências;
- *TARIFFS*: tarifas reguladas sobre a distribuição de energia;
- *CONSUMER_UNITS*: unidades consumidoras observadas pelo sistema.

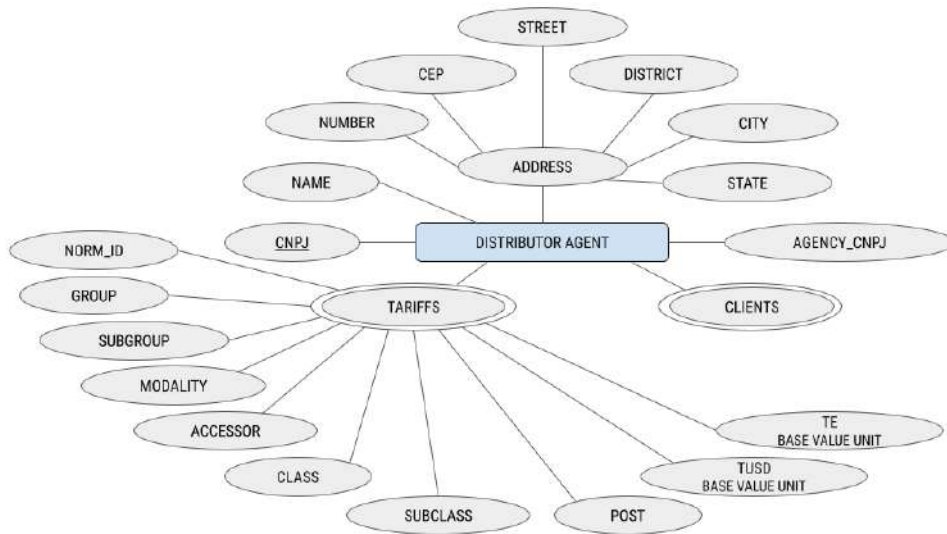
Estas entidades possuem atributos capazes de representar as informações que as descrevem. Para tal, cada entidade possui um conjunto de atributos sobre determinado conceito ou sistema que a constitui. A primeira destas entidades são as agências reguladoras.

A partir dos anos 90, o Brasil privatizou várias de suas empresas estatais e promoveu uma abertura maior na economia. Para tal, diversos serviços que antes eram públicos ou monopólio foram transferidos para o setor privado. No entanto, para certificar que esses serviços sejam prestados corretamente, o governo criou um tipo especial de órgão público: as agências reguladoras. Estas agências regulam o funcionamento do mercado, mantendo um nível de qualidade em benefício dos consumidores finais. Neste contexto, estas agências são representadas por um conjunto de atributos, Figura 3.2. As normas e bandeiras tarifárias publicadas pelas agências são instrumentos que as auxiliam na regulação da prestação do serviço no país. Logo, o conjunto de normas e de bandeiras tarifárias são entidades das agências reguladoras que as utilizem.

Figura 3.2 – Modelagem conceitual das agências reguladoras brasileiras.



Outra entidade são os agentes de distribuição, Figura 3.3. Estes agentes (públicos ou privados) são aqueles responsáveis pela entrega e distribuição de energia às unidades consumidoras. A distribuição de energia no país é um monopólio por área de concessão. Neste contexto, a prestação deste serviço é regulado através de tarifas publicadas anualmente em normas direcionadas a cada concessionária de energia. Para tal, a ANEEL desenvolve metodologias de cálculo tarifário considerando fatores como a infraestrutura, fatores econômicos de incentivos à modicidade tarifária e a sinalização ao mercado (bandeiras tarifárias). As tarifas aplicadas pelas distribuidoras remuneram o serviço de forma adequada e viabilizam a estrutura que mantém o serviço com qualidade. Apesar de serem publicadas pelas agências, as tarifas são entidades das distribuidoras que as utilizam. A distribuidora também repassa o preço da compra da energia adquirida no mercado regulado. Contudo, a compra da energia pode ser diversificada para alguns consumidores ao migrar para o Mercado Livre de Energia, sendo possível escolher o seu prestador de serviço e optar por fontes de geração, mantendo o transporte por intermédio da distribuidora.

Figura 3.3 – Modelagem conceitual dos agentes de distribuição de energia elétrica.

As unidades consumidoras são edificações que hospedam um medidor de consumo. Nesses locais existem áreas comuns e de uso coletivo, como salão de festas, reuniões e afins que apresentam um consumo próprio. Logo, um endereço pode concentrar um conjunto de unidades, mas cada unidade contém apenas um instrumento de medição e uma fatura de energia que registra as despesas com energia em um ciclo de medição. Para mensurar o consumo, cada unidade utiliza de medidores que armazenam os dados de consumo na memória. Estes dados são o reflexo do consumo de energia dos equipamentos instalados nas unidades. Apesar de sua aquisição e confecção serem de responsabilidade das distribuidoras, a medição e as faturas de energia são apresentadas como entidades constituintes das unidades faturadas, Figuras 3.4 e 3.5.

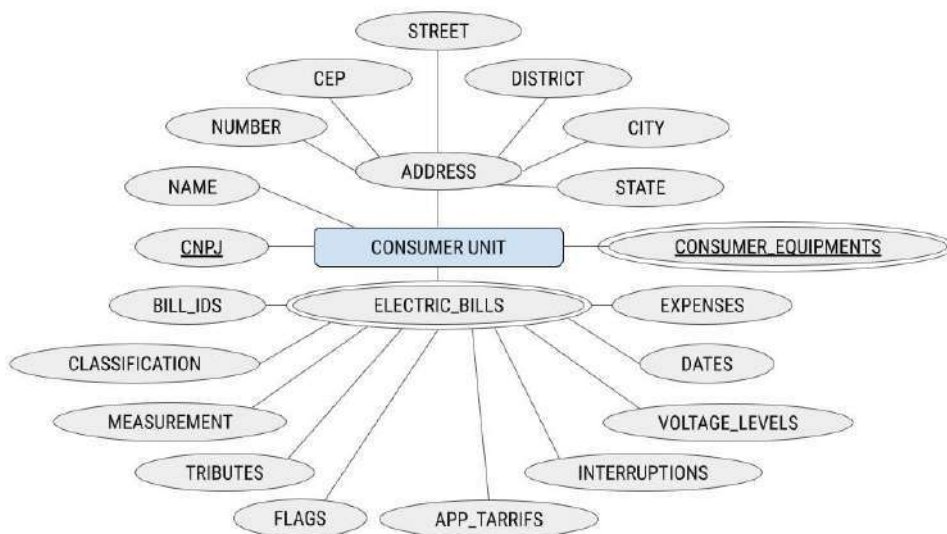
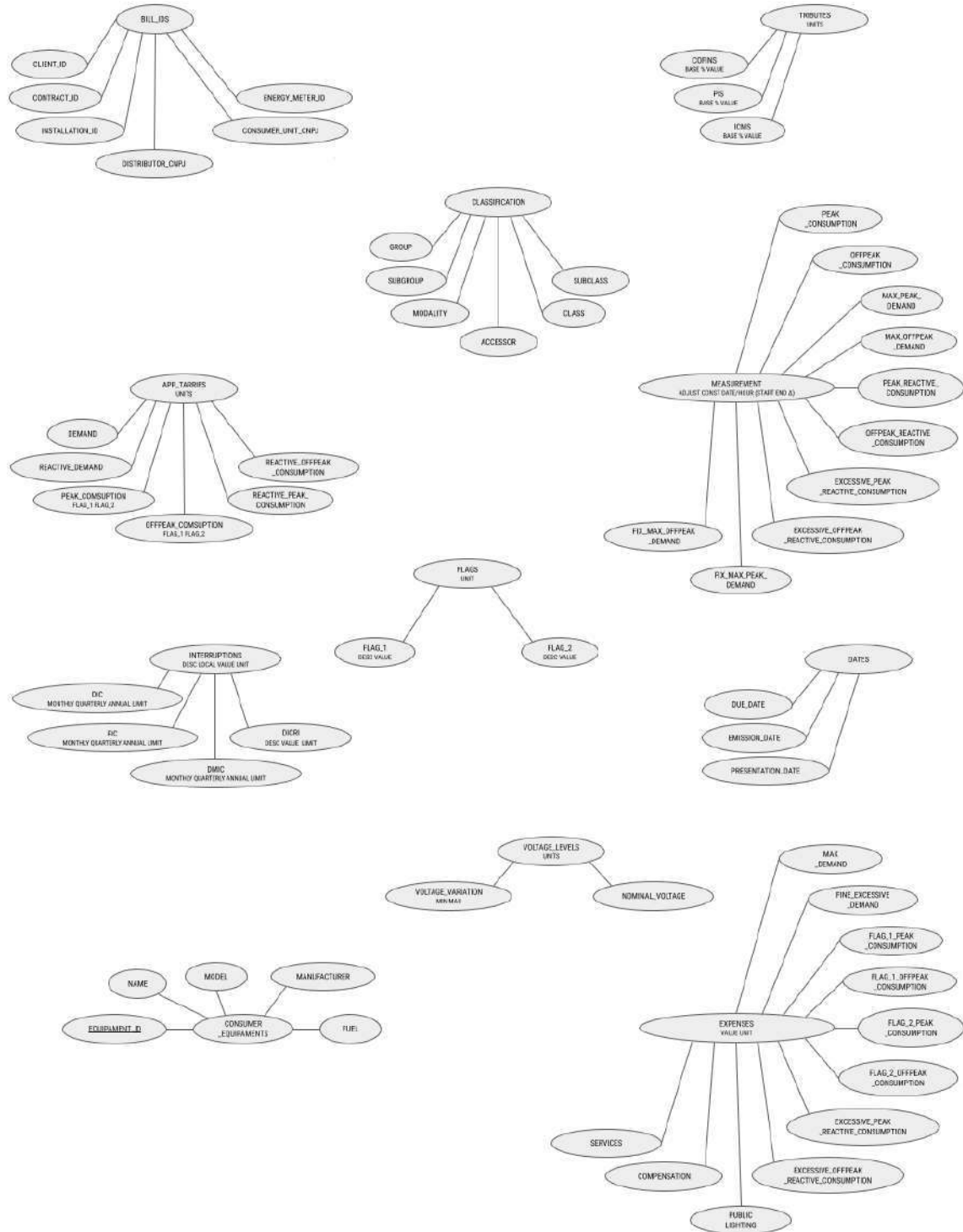
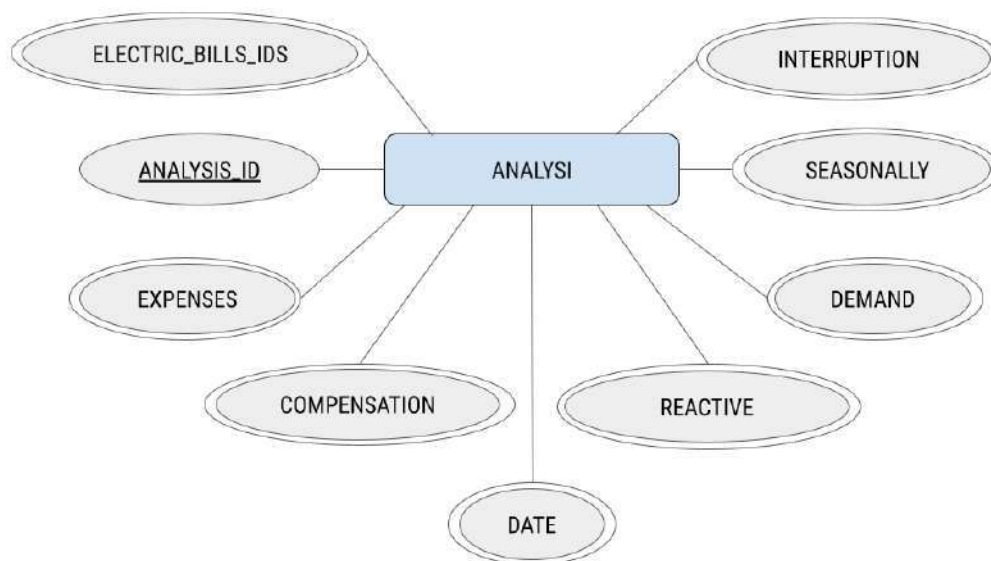
Figura 3.4 – Modelagem conceitual das unidades consumidoras de energia elétrica.

Figura 3.5 – Atributos do modelo conceitual das unidades.



A inteligência computacional das aplicações propostas neste trabalho consistem em um conjunto de estratégias para a análise do consumo de energia de uma unidade. Os dados destas análises descrevem o perfil de consumo em função das atividades executadas nas unidades. Estes dados representam a síntese do estado natural de operação da unidade na rede elétrica de distribuição. Esta síntese é aqui entendida como a assinatura energética da unidade. A assinatura energética de uma unidade é utilizada como objeto de observação para aferição do potencial econômico de energia. Algumas destas análises estratégicas são as despesas com reativos, do contrato sazonal, da demanda ótima, das despesas tarifárias, da geração Ponta e do perfil de consumo. Cada análise é realizada sobre um mesmo período de observação. A união destas análises constitui uma entidade passível de modelagem conceitual ou uma visão do banco de dados já modelado, Figura 3.6. Neste projeto, optou-se por modelar conceitualmente este conjunto de análises, para o seu armazenamento. Contudo, tanto é possível a sua expansão, adicionando-se novos atributos à entidade como a apresentação de novas análises pelas aplicações, se abstendo do armazenamento da informação por elas geradas.

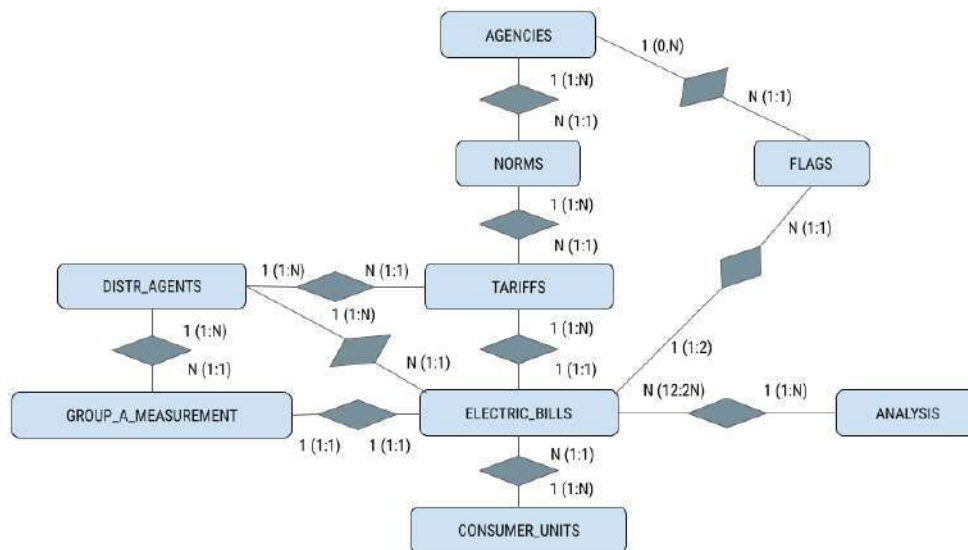
Figura 3.6 – Modelagem conceitual das análises de consumo.



As relações entre as entidades no modelo conceitual de banco de dados proposto são representadas por meio de um losango que as conectam, Figura ???. Estas relações podem ser de **um-para-um**, **um-para-muitos** e **muito-para-muitos**. O tipo de relação entre as entidades reflete a forma como elas se relacionam, integralizando o modelo conceitual do banco de dados proposto.

As relações entre as entidades do banco proposto definem o seu número de ocorrências por meio de sua cardinalidade. As cardinalidades são expressas pela forma (Cardinalidade Mínima: Cardinalidade Máxima). Exemplo: 1:N e 1:1, onde a cardinalidade mínima pode ser 0 ou 1, sendo a cardinalidade mínima 1 a associação obrigatória que uma entidade possui em relação a outra entidade e a cardinalidade 0 a associação opcional entre duas entidades. Já a cardinalidade máxima, a maior quantidade de ocorrências possíveis de entidades que podem estar associadas a uma ocorrência de outra entidade (1 ou N).

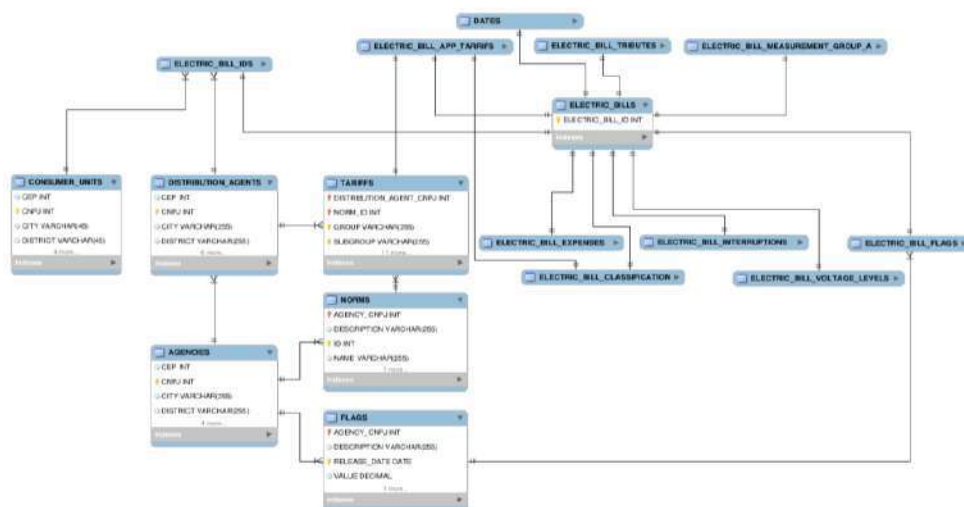
Figura 3.7 – Relacionamentos representado no diagrama Entidade-Relacionamento.



3.1.2 Projeto Lógico

Nesta seção é apresentado o resultado da transformação do modelo conceitual em um **projeto lógico**. Para isso, são mapeados as entidades e atributos do modelo conceitual para os conceitos de tabelas, chaves primárias e tuplas do modelo relacional, Figura 3.8. O projeto lógico depende do SGBD específico para o seu desenvolvimento. Neste projeto será utilizado o *MySQL*, cuja implementação é realizada usando o *software MySQL Workbench*. Esta solução foi escolhida devido a sua interface intuitiva para confecção e visualização da estrutura de dados do banco em construção.

Figura 3.8 – O projeto lógico do banco de dados relacional proposto.



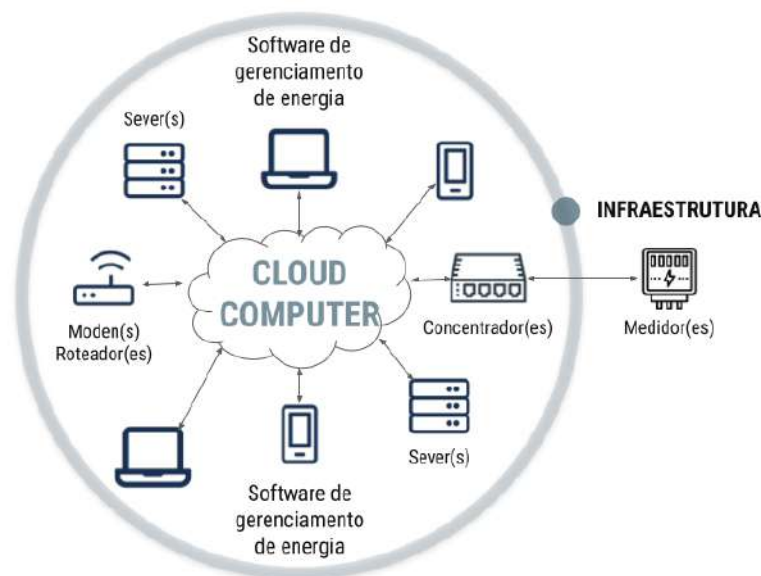
Fonte: *MySQL Workbench*.

3.1.3 Modelo Físico

O *MySQL Workbench* é uma ferramenta visual para a modelagem e design de um banco de dados relacional usando o *MySQL*. Ele também facilita a criação de novos modelos de dados físicos e a modificação de bancos *MySQL*.

O **modelo físico** introduz o contexto computacional do banco, ausente nos modelos conceituais e no projeto lógico. Neste modelo são implementadas as representações físicas nos computadores das tabelas, colunas, tipos de dados e demais procedimentos dentro do banco de dados e/ou informações comunicadas durante os processos computados. O modelo físico do banco proposto reflete as necessidades do ambiente tecnológico pretendido na infraestrutura da tecnologia da informação, Figura 3.9. Isto garante que os tipos de colunas modelados tenham suporte no *MySQL* e que as conversões de nomenclatura para entidades e colunas sejam observadas, evitando sobreposições semânticas problemáticas. O código *SQL* para a modelagem física do banco de dados proposto é apresentado no Apêndice A.

Figura 3.9 – Infraestrutura para a hospedagem da solução.



Com um modelo físico do banco hospedado em uma infraestrutura, é possível:

- fornecer acesso ininterrupto à solução;
- desenvolver e lançar soluções rapidamente;
- coletar dados em tempo real para tomar decisões rápidas;
- aumentar a produtividade no processo de desenvolvimento.

3.2 Projeto da Solução

Para projetar uma solução que utilize as informações do banco de dados projetado, foi adotado o *Google Colaboratory* [25]. Esta ferramenta permite criar e executar códigos na linguagem *Python* em nuvem. Desta forma, é possível desenvolver programas que podem ser executados diretamente de um navegador na internet, sem a necessidade de instalação de softwares específicos para a sua compilação, escrita e execução. Neste trabalho, o navegador recomendado para se utilizar e manipular o *Google Colaboratory* é o *Google Chrome*.

3.2.1 Arquitetura da Solução

Os códigos criados no *Google Colaboratory* são chamados de notebooks, e são estruturados como um conjunto de células. As células de um notebook podem conter um texto descritivo do algoritmo ou o código executado. O código de uma célula pode ser executado separadamente ou em conjunto. O resultado gerado pela execução de cada célula é apresentado logo abaixo de sua célula correspondente, descrevendo seus resultados ou possíveis erros de semântica ou sintaxe no algoritmo, atuando como depurador do código escrito.

3.2.2 Interação com o Banco de Dados

São abstraídos do sistema que utilizará o banco: a unidade de armazenamento, o seu tamanho e onde serão inseridos os dados no banco projetado. Isso significa que as soluções devem priorizar as consultas a serem realizadas na hora em que for necessário procurar ou realizar uma operação sobre os dados, cabendo ao SGBD a função de lidar com as demais operações necessárias para esta interação. Para isso, o banco deve ser tratado conforme três níveis de abstração, apresentados a seguir:

- **Nível conceitual:** define quais os dados que estão armazenados e qual o relacionamento entre eles (modelo conceitual);
- **Nível físico:** nível mais baixo de abstração, em que se define de que maneira os dados estão armazenados (projeto lógico e modelo físico);
- **Nível de visão do sistema:** as partes do banco que o sistema tem acesso de acordo com sua necessidade (*VIEWS*).

Com *VIEWS* (**visões**), é possível tratar resultados de uma consulta como uma tabela, reduzindo consultas complexas em consultas simples em *SQL*. As visões são consultas *SQL* armazenadas em uma estrutura de fácil acesso baseadas em um comando *SELECT*. Essa consulta armazenada funciona como uma tabela virtual, com comportamento similar a de uma tabela real, entretanto, sem armazenar dados. As views não existem como uma entidade independente no banco de dados e seus dados são gerados dinamicamente toda vez que a visão é referenciada. Desta maneira, cada aplicação pode arranjar os dados armazenados no banco conforme a análise efetuada por seus algoritmos, simplificando as consultas necessárias para sua solução.

3.3 Conclusão

Neste capítulo foi apresentado o projeto do banco de dados relacional para uso pelas aplicações propostas. O projeto do banco foi explanado do seu modelo conceitual, projeto lógico, modelo físico e sua interação com as aplicações por meio de consultas *SQL* e a apresentação do conceito de *VIEWS*, que auxiliam neste processo.

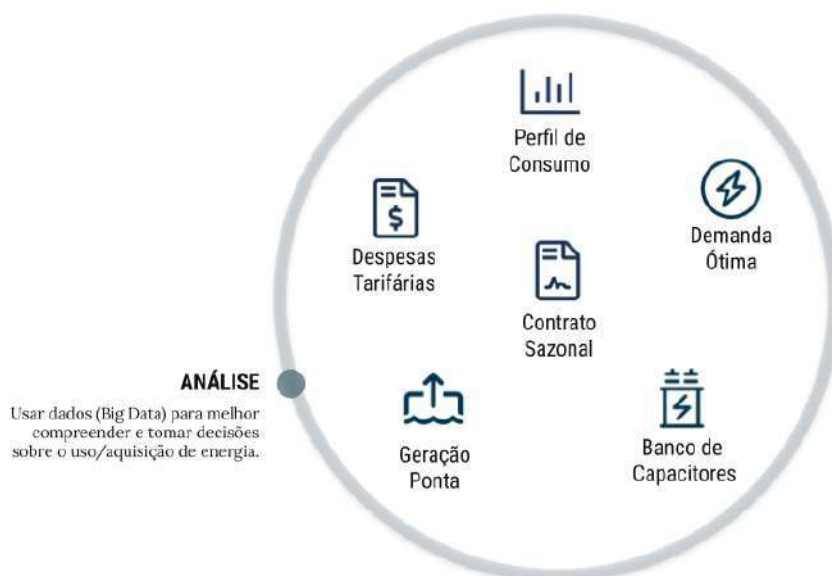
No capítulo a seguir são exploradas algumas análises propostas como uma das aplicações que usaram a estrutura do banco de dados relacional projetado neste trabalho. Também são apresentadas as suas aplicações práticas, formulação matemática e os algoritmos para o processamento dos dados e a mineração de informações úteis ao gestor da unidade consumidora.

Capítulo 4

Análise dos Dados Energéticos

O desenvolvimento da inteligência computacional da aplicação proposta neste trabalho consiste na dissertação de um conjunto de estratégias para a análise do consumo de energia de uma unidade. Estas estratégias são baseadas nos dados coletados em kW para uma taxa de amostragem, geralmente, de 15min, a depender da aplicação. Posteriormente, estes dados são processados e armazenados em kWh. Estes dados descrevem o perfil de consumo em função das atividades executadas nas unidades e representam a síntese de seu estado natural de operação na rede elétrica de distribuição. Esta síntese é aqui entendida como a assinatura energética da unidade. Esta assinatura é, então, utilizada como objeto de observação para aferição do potencial econômico da unidade em estudo. Algumas destas análises estratégicas são o uso de banco de capacitores (excedente de relativo), a do contrato sazonal, da demanda ótima, das despesas tarifárias, da geração de Ponta e do perfil de consumo, descritas nas seções seguintes, Figura 4.1.

Figura 4.1 – Gestão inteligente do consumo de energia.

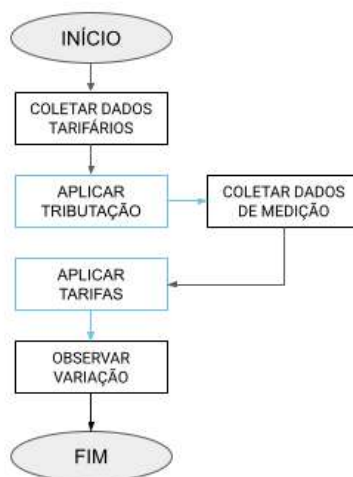


4.1 Despesas Tarifárias

Nesta análise é realizado o acompanhamento do ciclo de medição junto às atividades de consumo do modelo de negócios da unidade. Esta supervisão viabiliza o controle dos custos da unidade pela definição de níveis aceitáveis de consumo e, conseqüentemente, de despesas com energia.

Um **ciclo de medição** é coletado em um período de 30 dias. Neste período as despesas relativas ao consumo de energia são incluídas em uma fatura. Sobre esta fatura se executa uma análise, Figura 4.2, em que se observa o acréscimo tarifário referente ao estado do Sistema Interligado Nacional (SIN) durante um ou dois períodos de operação da unidade consumidora.

Figura 4.2 – Análise das despesas tarifárias no ciclo de consumo.



O estado do SIN e o valor do acréscimo tarifário referente a ele são representados por meio de um sistema de **bandeiras tarifárias**. Os valores das bandeiras e o discernimento de sua utilização são definidos mensalmente pela ANEEL com base em uma análise realizada pela EPE sobre os dados meteorológicos, os níveis das reservas hídricas e os dados de consumo coletados pelo ONS. Estas bandeiras possuem diferentes classificações, tais como a bandeira:

- verde: condições favoráveis de geração de energia, sem acréscimo tarifário;
- amarela [R\$/kWh]: condições de geração menos favoráveis;
- vermelha - Patamar 1 [R\$/kWh]: condições custosas de geração;
- vermelha - Patamar 2 [R\$/kWh]: condições mais custosas de geração;
- escassez hídrica [R\$/kWh]: compensa o aumento do custo gerados pela escassez.

Além da bandeira vigente, o ciclo de medição informa os níveis de demanda, consumo em horário de ponta (HP) e fora de ponta (HFP). Sobre estas medições incidem diferentes valores tarifários. Estas tarifas são pré-definidas em uma norma reguladora de periodicidade anual divulgada pela ANEEL para cada distribuidora. Estas tarifas são apresentadas abaixo:

- TUSD [R\$\kW] é a tarifa do uso do sistema de distribuição;
- TUSD_P [R\$\MWh] é a TUSD em horário de ponta;
- TUSD_FP [R\$\MWh] é a TUSD em horário fora de ponta;
- TE_P [R\$\MWh] é a tarifa do consumo de energia no horário de ponta;
- TE_FP [R\$\MWh] é a tarifa do consumo de energia no horário fora de ponta;
- ER [R\$\kVARh] é a tarifa da produção de excedente de reativo.

Estas tarifas não possuem tributação e são chamadas de tarifas limpas. As tarifas limpas do faturamento são calculadas por:

$$t_l^{\text{TUSD}} = \text{TUSD} \quad (4.1)$$

$$t_l^{PB1} = \text{TUSD_P} + \text{TE_P} + B_1 \quad (4.2)$$

$$t_l^{PB2} = \text{TUSD_P} + \text{TE_P} + B_2 \quad (4.3)$$

$$t_l^{\text{FP}B1} = \text{TUSD_FP} + \text{TE_FP} + B_1 \quad (4.4)$$

$$t_l^{\text{FP}B2} = \text{TUSD_FP} + \text{TE_FP} + B_2 \quad (4.5)$$

$$t_l^{\text{ER}} = \text{ER} \quad (4.6)$$

onde,

- t_l^{TUSD} é a tarifa limpa do uso do sistema de distribuição;
- t_l^{PB1} é a tarifa limpa do consumo em horário de ponta sob a bandeira 1;
- $t_l^{\text{FP}B1}$ é a tarifa limpa do consumo em horário fora de ponta sob a bandeira 1;
- t_l^{PB2} é a tarifa limpa do consumo em horário de ponta sob a bandeira 2;
- $t_l^{\text{FP}B2}$ é a tarifa limpa do consumo em horário fora de ponta sob a bandeira 2;
- t_l^{ER} é a tarifa limpa da produção de excedente de reativo.

Contudo, estas tarifas variam mensalmente devido à incidência de tributação sobre elas. Esta tributação tem periodicidade mensal e são definidas pelo governo estadual (ICMS) e federal (PIS/COFINS) que estipulam a alíquota aplicada sobre a receita bruta das distribuidoras em suas regiões de atuação. O cálculo para a aplicação da tributação sobre uma tarifa é apresentada abaixo:

$$t = \frac{t_l}{1 - \text{PIS} [\%] - \text{COFINS} [\%] - \text{ICMS} [\%]} \quad (4.7)$$

onde,

- t é a tarifa com tributação;
- t_l é a tarifa limpa, sem tributação.

4.2 Perfil de Consumo

O **perfil de consumo** de uma unidade consumidora é representado em período de 1 (um) ano de medição, onde cada ciclo corresponde a 30 (trinta) dias, Figura 4.3. Este perfil evidencia a variação do consumo de energia em função das atividades executadas pelo modelo de negócio implantado na unidade consumidora.

Figura 4.3 – Representação do perfil de consumo de uma unidade consumidora.



Nesta análise se sintetizam as informações necessárias para a observação das variações de consumo que possam ser investigadas e tratadas. Por meio desta observação podem ser identificadas as falhas na operação cujo tratamento possa gerar ganhos energéticos para as distribuidoras e financeiro para o consumidor. A viabilidade do tratamento das falhas observadas é condicionada ao potencial econômico do retorno financeiro nas despesas com energia da unidade.

Estas variações atípicas de consumo podem ter sua origem na ligação de novos circuitos na unidade, no acionamento de máquinas elétricas nos circuitos existentes, entre outras causas cuja explanação é ofertada a outros trabalhos correlatos.

4.3 Demanda Ótima

Independentemente da variação da potência consumida, todo sistema elétrico deve ser dimensionado para suportar o seu momento de maior carga. O dimensionamento da demanda de uma unidade é condicionado ao consumo necessário para o exercício das suas atividades locais, sejam elas de natureza comercial ou residencial. Já no caso do sistema de distribuição, o dimensionamento considera a demanda máxima de cada unidade consumidora conectada à rede.

O valor da demanda de uma unidade é prefixado em contrato dos consumidores do Grupo A. Sobre ele incidem tarifação e penalidades em caso de ultrapassagens dos limites estabelecidos pela ANEEL (REN1000, 2021) [23]. Nesta análise é observado o histórico de consumo e o planejamento da rede elétrica para o cálculo de um valor de **demanda ótima**, descrito abaixo:

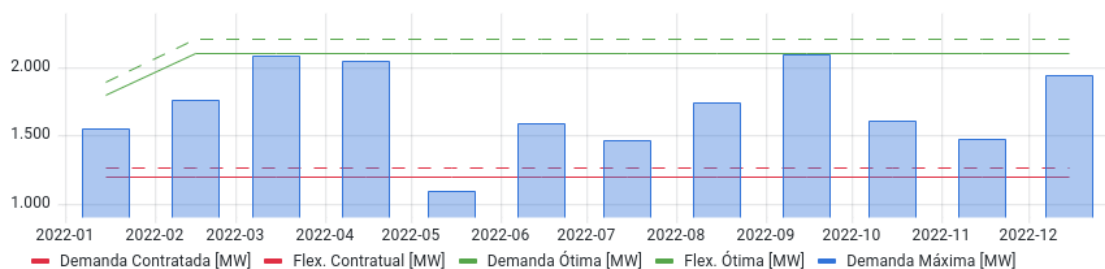
$$\text{demanda ótima [kW]} = \frac{\sum_{i=1}^{12} Pm_i}{12} + \sum_{j=1}^J Pin_j - \sum_{k=1}^K Pout_k \quad (4.8)$$

onde,

- Pm_i é a medição de demanda máxima em um ciclo de 30 (trinta) dias;
- Pin_j é a potência do equipamento comissionado na unidade;
- $Pout_k$ é a potências do equipamento descomissionado na unidade;
- i é o ciclo de medição;
- j é o equipamento em operação;
- k é o equipamento descomissionado.

Esta demanda reflete o melhor custo/benefício no uso do sistema de distribuição. O valor ótimo descreve de forma eficiente a variação de consumo em função das atividades executadas pelo modelo de negócio implantado na unidade consumidora, Figura 4.4. A determinação da demanda ótima evita despesas com multas por ultrapassagem, riscos a rede elétrica e a interrupção da prestação do serviço pela distribuidora.

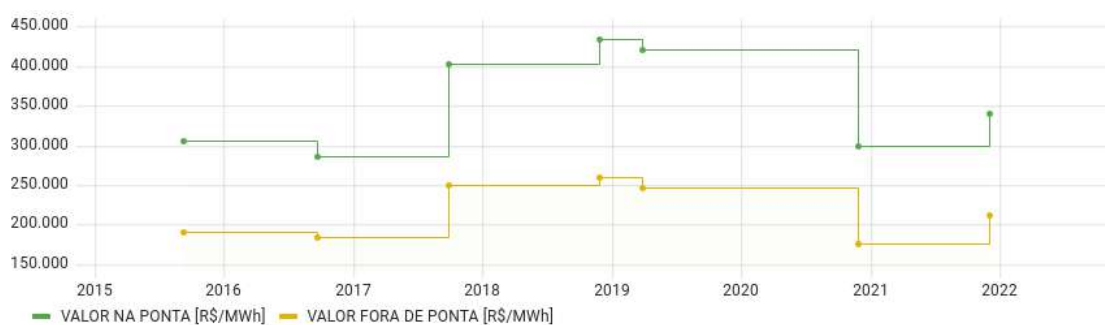
Figura 4.4 – Representação da demanda ótima de uma unidade consumidora.



4.4 Geração em Horário de Ponta

O **horário de ponta** consiste em um período de três horas consecutivas, normalmente das 18h às 21h, excluindo sábados, domingos e feriados. O consumo de energia no horário de ponta costuma ser maior no SIN, o que implica em valores maiores das tarifas de consumo, Figura 4.5, e demanda, Figura 4.6, neste período. Logo, o consumo neste horário aumenta as despesas com eletricidade.

Figura 4.5 – Tarifas de Energia (TE).



Fonte: ANEEL RH2015 a 2022, CEPISA, grupo A4 (2,3 a 25kV), mod. verde.

Figura 4.6 – Tarifas de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD).



Fonte: ANEEL RH2015 a 2022, CEPISA, grupo A4 (2,3 a 25kV), mod. verde.

Nesta análise é avaliada a viabilidade da adoção de outras fontes de energia em substituição a energia proveniente da distribuidora. Isto é feito de modo a reduzir os custos com o consumo em horário de ponta. Uma avaliação comum nestes casos consiste na **adoção de geradores** à combustão com o acionamento programado para o horário de ponta em cenários cuja economia proporcionada por ele seja capaz de suprir as despesas com sua aquisição, manutenção e operação. Um estudo de viabilidade econômica garante o retorno financeiro ao consumidor na aquisição do gerador ou contratação da prestadora deste serviço, Figura 4.7.

Figura 4.7 – Geração em horário de ponta de uma unidade consumidora.

A adoção de um grupo gerador também provê garantia à edificação em casos de faltas por parte da distribuidora. Sua adoção evita prejuízos com o desligamento dos sistemas em produção (paralisação da mão de obra), intermitência em sistemas de telecomunicações (rádio, servidores, torres de telefonia etc), desligamento de sistema de manutenção à vida (respiradores, máquinas de hemodiálise etc), maquinário ocioso na indústria e perda de matéria prima (câmaras frigoríficas, exaustores, freezers etc). Estes sinistros geram atrasos na produção de bens, serviços e, conseqüentemente, prejuízos financeiros.

4.5 Contratação Sazonal

Os contratos com sazonalidade são aqueles que possuem um montante contratado de energia por mês. Estes contratos são concedidos a unidades cuja atividade utilize matéria-prima advinda diretamente da agricultura, pecuária, pesca ou para fins de extração de sal ou de calcário destinado à agricultura. Por definição, o perfil de consumo de uma unidade consumidora é **sazonal** quando a relação entre a soma dos 4 (quatro) menores e a soma dos 4 (quatro) maiores consumos de energia elétrica ativa é menor ou igual a 20%. Este cálculo é descrito pelo Art. 295 da REN1000, 2021 [23].

$$\text{sazonalidade [\%]} = \frac{\sum_{i=9}^{12} m_i}{\sum_{i=1}^4 m_i} \times 100 \quad (4.9)$$

onde,

- m_i é a medição ordenada de consumo em um ciclo de 30 (trinta) dias;
- i é o índice da medição ordenada nos últimos 12 meses.

Quando é verificada a sazonalidade da assinatura energética de uma unidade consumidora, a contratação de demanda pode ser seguida por um cronograma mensal com viabilidade de negociação tarifária. Esta negociação gera redução de despesas com energia graças à previsibilidade de seu consumo na rede de distribuição, Figura 4.8.

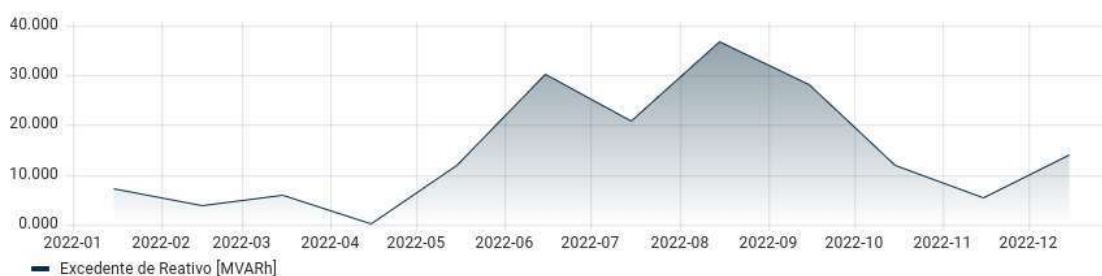
Figura 4.8 – Representação da sazonalidade de uma unidade consumidora.



4.6 Excedente de Reativo

A elevação do fluxo de potência reativa indutiva na rede tem como consequência o aumento no módulo da corrente, das perdas por efeito *Joule* e a redução dos níveis de tensão, o que compromete a operação do sistema elétrico de distribuição, Figura 4.9. Já o fluxo de potência reativa indutiva geralmente está presentes em redes elétricas para fornecer a energia reativa que os equipamentos indutivos absorvem. Além disso, em um cenário de acúmulo de unidades consumidoras com excedente de reativo, certos elementos da rede do sistema de transmissão podem operar em sobrecarga e comprometer o fornecimento de energia. Esse risco aumenta durante os períodos nos quais a rede é fortemente solicitada. As quedas de tensão podem provocar a diminuição da vida útil das lâmpadas e dos motores elétricos, uma vez que sua redução eleva a corrente na rede.

Figura 4.9 – Representação do excedente de reativo de uma unidade consumidora.



Uma solução encontrada pelas concessionárias para a mitigação dos prejuízos financeiros ocasionados pela redução no excedente de reativo é a aplicação de multas as unidades com fator de potência abaixo de 0,92 (capacitivo ou indutivo). Esta multa é regulada pela REN1000, 2021 [23], e gera despesas com energia para os consumidores que não respeitem os limites estabelecidos. No entanto, estas despesas podem ser evitadas através da correção do fator de potência por meio da instalação de **banco de capacitores in loco** na unidade.

O investimento para instalação de um sistema de banco de capacitores é amortizado em um período de 6 meses a 1 ano, uma vez que não serão cobradas mais multas por excedente de reativo na unidade consumidora. Entretanto, um banco de capacitores mal dimensionado pode ocasionar cobranças por excedente de reativo capacitivo ou indutivo. Logo, seu dimensionamento ótimo tem o potencial de reduzir o excedente de reativo a um valor não prejudicial para a operação da rede concessionária, além de reduzir as despesas com energia da unidade consumidora.

4.7 Conclusão

Neste capítulo foram exploradas as estratégias para a observação das despesas que compõem um ciclo de faturamento de uma distribuidora. Sob este cenário é apresentado o conceito aqui chamado de "perfil de consumo" como uma forma de analisar o consumo e as despesas com energia de uma unidade consumidora. Este conceito é aplicado a uma metodologia que busca novas oportunidades de economia no uso da energia através da observação e adequação do perfil de cada unidade. Sua prática é capaz de produzir resultados atrativos tanto à operação da rede do sistema de distribuição quanto à unidade consumidora de forma harmoniosa, garantindo seus interesses econômicos de forma sustentável. Esta metodologia consiste na análise das casualidades das despesas e do consumo eficiente de energia sob uma ótica que permita a observação e o processamento contínuo do perfil de consumo utilizando instrumentos tecnológicos tais como os medidores inteligentes e os algoritmos que as descrevem. A gestão de energia apresenta potenciais de redução nas despesas e provê a operação sustentável da rede de distribuição quando aplicada em larga escala. Esta economia é ponderada ao perfil e as condições da rede elétrica da unidade.

No capítulo seguinte são apresentadas as assinaturas energéticas exploradas, os resultados das análises efetuadas nas unidades e as possíveis decisões que podem ser tomadas sobre elas. Estas análises são realizadas utilizando uma aplicação específica, cujas tecnologias representam o estado da arte de desenvolvimento de software no momento da publicação deste trabalho. Também são apresentadas a auto avaliação do trabalho, as perspectivas futuras e a conclusão geral desta dissertação.

Capítulo 5

Resultados dos Experimentos

Este capítulo apresenta os resultados obtidos da execução das análises sobre três perfis de consumo e o cenário tarifário nos quais eles estão inseridos.

5.1 O Cenário Tarifário

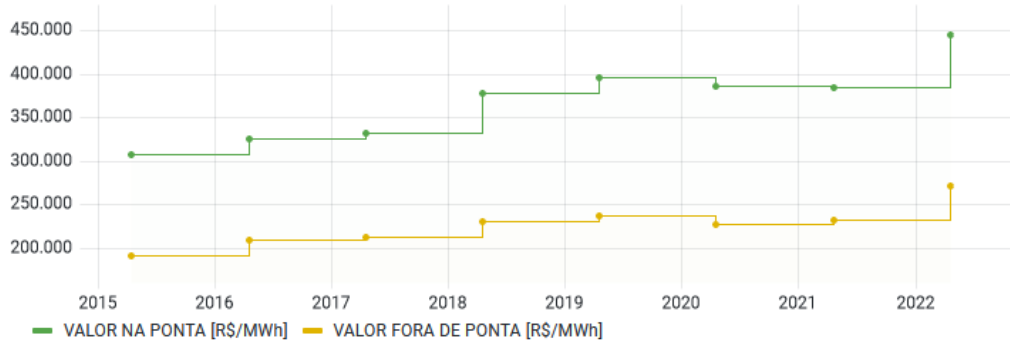
Neste experimento observa-se o histórico tarifário estabelecido pela ANEEL para um conjunto de grupos de consumidores de uma ou mais distribuidoras nordestinas, Figura 5.1. Desta observação, o gestor da unidade avalia o impacto tarifário nas despesas com energia de uma unidade.

Figura 5.1 – Distribuidoras nordestinas por regiões de concessão.

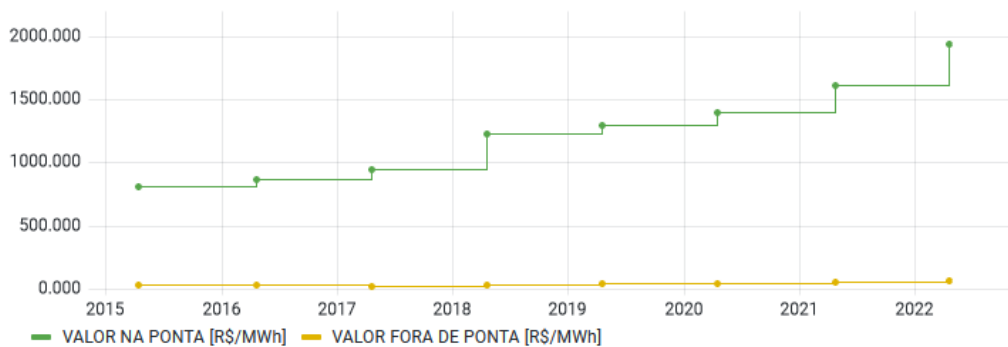


Fonte: ANEEL e IBGE.

A base de dados para esta solução consiste no conjunto de resoluções homologatórias para cada distribuidora. Estas resoluções tem período de publicação anual e podem ser obtidas no portal da agência reguladora (<https://biblioteca.aneel.gov.br/>). Delas são coletadas as tarifas de energia (TE) repassadas pelas distribuidoras no mercado cativo de energia elétrica, Figura 5.2, e as tarifas de uso do sistema de distribuição (TUSD) das diversas modalidades contratuais para os serviços de distribuição, Figura 5.3.

Figura 5.2 – Tarifas de Energia (TE).

Fonte: ANEEL RH2015 a 2022, COSERN, grupo A4 (2,3 a 25kV), mod. verde.

Figura 5.3 – Tarifas de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD).

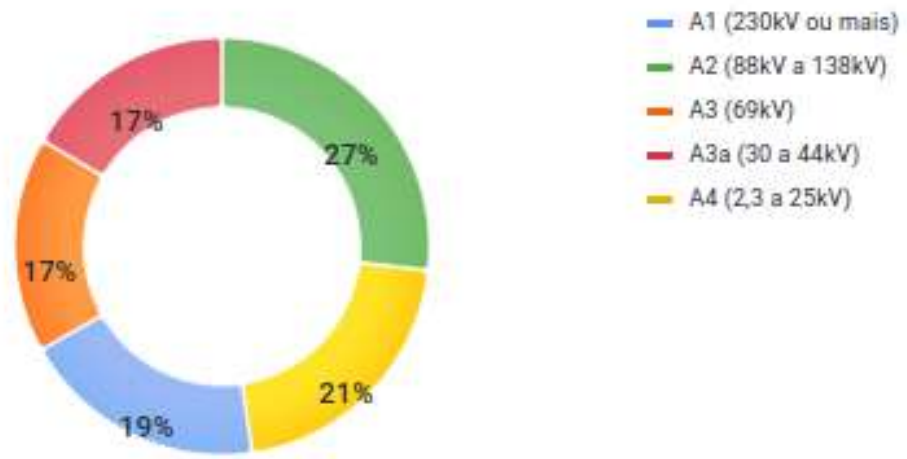
Fonte: ANEEL RH2015 a 2022, COSERN, grupo A4 (2,3 a 25kV), mod. verde.

O público de unidades consumidoras desta solução são os consumidores do grupo A. As tarifas de energia deste grupo podem ser consultadas para todos os seus subgrupos existentes nas regiões de atuação da distribuidora, Figura 5.4.

Para cada subgrupo existe um conjunto de modalidades tarifárias que podem ser consultadas e avaliadas conforme à necessidades da unidade, Figura 5.5. Estas modalidades são um conjunto de tarifas aplicáveis ao consumo de energia elétrica e à demanda de potência ativa. Elas são definidas de acordo com o Grupo Tarifário, segundo as opções de contratação definidas na Resolução Normativa ANEEL nº 1.000/2021 [23] e no Módulo 7 dos Procedimentos de Regulação Tarifária - Proret [32].

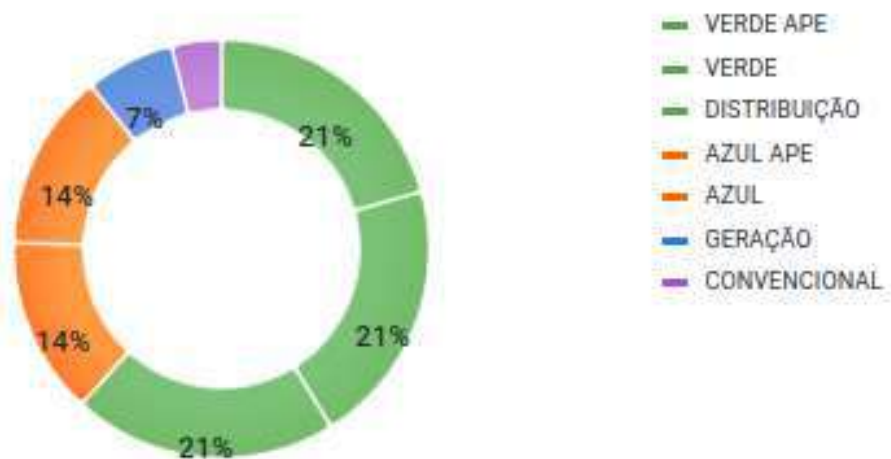
O período de observação escolhido tem início no ano de 2015 até a data da escrita deste trabalho. Este período foi adotado por seu ponto de partida coincidir com o início da aplicação do sistemas de bandeiras tarifárias da ANEEL, Figura 5.6. O valor desta tarifa é publicada mensalmente pela agência para a aplicação nas faturas de energia emitidas pelas distribuidoras em território nacional. Esta publicação atualmente é realizada no portal oficial do governo federal (<https://www.gov.br/>).

Figura 5.4 – Subgrupos do grupo A na região de concessão.



Fonte: ANEEL RH2015 a 2022, COELBA.

Figura 5.5 – Modalidades do subgrupo A4(2,3 a 25kV) na região de concessão.



Fonte: ANEEL RH2015 a 2022, COELBA.

Figura 5.6 – Valores das Bandeiras Tarifárias.

Fonte: ANEEL.

As despesas com tarifação apresentam o comportamento do mercado nos períodos atípicos de geração no SIN através dos sistemas de bandeiras tarifárias. Para cada distribuidora é visualizado os valores da tarifa de uso do sistema de distribuição (TUSD) e da tarifa de energia (TE), desde o início de sua aplicação até a data da publicação deste trabalho. Nesta análise, se destacam os altos valores regulados pela ANEEL nos períodos de escassez hídrica e sua redução durante a pandemia do COVID-19.

Este experimento auxilia na tomada de decisão assertiva quanto a modalidade contratual e/ou da região para o exercício da atividade do consumidor, com o melhor custo-benefício energético.

5.2 Os Perfis de Consumo

Neste experimento se observa o histórico do consumo de energia em horário de ponta e fora de ponta de uma ou mais unidades consumidoras. Desta observação, o gestor da unidade avalia a relação entre as atividades exercidas na unidade e o consumo de energia. Do cruzamento destas informações se estima o impacto das atividades realizadas na operação e, conseqüentemente, nas despesas com energia de uma unidade, assim como a viabilidade da adoção de estratégias econômicas e/ou de *retrofit* como, por exemplo, a geração em horário de ponta, contratação sazonal ou a redução do fator de potência na unidade.

Para esta análise, são observados os perfis de consumo de três unidades consumidoras. O primeiro consiste na assinatura energética de uma indústria, o segundo para um hospital e o terceiro para uma universidade, Figura 5.7. A unidade de medida adotada para a representação é o MWh. A base de dados para esta análise é gerada sinteticamente a partir da média de assinaturas energéticas de outras unidades com atividades semelhantes. O tratamento dos dados neste trabalho é realizado para o atendimento de seus objetivos científicos. Neste contexto, as informações geográficas e jurídicas das unidades são fictícias.

Dos perfis de consumo, observam-se as assinaturas energética da indústria, hospital e universidade. Estas assinaturas refletem a operação ocasionada pelas atividades executadas na unidade. Para a indústria, a assinatura reflete a produção de bens e insumos a quais ela se destina. No hospital, a intensa atividade no tratamento de pessoas é refletido em um perfil com valores mais próximos a uma constante do que as demais unidades consumidoras. Já a universidade se caracteriza pelo baixo consumo em horário ponta e a queda significativas nos períodos de recesso acadêmico, devido a baixa atividade na unidade.

Figura 5.7 – Perfis de Consumo de Três Unidades Consumidoras

(a) Indústria.



(b) Hospital.



(c) Universidade.

5.3 Aferição da Demanda Ótima

Neste experimento se observa a demanda máxima associada à demanda contratada e à demanda ótima de uma unidade consumidora. Esta análise auxilia o gestor a avaliar se a demanda contratada é compatível com a operação atual na unidade. Conforme disposto na Resolução Normativa nº 1.000/2021 [23], o consumidor tem até 3 ciclos de faturamento (90 dias), para solicitar alteração no valor da demanda contratada predefinida em projeto.

A demanda ótima reflete o melhor custo-benefício no uso do sistema de distribuição. O valor ótimo descreve de forma eficiente a variação de consumo em função das atividades executadas pelo modelo de negócio implantado nas unidades consumidoras. A determinação da demanda ótima evita despesas com multas por ultrapassagem, riscos à rede elétrica e a interrupção da prestação do serviço pela distribuidora. Para cada uma das assinaturas energéticas observadas um valor de demanda ótima é calculado de modo a reduzir as despesas com uso da rede de distribuição.

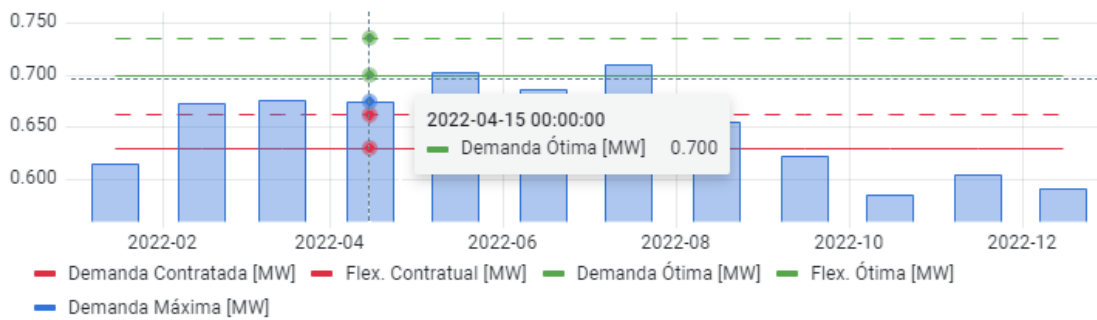
Para a indústria, Figura 5.8 (a), o valor ótimo é de 2,100 MW. Excerto para o mês de maio, todos os ciclos de faturamento apresentam valores de demanda máxima acima do valor contratado e de sua flexibilidade contratual. Este fato evidencia que a demanda contratada de 1,200 MW não atende as necessidades da unidade, gera multas por ultrapassagem e compromete a rede elétrica de distribuição. Apresentadas as evidências, recomenda-se ao gestor da unidade consumidora a reavaliação do valor da demanda atualmente contratada, a adoção do valor ótimo calculado de 2,100 MW e a supervisão nos próximos ciclos tarifários para garantir o dimensionamento correto do valor de demanda contratada para a unidade. A supervisão desta unidade viabiliza a gestão da operação na unidade, de forma a respeitar ou redimensionar o valor de demanda ótima estimado.

Para o hospital, Figura 5.8 (b), o valor ótimo é de 0,700 MW. Nesta unidade observam-se valores de demanda máxima acima do valor contratado e de sua flexibilidade contratual entre os meses de fevereiro e julho, o que corresponde a metade do período observado em sua assinatura energética. Este fato evidencia que a demanda contratada de 0,600 MW não atende as necessidades da unidade, gera multas por ultrapassagem e compromete a rede elétrica de distribuição neste período. Dadas as evidências, também se recomenda ao gestor a reavaliação do valor da demanda contratado, a adoção do valor ótimo calculado de 0,700 MW e a supervisão da unidade nos próximos ciclos tarifários. Neste perfil, também cabe uma análise *in-loco* do acionamento de equipamentos que justifiquem os valores apresentados, assim como as causas do valores menores apresentados entres os meses de outubro e dezembro em sua assinatura energética.

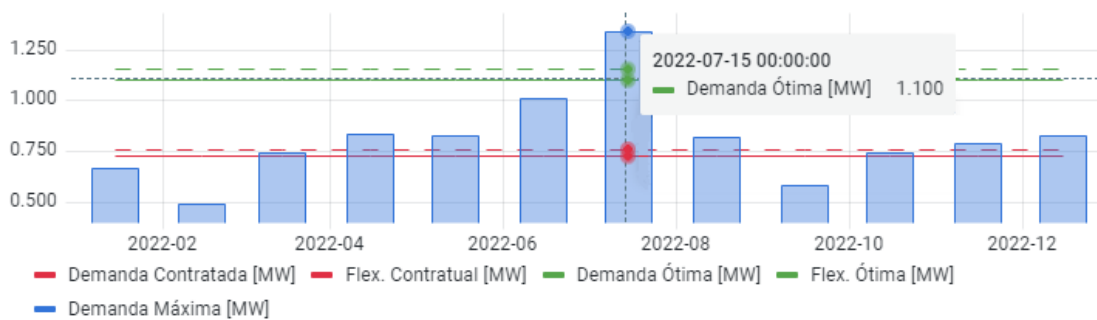
Para a universidade, Figura 5.8 (c), o valor ótimo é de 1,000 MW. Neste cenário, recomenda-se ao gestor a reavaliação do valor da demanda atualmente contratada, o redimensionamento para o valor ótimo calculado e a supervisão nos próximos ciclos tarifários para garantir o correto dimensionamento deste valor estimado. É possível observar que o valor de demanda máxima no mês de julho apresenta o valor um terço superior em relação a segunda dentre as maiores demandas máximas mensuradas. Dadas as evidências, também recomenda-se uma análise *in-loco* do acionamento de equipamentos que justifique o valor apresentado neste ciclo, além da elaboração de políticas internas de consumo que evitem este faturamento atípico de demanda.

Figura 5.8 – Análise da Demanda Ótima para Três Unidades Consumidoras.

(a) Indústria.



(b) Hospital.



(c) Universidade.

5.4 Viabilidade da Geração em Horário Ponta

Neste experimento se observa o consumo em horário de ponta para avaliar a possibilidade de adoção de uma fonte alternativa de energia neste período. O objetivo desta análise consiste na obtenção de abatimentos nas despesas com energia que viabilizem a instalação e manutenção de um grupo gerador. Este grupo deve ser dimensionado para proporcionar economia à unidade sobre o consumo realizado.

Esta solução permite monitorar a sua operação nos casos em que a unidade já possui um grupo gerador instalado. Este monitoramento auxilia o gestor da unidade na avaliação das configurações do grupo gerador, evitando o acionamento fora do período, interrupções na operação e despesas com geração além das necessidades da unidade. Esta supervisão garante o custo-benefício, pleno acionamento e manutenção do grupo gerador instalado. Em caso de falta de energia, o grupo gerador deve ser acionado imediatamente. Quando ocorre falta, todos os equipamentos são ligados novamente, sem comprometer os procedimentos e as outras atividades. Além disso, o gerador também é responsável pelo funcionamento da iluminação, da climatização e dos elevadores de toda a unidade.

As três unidades observadas neste experimento apresentam um grupo gerador instalado em operação na rede elétrica. Nos resultados da análise de geração em horário de ponta observa-se a operação dos três grupos geradores, assim como a sua eficiência em suprir a carga demandada neste período.

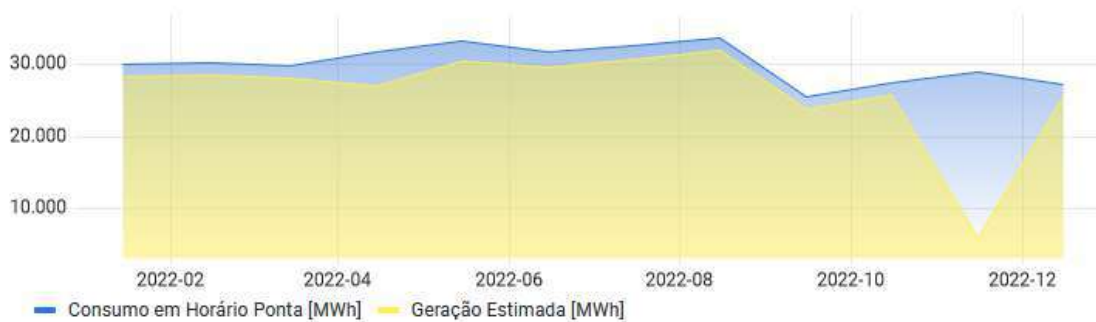
Na indústria, Figura 5.9 (a), observa-se que o acionamento do grupo não supriu as necessidades da unidade. Nestes casos recomenda-se ao gestor que realize a manutenção preventiva do grupo gerador instalado. Já quando o acionamento do grupo após a sua manutenção ou sua geração padrão não supram a carga necessária na unidade se recomenda o redimensionamento do grupo previamente instalado para que se atenda a carga total demandada neste período. Também se recomenda a produção de um estudo de viabilidade econômica para o grupo gerador estimado. Estas ações geram evidências que justificam, ou não, as despesas com o *retrofit* das instalações do grupo gerador da unidade. Este estudo deve ser realizado com o objetivo de obtenção do melhor custo benefício para a manutenção das atividades econômicas exercidas na indústria, garantindo a sua operação ótima.

Já o hospital apresenta a compensação mais eficiente neste período Figura 5.9 (b). Contudo, houve uma queda na geração no mês de novembro. Este tipo de queda na operação costuma ser ocasionado devido a realização de manutenção periódica do grupo gerador da unidade. Neste cenário, cabe ao gestor realizar uma análise *in-loco* das instalações da unidade para obtenção de evidências que justifiquem o comportamento observado.

Na universidade, Figura 5.9 (c), observa-se que o grupo tem atuado de forma assíncrona com a carga da unidade. Esta observação indica a possível ocorrência de eventos fora do circuito da unidade que justifiquem esta medição atípica. Este tipo de ocorrência costuma ser consequência de falhas no acionamento, manutenção preventiva e situações atípicas de consumo, cabendo ao gestor da unidade realizar uma investigação *inloco* sobre a eficiência do acionamento do grupo.

Figura 5.9 – Geração em hora ponta de Três Unidades Consumidoras

(a) Indústria.



(b) Hospital.



(c) Universidade.

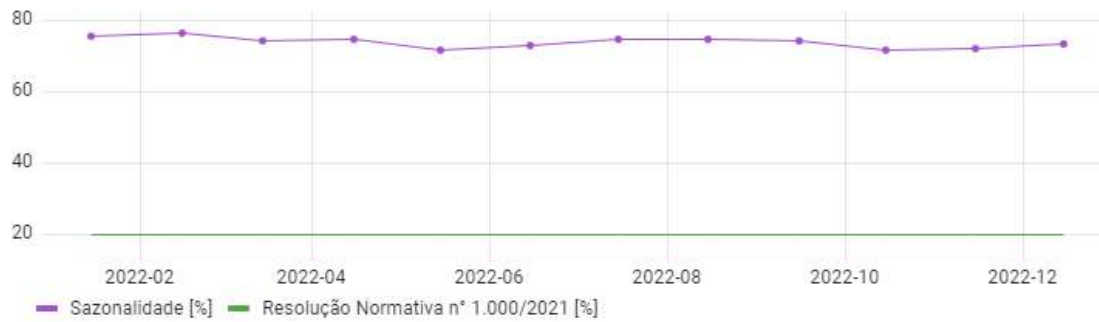
5.5 Sazonalidade das Unidades

A sazonalização de energia é um artifício contratual. Este tipo de contrato consiste na programação do consumo em um processo que permite que o consumidor aloque um determinado volume de energia contratado para o ano, em valores mensais. Estes valores devem respeitar os limites anuais negociados no fechamento do contrato, levando em conta os limites de variação mensais.

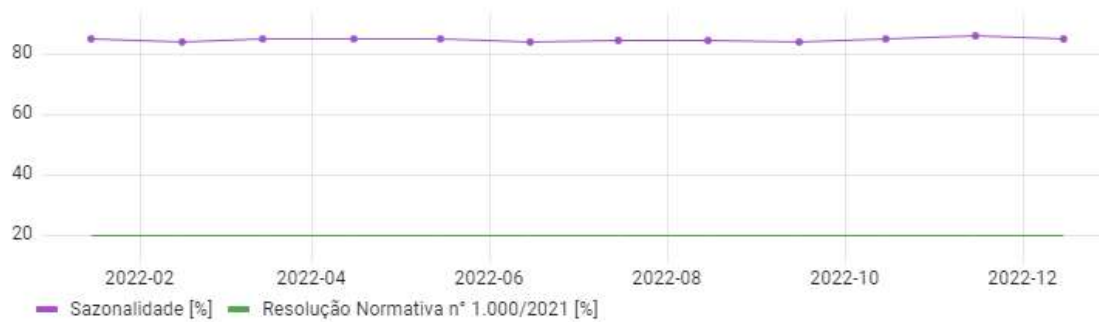
Neste experimento se observa a sazonalidade de três unidades consumidoras. Esta observação é realizada com o objetivo de acompanhar e/ou ajustar o contrato para o perfil sazonal de consumo definido pela ANEEL. Esta análise auxilia o gestor na administração da unidade no alcance deste perfil. O experimento também auxilia no discernimento sobre a mudança contratual nos casos que apresentem os requisitos necessários, gerando economia para a unidade consumidora.

Hospitais e universidades não podem aderir a este contrato devido aos critérios estabelecidos pela agência reguladora, independente da adequação de seu perfil de consumo, Figura 5.10. Contudo, para a indústria é possível adaptar o perfil de consumo e as atividades. Isto é realizado nos casos de viabilidade na utilização de matéria-prima advinda diretamente da agricultura, pecuária, pesca ou para fins de extração de sal ou de calcário destinado à agricultura. Desta forma, ela se torna elegível a este tipo de contrato.

Nenhum dos perfis de consumo analisados se enquadram nos critérios necessários para a modalidade de contratação sazonal. Dentre elas, a universidade apresenta a menor sazonalidade. Contudo, a universidade e o hospital não são modelos de negócios que atendam aos critérios regulados pela ANEEL, restando apenas à indústria a viabilidade de adequação do seu perfil ao modelo sazonal de consumo.

Figura 5.10 – Sazonalidade de Três Unidades Consumidoras.

(a) Indústria.



(b) Hospital.



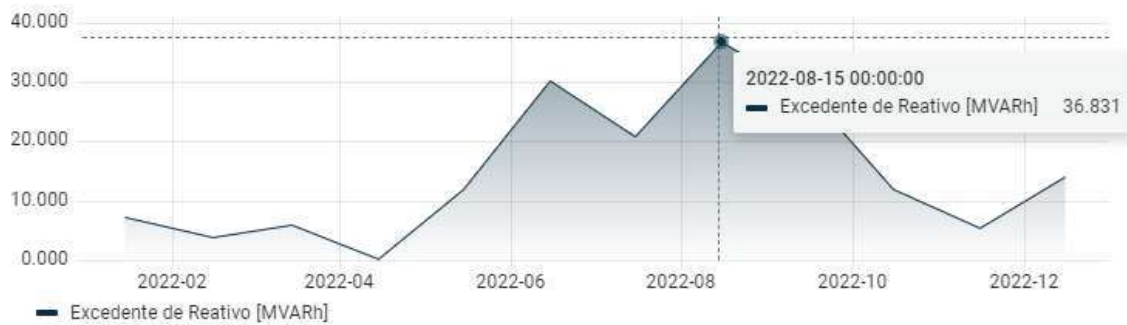
(c) Universidade.

5.6 Produção de Reativo

Neste experimento se observa o histórico do consumo de energia reativa em uma unidade. Esta análise auxilia o gestor a evitar o acionamento de motores com pequenas cargas por tempo elevado, lâmpadas de descargas sem correção individual do fator de potência, transformadores com baixo uso ou superdimensionado, além de outros fatores que possam contribuir na incidência deste consumo excedente, Figura 5.11.

A energia reativa compromete a rede elétrica e impacta as despesas com energia da unidade. A Resolução Normativa nº 1.000/2021 [23] regula que os consumidores do grupo A (industriais e comerciais) sejam taxados caso apresentem um fator de potência abaixo de 0,92. Neste contexto, esta solução auxilia o gestor tanto na gestão da carga como na produção de estudos de viabilidade econômica que justifiquem a adoção de um banco de capacitores na unidade. Este *retrofit* mantém o fator de potência acima do valor regulado, reduzindo as despesas com energia, além de melhorar a qualidade de energia na rede elétrica.

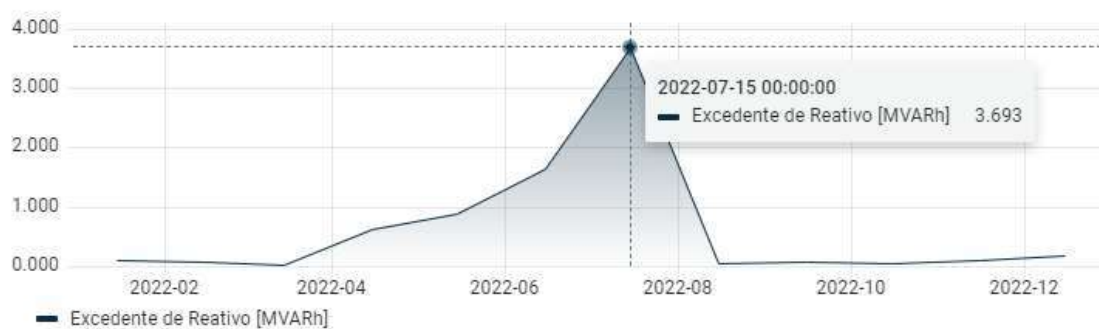
Dos dados obtidos da análise do consumo excedente de reativo, observa-se que a indústria apresenta uma produção com máxima de 36,831 Mvarh, cabendo um estudo de viabilidade para implantação de medidas de combate a este consumo na unidade. No hospital, observa-se a atuação de um banco de capacitores em março, aumentando o fator de potência e suprimindo um consumo acima 3,000 Mvarh para valores próximos a 0 varh. Já na universidade, observa-se uma produção atípica de excedente de reativo entre os meses de abril e agosto, com valor máximo de 3,693 varh. Este aumento atípico costuma ser ocasionado pela depreciação do banco de capacitores instalado ou o acionamento de novos equipamentos. Após a manutenção das atividades da unidade, os valores de reativos foram reduzidos para valores próximos a 0 VAh.

Figura 5.11 – Consumo excedente de reativo de Três Unidades Consumidoras.

(a) Indústria.



(b) Hospital.



(c) Universidade.

5.7 Conclusão

A análise da rede elétrica auxilia o gestor do negócio na tomada de decisão assertiva quanto a modalidade contratual e/ou da região para o exercício da atividade do consumidor com o melhor custo-benefício energético. O próximo capítulo condensa os pontos centrais dos objetos de discussão explorados ao longo deste trabalho, apresentando as conclusões sobre eles, concluindo esta dissertação.

Capítulo 6

Conclusão

Este capítulo condensa os pontos centrais dos objetos de discussão explorados ao longo deste trabalho, apresentando as conclusões sobre eles. Também é realizada uma reflexão sobre o uso da informação para a tomada de decisão, uma auto-avaliação deste trabalho e do cumprimento de seus objetos, assim como as perspectivas futuras, concluindo esta dissertação.

6.1 Informação para a Tomada de Decisão

A informação para a tomada de decisão é uma estratégia para o alcance total dos benefícios da abertura do mercado de energia aos consumidores brasileiros. Este alcance é obtido através da comercialização de energia como um ativo do empreendimento, cujo consumo mais eficiente tem por consequência o *payback* mais atrativo aos investimentos para o manuseio deste recurso. A diversificação das metodologias e processos para a gestão de energia atendem a uma expectativa crescente sobre o manuseio ágil deste recurso, seja com a modernização do setor elétrico e ou a digitalização dos seus instrumentos de geração, transmissão, distribuição e comercialização no país.

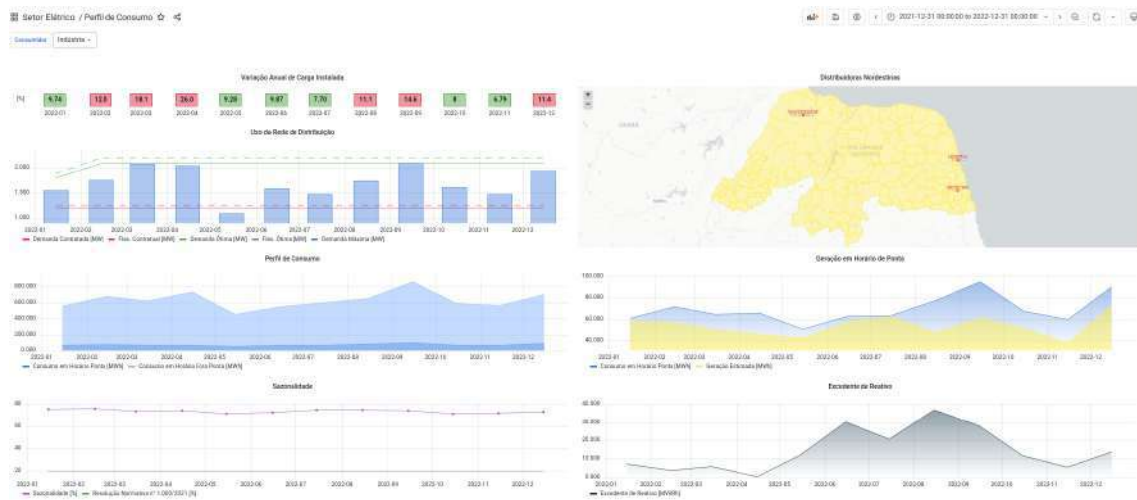
A integração entre a inteligência computacional, a série histórica e a medição em tempo real toma forma através do desenvolvimento de sistemas de medição inteligente. Estes sistemas provem uma visão personalizada dos perfis de consumo quando associados a sistemas computacionais. Para tal, eles processam e apresentam os dados da telemetria de forma clara e objetiva. Desta maneira, a complexidade dos hábitos de consumo de uma unidade são passíveis de abstração e síntese para sua apresentação em gráficos úteis ao gestor da unidade consumidora, sendo esta a solução proposta nesta dissertação.

Para a apresentação da informação do banco de dados relacional projetado, é adotado a aplicação Grafana [68] para apresentação da informação. Esta aplicação *open-source* permite a análise das informações através de tabelas, gráficos e alertas em multiplataformas. Nestes ambientes, os usuários podem criar painéis de monitoramento complexos usando criadores de consultas SQL interativas. Na solução proposta, esta aplicação é integrada a um *Content Management System (CMS) Wordpress* para a apresentação da informação, que é concatenada a diferentes tipos de mídias como documentos de textos, imagens, áudios e vídeos, expandindo as capacidades da solução.

Este trabalho apresenta uma forma de visualização das informações do perfil de consumo, Figura 6.1, e das despesas tarifárias atuais do mercado, Figura 6.2, ao gestor da unidade consumidora, contudo sua limitação ao caráter de observador deste comportamento abre espaço para a elaboração de trabalhos futuros. Tais como o desenvolvimento de tecnologias que possibilitem a exploração de novos produtos e serviços associados ao tratamento desta informação como, por exemplo, a compra e venda de energia, o controle e operação de sistemas telecomandados da unidade em uma rede social que possibilite a comparação e "gamificação" do processo de gestão de energia ou o uso de *deep learning* no auxílio de diagnósticos de problemas na rede elétrica da unidade, fazendo com que o software aprenda sem a necessidade de programação explícita.

A tomada de decisão baseada em dados auxilia no sucesso da atividade comercial, industrial e até mesmo para a estabilidade de um ambiente residencial. Nestes ambientes, a experiência profissional nem sempre é capaz de antecipar as consequências e os riscos de escolhas decisivas. Logo, o gestor da unidade analisa as informações coletadas e criadas pela própria unidade, somando dados à suas habilidades para entender qual a melhor decisão para solução de um problema, alcançar novos *insights* baseados em experiências prévias ou evitar a reincidência de problemas já vivenciados de maneira mais assertiva. Além disso, um banco de dados centralizado facilita o cálculo de estimativas de depreciação e estimar o *payback* de investimento em equipamentos e/ou serviços, avaliando recursos e reduzindo gastos desnecessários.

Figura 6.1 – Sistema para visão interativa do consumo de energia por unidade.



Fonte: Autor e IBGE.

Figura 6.2 – Sistema para visão interativa das despesas tarifárias atuais por distribuidoras.

Fonte: Autor, ANEEL e IBGE.

6.2 Avaliação do Trabalho

Nos experimentos realizados, foi avaliada a viabilidade de autoprodução a partir de fontes convencionais e/ou renováveis de energia em horário ponta, a necessidade de manutenção do banco de capacitores e da execução de *retrofit* nas unidades consumidoras com sua implantação ou substituição na unidade avaliada. Para tal, foi desenvolvido um modelo conceitual e relacional do banco de dados para o armazenamento dos dados necessários a solução proposta para auxiliar o gestor no diagnóstico do perfil energético das instalações e o uso racional da energia. As tecnologias envolvidas nesta solução são de domínio público (*open-source*) com o intuito de incentivar o desenvolvimento desta e de novas soluções de sistemas de gestão de energia pela comunidade acadêmica. Também é proposta um modelo matemático para o cálculo do valor da demanda ótima como um dos indicadores de qualidade de energia relacionados às tendências econômicas do faturamento.

6.3 Perspectivas futuras

No semestre da publicação deste trabalho, o Ministério de Minas e Energia (MME) avançou na proposta de abertura do mercado livre de energia com a migração de todos os consumidores do Grupo A (superior a 2,3 kV) a partir de 2024. Esta migração foi decretada por meio da Portaria MME nº 50, publicada em 28 de setembro de 2022. Além disso, o MME abriu uma Consulta Pública propondo a abertura total do mercado livre de energia aos demais grupos de consumidores presentes no sistema elétrico nacional (SIN), com meta de migração dos consumidores comerciais e industriais em 2026 e dos consumidores residenciais e rurais em 2028.

Neste contexto, ficam aqui recomendadas a expansão do escopo deste trabalho para todas as distribuidoras de energia e unidades consumidoras em território nacional. Isso pode ser feito por meio do desenvolvimento dos algoritmos, do banco de dados e dos sistemas computacionais propostos neste trabalho para a realização da análise de assinaturas energéticas, comercialização de energia (e-commerce), estudos de cenários com matriz elétrica 100% de fonte renovável, medição em tempo real e a predição do consumo ótimo de energia em redes de distribuição, mantendo a eficiência máxima de seu faturamento.

Referências Bibliográficas

- [1] CASTRO ALVAREZ, Fernando; VAIDYANATHAN, Shruti *et al.* **International Energy Efficiency Scorecard**, 2022. Disponível em: <https://www.aceee.org/international-scorecard>. Acesso em: 20 mai. 2022.
- [2] BERLAD, Al.; SALZANO, Fj.; BATEY, J. **On enthalpy management in small buildings**. *Energy*, 1(4):429–443, 1976.
- [3] BJARNE, Stroustrup. **C Variables. Data Types**. Disponível em: <https://www.cplusplus.com/doc/oldtutorial/variables>. Acesso em: 20 mai. 2022.
- [4] BRASÍLIA. **Decreto nº 2.335, de 6 de outubro de 1997**. Constitui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, autarquia sob regime especial, aprova sua Estrutura Regimental e o Quadro Demonstrativo dos Cargos em Comissão e Funções de Confiança e dá outras providências. Brasília: Presidência da República [1997]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D2335.htm#:~:text=DECRETO%20N%2C%2BA%202.335%2C%20DE%206,Confian%C3%A7a%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A7%C3%A3es. Acesso em: 22 mar. 2022.
- [5] ———. **Decreto nº 3.371, de 25 de fevereiro de 2000**. Institui, no âmbito do Ministério de Minas e Energia, o Programa Prioritário de Termoeletricidade, e dá outras providências. Brasília: Presidência da República [2000]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d3371.htm#:~:text=DECRETO%20No%203.371%2C%20DE,que%20lhe%20confere%20o%20art. Acesso em: 22 mar. 2022.
- [6] ———. **Decreto nº 5.117, de 12 de agosto de 2004**. Regulamenta os arts. 4o e 5o da Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004, e dispõe sobre a organização, as atribuições e o funcionamento da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE. Brasília: Presidência da República [2004]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5117.htm. Acesso em: 22 mar. 2022.
- [7] ———. **Decreto nº 5.175, de 9 de agosto de 2004**. Constitui o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico - CMSE de que trata o art. 14 da Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004. Brasília: Presidência da República [2004]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5175.htm. Acesso em: 22 mar. 2022.

- [8] ———. **Decreto nº 5.184, de 16 de agosto de 2004.** Cria a Empresa de Pesquisa Energética - EPE, aprova seu Estatuto Social e dá outras providências. Brasília: Presidência da República [2004]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5184.htm. Acesso em: 22 mar. 2022.
- [9] ———. **Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004.** Autoriza a criação da Empresa de Pesquisa Energética - EPE e dá outras providências. Brasília: Presidência da República [2004]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/110.847.htm. Acesso em: 22 mar. 2022.
- [10] ———. **Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004.** Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis nºs 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências. Brasília: Presidência da República [2004]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Lei/L10.848.htm. Acesso em: 22 mar. 2022.
- [11] ———. **Lei nº 13.3709, de 14 de agosto de 2018.** Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Brasília: Presidência da República [2019]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5184.htm. Acesso em: 22 mar. 2022.
- [12] ———. **Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022.** Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Brasília: Presidência da República [2022]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/L14300.htm. Acesso em: 22 mar. 2022.
- [13] ———. **Lei nº 3.782, de 22 de julho de 1960.** Cria os Ministérios da Indústria e do Comércio e das Minas e Energia, e dá outras providências. Brasília: Presidência da República [1960]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/13782.htm. Acesso em: 22 mar. 2022.
- [14] ———. **Lei nº 3.890, de 25 de abril de 1961.** Autoriza a União a constituir a empresa Centrais Elétricas Brasileiras S. A. - ELETROBRÁS, e dá outras providências. Brasília: Câmara dos deputados [1961]. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1960-1969/lei-3890-a-25-abril-1961-353665-publicacaooriginal-1-pl.html>. Acesso em: 22 mar. 2022.
- [15] ———. **Lei nº 4.904, de 17 de dezembro de 1965.** Dispõe sobre a organização do Ministério das Minas e Energia, e dá outras providências. Brasília: Presidência da

- República [1965]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/14904.htm. Acesso em: 22 mar. 2022.
- [16] ———. **Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995.** Dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos previsto no art. 175 da Constituição Federal, e dá outras providências. Brasília: Presidência da República [1995]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/18987cons.htm. Acesso em: 22 mar. 2022.
- [17] ———. **Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996.** Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências. Brasília: Presidência da República [1996]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19427cons.htm. Acesso em: 22 mar. 2022.
- [18] ———. **Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997.** Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. Brasília: Presidência da República [1997]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19478.htm. Acesso em: 22 mar. 2022.
- [19] BRASÍLIA. **Lei nº 9.491, de 9 de setembro de 1997.** Altera procedimentos relativos ao Programa Nacional de Desestatização, revoga a Lei nº 8.031, de 12 de abril de 1990, e dá outras providências. Brasília: Presidência da República [1997]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9491.htm#art35. Acesso em: 22 mar. 2022.
- [20] ———. **Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998.** Altera dispositivos das Leis no 3.890-A, de 25 de abril de 1961, no 8.666, de 21 de junho de 1993, no 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, no 9.074, de 7 de julho de 1995, no 9.427, de 26 de dezembro de 1996, e autoriza o Poder Executivo a promover a reestruturação da Centrais Elétricas Brasileiras - ELETROBRÁS e de suas subsidiárias e dá outras providências. Brasília: Presidência da República [1998]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19648cons.htm. Acesso em: 22 mar. 2022.
- [21] ———. **Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000.** Dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília: Presidência da República [2000]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19991.htm. Acesso em: 22 mar. 2022.
- [22] ———. **Medida Provisória nº 2.198-5, de 24 de agosto de 2001.** Cria e instala a Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica, do Conselho de Governo, estabelece diretrizes para programas de enfrentamento da crise de energia elétrica

- e dá outras providências. Brasília: Presidência da República [2001]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/mpv/antigas_2001/2198-5.htm#:~:text=MEDIDA%20PROVIS%C3%A9RIA%20No%202.198,el%C3%A9trica%20e%20d%C3%A9%20outras%20provid%C3%A9ncias. Acesso em: 22 mar. 2022.
- [23] ———. **Resolução Normativa nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021**. Brasília: ANEEL, 7 dez. 2021. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.html>. Acesso em: 22 mar. 2022.
- [24] BRITO, Marilza Elizardo; REIS, Solange Balbi Cerveira. **A vida cotidiana no Brasil moderno: a energia elétrica e a sociedade brasileira, (1880-1930)**. Rio de Janeiro: Centro de Memória da Eletricidade no Brasil, 2001.
- [25] Google Colaboratory. **A Python Notebook**. Disponível em: <https://colab.research.google.com/>. Acesso em: 20 mai. 2022.
- [26] COOPER, Ian. **Energy management in educational premises and staff morale**. *Applied Energy*, 21(4):225–279, 1985.
- [27] ROB, Peter; CORONEL, Carlos. **Sistemas de Banco de Dados: Projeto, Implementação e Administração**. Cengage Learning, 2º ed. 2011.
- [28] ORACLE CORPORATION. **MySQL 8.0 reference manual: Chapter 11 Data Types**. Disponível em: <https://dev.mysql.com/doc/refman/8.0/en/data-types.htm>. Acesso em: 20 mai. 2022.
- [29] ———. **MySQL 8.0 Reference Manual: Chapter 24.6.1 Partitioning Keys, Primary Keys, and Unique Keys**. Disponível em: <https://dev.mysql.com/doc/refman/8.0/en/partitioning-limitations-partitioning-keys-unique-keys.htm>. Acesso em: 20 mai. 2022.
- [30] HABERL, J.; SPARKS, R.; CULP, C. **Exploring new techniques for displaying complex building energy consumption data**. *Energy and Buildings*, 24(1):27–38, 1996.
- [31] BRASIL. Centro da Memória da Eletricidade no Brasil. **Eletrobrás - 60 Anos**. Disponível em: <https://eletrobras.com/pt/SobreaEletrobras/eletrobras%2060%20anos.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2022.
- [32] ———. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Módulo 7 dos Procedimentos de Regulação Tarifária (PRORET)**. Constitui o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico - CMSE de que trata o art. 14 da Lei no 10.848, de 15 de março de 2004. Brasília: Presidência da República [2004]. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/procedimentos-regulatorios/proret>. Acesso em: 22 mar. 2022.

- [33] _____ **Resolução Normativa nº 265, de 14 de agosto de 1998.** Brasília: ANEEL, 14 ago. 1998. Disponível em: [https://www.lexml.gov.br/urn/urn:lex:br:agencia.nacional.energia.eletrica:resolucao:1998-08-14;265#:~:text=RESOLU%C3%87%C3%83O%20n%C2%BA%20265%2C%20de%2014,de%20Energia%20El%C3%A9trica%20%2D%20Brasil\)%20%3A%3A&text=Estabelece%20as%20condi%C3%A7%C3%B5es%20relativas%20ao,no%20mercado%20de%20livre%20negocia%C3%A7%C3%A3o](https://www.lexml.gov.br/urn/urn:lex:br:agencia.nacional.energia.eletrica:resolucao:1998-08-14;265#:~:text=RESOLU%C3%87%C3%83O%20n%C2%BA%20265%2C%20de%2014,de%20Energia%20El%C3%A9trica%20%2D%20Brasil)%20%3A%3A&text=Estabelece%20as%20condi%C3%A7%C3%B5es%20relativas%20ao,no%20mercado%20de%20livre%20negocia%C3%A7%C3%A3o.). Acesso em: 22 mar. 2022.
- [34] _____ **Resolução Normativa nº 376, de 10 de setembro de 2009.** Brasília: ANEEL, 25 ag. 2009. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2009376.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2022.
- [35] _____ **Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010.** Brasília: ANEEL, 09 set. 2010. Disponível em: [https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=112868#:~:text=Estabelece%20as%20Condi%C3%A7%C3%B5es%20Gerais%20de,de%20forma%20atualizada%20e%20consolidada](https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=112868#:~:text=Estabelece%20as%20Condi%C3%A7%C3%B5es%20Gerais%20de,de%20forma%20atualizada%20e%20consolidada.). Acesso em: 22 mar. 2022.
- [36] _____ **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012.** Brasília: ANEEL, 17 abr. 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2022.
- [37] _____ **Resolução Normativa nº 574, de 16 de abril de 2013.** Brasília: ANEEL, 16 abr. 2013. Disponível em: <https://www.lexml.gov.br/urn/urn:lex:br:agencia.nacional.energia.eletrica:resolucao.normativa:2013-08-29;574>. Acesso em: 22 mar. 2022.
- [38] _____ **Resolução Normativa nº 581, de 11 de novembro de 2013.** Brasília: ANEEL, 11 nov. 2013. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2013581.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2022.
- [39] _____ **Resolução Normativa nº 733, de 6 de setembro de 2016.** Brasília: ANEEL, 6 set. 2022. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2016733.html>. Acesso em: 22 mar. 2022.
- [40] _____ **Resolução Normativa nº 819, de 19 de julho de 2018.** Brasília: ANEEL, 19 jul. 2018. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2018819.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2022.
- [41] SECULT [Secretaria de Estado da Cultura de Alagoas]. **Histórico, Gentílico e Formação Administrativa do município de Delmiro Gouveia.** Cultura AL, 2019. Disponível em: <http://www.cultura.al.gov.br/municipios/historico-dos-municipios/historico-do-municipio-de-delmiro-gouveia>. Acesso em: 20 mai. 2022.

- [42] GOMES, Frederico Birchal de Magalhães; MONNERAT, Suely Barbosa. **A questão regulatória nas privatizações da Light e da Escelsa**. Revista do BNDES. 1996.
- [43] BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Reunião com dirigentes de associações do setor elétrico**. Brasília: MME, 18 mar. 2014. Disponível em: <https://www.flickr.com/photos/minaseenergia/15751748967>. Acesso em: 22 mar. 2022.
- [44] MME [Ministério de Minas e Energia]. **Balanco Energético Nacional (BEN) 2001: Ano base 2000, 2001**. Disponível em: https://www.dca.ufrn.br/~ricardo/files/ben_p20012.pdf. Acesso em: 20 mai. 2022.
- [45] _____, **Balanco Energético Nacional (BEN) 2003: Ano base 2002, 2003**. Disponível em: http://www.agg.ufba.br/ben2003/BEN2003_port.pdf. Acesso em: 20 mai. 2022.
- [46] _____, **Planejamento e Desenvolvimento Energético: Sistema de Gestão de Energia e ISO 50001**. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/iso-50001>. Acesso em: 20 mai. 2022.
- [47] ABNT [Associação Brasileira de Normas Técnicas]. **NBR ISO 50001: Sistemas de gestão da energia – Requisitos com orientações para uso**. Standard, International Organization for Standardization (ISO), mar 2018.
- [48] BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **WEBMAP interativo do sistema energético brasileiro**. Disponível em: <https://gisepeprd2.epe.gov.br/WebMapEPE/>. Acesso em: 22 mar. 2022.
- [49] EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. **Balanco Energético Nacional (BEN) 2004: Ano base 2003, 2004**. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br>. Acesso em: 20 mai. 2022.
- [50] _____, **Balanco Energético Nacional (BEN) 2021: Ano base 2020, 2021**. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br>. Acesso em: 20 mai. 2022.
- [51] _____, **Balanco Energético Nacional (BEN) 2022: Ano base 2021, 2022**. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br>. Acesso em: 14 dez. 2022.
- [52] CNPE [Conselho Nacional de Política Energética]. Resolução nº 15, de 09 de dezembro de 2020. *Diário Oficial da União*, 09 dez. 2020.
- [53] Eaton. **Gerenciamento de energia global**. Disponível em: <https://www.eaton.com>. Acesso em: 15 set. 2022.
- [54] ELSEVIER. **Elsevier, About**. Disponível em: <https://www.elsevier.com/pt-br/about>. Acesso em: 20 mai. 2022.

- [67] ———. **Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934**. Decreta o código de águas. Rio de Janeiro: Decreto do Governo Provisório com força de Lei [1934]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D24643compilado.htm. Acesso em: 22 mar. 2022.
- [68] Grafana Labs. **Grafana Fundamentals**. Disponível em: <https://grafana.com/docs/grafana/latest/fundamentals/>. Acesso em: 20 mai. 2022.
- [69] CHATEAU, B.; LAPILLONE, Bruno. **Long-term energy demand forecasting: A new approach**. *Energy Policy*. 6(2):140–157, 1978.
- [70] Dimitris Lazos, Alistair B Sproul, and Merlinde Kay. **Optimisation of energy management in commercial buildings with weather forecasting inputs: A review**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 39:587–603, 2014.
- [71] LEE, Shin-Ku; TENG, Min-Cheng; FAN, Kuo-Shun; YANG, Kuan-Hsiung; HORNG, Richard S. **Application of an energy management system in combination with FMCS to high energy consuming IT industries of Taiwan**. *Energy Conversion and Management*. 52(8-9):3060–3070, 2011.
- [72] LERFORT, Antoine; BOURDARIS, Romain; *et al.* **Hierarchical control method applied to energy management of a residential house**. *Energy and Buildings*. 64:53–61, 2013.
- [73] CONSONNI, A.; LESOURD, JB. **Advances in energy management systems**. *Energy Conver. Manag.* 26(3/4):357–61, 1986.
- [74] CORRÊA, Maria Letícia. **Contribuição para uma história de regulamentação do setor de energia elétrica no Brasil: o Código de Águas de 1934 e o Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica**. *Política & Sociedade*. 4(6):255–292, 2005.
- [75] MAMEDE, J. **Instalações Elétricas industriais**, 8ª ed. Rio de Janeiro: LTD. 2013.
- [76] MARZBAND, Mousa; SUMPER, Andreas *et al.* **Experimental validation of a real time energy management system for microgrids in islanded mode using a local day-ahead electricity market and MINLP**. *Energy Conversion and Management*. 76:314–322, 2013.
- [77] METRUM. **Equipamentos de Medição Testes**. Disponível em: <https://memt.com.br>. Acesso em: 15 set. 2022.
- [78] MICHALOPOULOS, D. A. **New applications timeshared computer reduces electrical and gas energy usage and costs**. *Computer*. pages 94–95, 1977.
- [79] RACONTEUR. **A Day in Data**. Raconteur, 2019. Disponível em: https://www.raconteur.net/infographics/a-day-in-data/?zephrr_sso_ott=S6esSQ. Acesso em: 20 mai. 2022.

Apêndice A

SQL para Gerar o Banco de Dados

```
SET @OLD_UNIQUE_CHECKS=@@UNIQUE_CHECKS, UNIQUE_CHECKS=0;
SET @OLD_FOREIGN_KEY_CHECKS=@@FOREIGN_KEY_CHECKS, FOREIGN_KEY_CHECKS=0;
SET @OLD_SQL_MODE=@@SQL_MODE, SQL_MODE='ONLY_FULL_GROUP_BY,STRICT_TRANS_TABLES,NO_ZERO_IN_DATE,
NO_ZERO_DATE,ERROR_FOR_DIVISION_BY_ZERO,NO_ENGINE_SUBSTITUTION';
```

```
-----
-- Schema mydb
-----
```

```
CREATE SCHEMA IF NOT EXISTS `mydb` DEFAULT CHARACTER SET utf8 ;
USE `mydb` ;
```

```
-----
-- Table `mydb`.`ELECTRIC_BILLS`
-----
```

```
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `mydb`.`ELECTRIC_BILLS` (
  `ELECTRIC_BILL_ID` INT NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`ELECTRIC_BILL_ID`))
ENGINE = InnoDB;
```

```
-----
-- Table `mydb`.`CONSUMER_UNITS`
-----
```

```
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `mydb`.`CONSUMER_UNITS` (
  `CEP` INT NULL,
  `CNPJ` INT NOT NULL,
  `CITY` VARCHAR(45) NULL,
  `DISTRICT` VARCHAR(45) NULL,
  `NAME` VARCHAR(45) NULL,
  `NUMBER` INT NULL,
  `STATE` VARCHAR(45) NULL,
  `STREET` VARCHAR(45) NULL,
  PRIMARY KEY (`CNPJ`))
ENGINE = InnoDB;
```

```
-----
-- Table `mydb`.`POWER_INSTALLATION`
-----
```

```
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `mydb`.`POWER_INSTALLATION` (
  `POWER_INSTALLATION_ID` INT NOT NULL,
  `CLIENT_ID` INT NULL,
  `POWER_METER_ID` INT NULL,
  PRIMARY KEY (`POWER_INSTALLATION_ID`))
ENGINE = InnoDB;
```

```
-----
-- Table `mydb`.`GROUP_A_MEASUREMENT`
-----
```

```
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `mydb`.`GROUP_A_MEASUREMENT` (
```

```

)
ENGINE = InnoDB;

-----
-- Table `mydb`.`CONSUMER_EQUIPAMENTS`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `mydb`.`CONSUMER_EQUIPAMENTS` (
  `CONSUMER_EQUIPAMENT_ID` INT NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`CONSUMER_EQUIPAMENT_ID`))
ENGINE = InnoDB;

-----
-- Table `mydb`.`AGENCIAS`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `mydb`.`AGENCIAS` (
  `CEP` INT NULL,
  `CNPJ` INT NOT NULL,
  `CITY` VARCHAR(255) NULL,
  `DISTRICT` VARCHAR(255) NULL,
  `NAME` VARCHAR(255) NULL,
  `NUMBER` INT NULL,
  `STATE` VARCHAR(255) NULL,
  `STREET` VARCHAR(255) NULL,
  PRIMARY KEY (`CNPJ`))
ENGINE = InnoDB;

-----
-- Table `mydb`.`NORMS`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `mydb`.`NORMS` (
  `AGENCY_CNPJ` INT NOT NULL,
  `DESCRIPTION` VARCHAR(255) NULL,
  `ID` INT NOT NULL,
  `NAME` VARCHAR(255) NULL,
  `NUMBER` INT NULL,
  PRIMARY KEY (`ID`, `AGENCY_CNPJ`),
  INDEX `AGENCIAS_idx` (`AGENCY_CNPJ` ASC) VISIBLE,
  CONSTRAINT `AGENCIAS`
    FOREIGN KEY (`AGENCY_CNPJ`)
    REFERENCES `mydb`.`AGENCIAS` (`CNPJ`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;

-----
-- Table `mydb`.`FLAGS`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `mydb`.`FLAGS` (
  `RELEASE_DATE` DATE NOT NULL,
  `AGENCY_CNPJ` INT NOT NULL,
  `DESCRIPTION` VARCHAR(255) NULL,
  `VALUE` DECIMAL NULL,
  `UNIT` VARCHAR(255) NULL,
  PRIMARY KEY (`RELEASE_DATE`),
  INDEX `fk_FLAGS_2_idx` (`AGENCY_CNPJ` ASC) VISIBLE,
  CONSTRAINT `fk_FLAGS_1`
    FOREIGN KEY (`RELEASE_DATE`)
    REFERENCES `mydb`.`FLAGS` (`RELEASE_DATE`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION,
  CONSTRAINT `fk_FLAGS_2`
    FOREIGN KEY (`AGENCY_CNPJ`)
    REFERENCES `mydb`.`AGENCIAS` (`CNPJ`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;

```

```

-----
-- Table `mydb`.`FLAGS`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `mydb`.`FLAGS` (
  `RELEASE_DATE` DATE NOT NULL,
  `AGENCY_CNPJ` INT NOT NULL,
  `DESCRIPTION` VARCHAR(255) NULL,
  `VALUE` DECIMAL NULL,
  `UNIT` VARCHAR(255) NULL,
  PRIMARY KEY (`RELEASE_DATE`),
  INDEX `fk_FLAGS_2_idx` (`AGENCY_CNPJ` ASC) VISIBLE,
  CONSTRAINT `fk_FLAGS_1`
    FOREIGN KEY (`RELEASE_DATE`)
      REFERENCES `mydb`.`FLAGS` (`RELEASE_DATE`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION,
  CONSTRAINT `fk_FLAGS_2`
    FOREIGN KEY (`AGENCY_CNPJ`)
      REFERENCES `mydb`.`FLAGS` (`AGENCY_CNPJ`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;

-----
-- Table `mydb`.`DISTRIBUTION_AGENTS`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `mydb`.`DISTRIBUTION_AGENTS` (
  `CEP` INT NULL,
  `CNPJ` INT NOT NULL,
  `CITY` VARCHAR(255) NULL,
  `DISTRICT` VARCHAR(255) NULL,
  `NAME` VARCHAR(255) NULL,
  `NUMBER` INT NULL,
  `STATE` VARCHAR(255) NULL,
  `STREET` VARCHAR(255) NULL,
  `AGENCY_CNPJ` INT NOT NULL,
  `CLIENTS_IDS` INT NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`CNPJ`, `AGENCY_CNPJ`, `CLIENTS_IDS`),
  INDEX `AGENCIES_idx` (`AGENCY_CNPJ` ASC) VISIBLE,
  CONSTRAINT `AGENCIES`
    FOREIGN KEY (`AGENCY_CNPJ`)
      REFERENCES `mydb`.`AGENCIES` (`CNPJ`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;

-----
-- Table `mydb`.`TARIFFS`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `mydb`.`TARIFFS` (
  `DISTRIBUTION_AGENT_CNPJ` INT NOT NULL,
  `NORM_ID` INT NOT NULL,
  `GROUP` VARCHAR(255) NOT NULL,
  `SUBGROUP` VARCHAR(255) NOT NULL,
  `MODALITY` VARCHAR(255) NOT NULL,
  `ACESSOR` VARCHAR(255) NOT NULL,
  `CLASS` VARCHAR(255) NOT NULL,
  `SUBCLASS` VARCHAR(255) NOT NULL,
  `POST` VARCHAR(255) NOT NULL,
  `TUSD_BASE_VALUE` DECIMAL NOT NULL,
  `TUSD_APP_VALUE` DECIMAL NOT NULL,
  `TUSD_UNIT` VARCHAR(45) NOT NULL,
  `TE_BASE_VALUE` DECIMAL NOT NULL,
  `TE_APP_VALUE` DECIMAL NOT NULL,
  `TE_UNIT` VARCHAR(45) NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`NORM_ID`, `DISTRIBUTION_AGENT_CNPJ`, `GROUP`, `SUBGROUP`, `MODALITY`, `ACESSOR`,
  `CLASS`, `SUBCLASS`, `POST`, `TUSD_BASE_VALUE`, `TUSD_APP_VALUE`, `TUSD_UNIT`, `TE_BASE_VALUE`,

```

```

`TE_APP_VALUE`, `TE_UNIT`),
INDEX `fk_TARIFFS_1_idx` (`DISTRIBUTION_AGENT_CNPJ` ASC) VISIBLE,
CONSTRAINT `DISTRIBUTORS`
  FOREIGN KEY (`DISTRIBUTION_AGENT_CNPJ`)
  REFERENCES `mydb`.`DISTRIBUTION_AGENTS` (`CNPJ`)
  ON DELETE NO ACTION
  ON UPDATE NO ACTION,
CONSTRAINT `NORMS`
  FOREIGN KEY (`NORM_ID`)
  REFERENCES `mydb`.`NORMS` (`ID`)
  ON DELETE NO ACTION
  ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;

-----
-- Table `mydb`.`DISTRIBUTOR_HAS_CLIENTS`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `mydb`.`DISTRIBUTOR_HAS_CLIENTS` (
  `DISTRIBUTOR_CNPJ` INT NOT NULL,
  `CLIENT_ID` INT NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`CLIENT_ID`, `DISTRIBUTOR_CNPJ`),
  CONSTRAINT `fk_DISTRIBUTOR_HAS_CLIENTS_1`
    FOREIGN KEY (`DISTRIBUTOR_CNPJ`)
    REFERENCES `mydb`.`DISTRIBUTION_AGENTS` (`CNPJ`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;

-----
-- Table `mydb`.`ELECTRIC_BILL_MEASUREMENT_GROUP_A`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `mydb`.`ELECTRIC_BILL_MEASUREMENT_GROUP_A` (
  `ELECTRIC_BILL_ID` INT NOT NULL,
  `METER_ID` INT NOT NULL,
  `FLAG_RELEASE_DATE` TIMESTAMP NOT NULL,
  `START` TIMESTAMP NOT NULL,
  `END` TIMESTAMP NOT NULL,
  `DAYS` TIMESTAMP NOT NULL,
  `START_PEAK_CONSUMPTION` DECIMAL NULL,
  `START_OFFPEAK_CONSUMPTION` DECIMAL NULL,
  `START_PEAK_MAX_DEMAND` DECIMAL NULL,
  `START_OFFPEAK_MAX_DEMAND` DECIMAL NULL,
  `START_PEAK_REACTIVE_CONSUMPTION` DECIMAL NULL,
  `START_OFFPEAK_REACTIVE_CONSUMPTION` DECIMAL NULL,
  `START_EXCESSIVE_PEAK_REACTIVE_CONSUMPTION` DECIMAL NULL,
  `START_EXCESSIVE_OFFPEAK_REACTIVE_CONSUMPTION` DECIMAL NULL,
  `START_PEAK_CORRECTED_MAX_DEMAND` DECIMAL NULL,
  `START_OFFPEAK_CORRECTED_MAX_DEMAND` DECIMAL NULL,
  `END_PEAK_CONSUMPTION` DECIMAL NULL,
  `END_OFFPEAK_CONSUMPTION` DECIMAL NULL,
  `END_PEAK_MAX_DEMAND` DECIMAL NULL,
  `END_OFFPEAK_MAX_DEMAND` DECIMAL NULL,
  `END_PEAK_REACTIVE_CONSUMPTION` DECIMAL NULL,
  `END_OFFPEAK_REACTIVE_CONSUMPTION` DECIMAL NULL,
  `END_EXCESSIVE_PEAK_REACTIVE_CONSUMPTION` DECIMAL NULL,
  `END_EXCESSIVE_OFFPEAK_REACTIVE_CONSUMPTION` DECIMAL NULL,
  `END_PEAK_CORRECTED_MAX_DEMAND` DECIMAL NULL,
  `END_OFFPEAK_CORRECTED_MAX_DEMAND` DECIMAL NULL,
  `PEAK_CONSUMPTION_CONSTANT` DECIMAL NULL,
  `OFFPEAK_CONSUMPTION_CONSTANT` DECIMAL NULL,
  `OFFPEAK_MAX_DEMAND_CONSTANT` DECIMAL NULL,
  `PEAK_MAX_DEMAND_CONSTANT` DECIMAL NULL,
  `PEAK_REACTIVE_CONSUMPTION_CONSTANT` DECIMAL NULL,
  `OFFPEAK_REACTIVE_CONSUMPTION_CONSTANT` DECIMAL NULL,
  `EXCESSIVE_PEAK_REACTIVE_CONSUMPTION_CONSTANT` DECIMAL NULL,
  `EXCESSIVE_OFFPEAK_REACTIVE_CONSUMPTION_CONSTANT` DECIMAL NULL,
  `PEAK_CORRECTED_MAX_DEMAND_CONSTANT` DECIMAL NULL,

```

```

'OFFPEAK_CORRECTED_MAX_DEMAND_CONSTANT' DECIMAL NULL,
'PEAK_CONSUMPTION_ADJUST' DECIMAL NULL,
'OFFPEAK_CONSUMPTION_ADJUST' DECIMAL NULL,
'PEAK_MAX_DEMAND_ADJUST' DECIMAL NULL,
'OFFPEAK_MAX_DEMAND_ADJUST' DECIMAL NULL,
'PEAK_REACTIVE_CONSUMPTION_ADJUST' DECIMAL NULL,
'OFFPEAK_REACTIVE_CONSUMPTION_ADJUST' DECIMAL NULL,
'EXCESSIVE_PEAK_REACTIVE_CONSUMPTION_ADJUST' DECIMAL NULL,
'EXCESSIVE_OFFPEAK_REACTIVE_CONSUMPTION_ADJUST' DECIMAL NULL,
'PEAK_CORRECTED_MAX_DEMAND_ADJUST' DECIMAL NULL,
'OFFPEAK_CORRECTED_MAX_DEMAND_ADJUST' DECIMAL NULL,
'PEAK_CONSUMPTION' DECIMAL NULL,
'OFFPEAK_CONSUMPTION' DECIMAL NULL,
'PEAK_MAX_DEMAND' DECIMAL NULL,
'OFFPEAK_MAX_DEMAND' DECIMAL NULL,
'PEAK_REACTIVE_CONSUMPTION' DECIMAL NULL,
'OFFPEAK_REACTIVE_CONSUMPTION' DECIMAL NULL,
'EXCESSIVE_PEAK_REACTIVE_CONSUMPTION' DECIMAL NULL,
'EXCESSIVE_OFFPEAK_REACTIVE_CONSUMPTION' DECIMAL NULL,
'PEAK_CORRECTED_MAX_DEMAND' DECIMAL NULL,
'OFFPEAK_CORRECTED_MAX_DEMAND' DECIMAL NULL,
'DEMAND_UNIT' VARCHAR(45) NULL,
'CONSUMPTION_UNIT' VARCHAR(45) NULL,
'REACTIVE_CONSUMPTION_UNIT' VARCHAR(45) NULL,
PRIMARY KEY ('ELECTRIC_BILL_ID', 'METER_ID', 'FLAG_RELEASE_DATE', 'START', 'END', 'DAYS'),
CONSTRAINT 'ELECTRIC_BILL'
    FOREIGN KEY ('ELECTRIC_BILL_ID')
        REFERENCES 'mydb`.`ELECTRIC_BILLS` ('ELECTRIC_BILL_ID')
            ON DELETE NO ACTION
            ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;

-----
-- Table 'mydb`.`ELECTRIC_BILL_TRIBUTES`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS 'mydb`.`ELECTRIC_BILL_TRIBUTES` (
'ELECTRIC_BILL_ID' INT NOT NULL,
'COFINS_ALIQUOT' DECIMAL NOT NULL,
'COFINS_BASE' DECIMAL NOT NULL,
'COFINS_VALUE' DECIMAL NOT NULL,
'PIS_ALIQUOT' DECIMAL NOT NULL,
'PIS_BASE' DECIMAL NOT NULL,
'PIS_VALUE' DECIMAL NOT NULL,
'ICMS_ALIQUOT' DECIMAL NOT NULL,
'ICMS_BASE' DECIMAL NOT NULL,
'ICMS_VALUE' DECIMAL NOT NULL,
'ALIQUOT_UNIT' VARCHAR(45) NOT NULL,
'BASE_UNIT' VARCHAR(45) NOT NULL,
'VALUE_UNIT' VARCHAR(45) NOT NULL,
PRIMARY KEY ('ELECTRIC_BILL_ID', 'COFINS_ALIQUOT', 'COFINS_BASE', 'COFINS_VALUE', 'PIS_ALIQUOT',
'PIS_BASE', 'PIS_VALUE', 'ICMS_ALIQUOT', 'ICMS_BASE', 'ICMS_VALUE', 'ALIQUOT_UNIT', 'BASE_UNIT',
'VALUE_UNIT'),
CONSTRAINT 'ELECTRIC_BILL'
    FOREIGN KEY ('ELECTRIC_BILL_ID')
        REFERENCES 'mydb`.`ELECTRIC_BILLS` ('ELECTRIC_BILL_ID')
            ON DELETE NO ACTION
            ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;

-----
-- Table 'mydb`.`ELECTRIC_BILL_APP_TARRIFS`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS 'mydb`.`ELECTRIC_BILL_APP_TARRIFS` (
'ELECTRIC_BILL_ID' INT NOT NULL,
'DEMAND' DECIMAL NOT NULL,
'REACTIVE_DEMAND' DECIMAL NOT NULL,
'FLAG_1_PEAK_CONSUMPTION' DECIMAL NOT NULL,

```

```

`FLAG_1_OFFPEAK_CONSUMPTION` DECIMAL NOT NULL,
`FLAG_2_PEAK_CONSUMPTION` DECIMAL NOT NULL,
`FLAG_2_OFFPEAK_CONSUMPTION` DECIMAL NOT NULL,
`REACTIVE_PEAK_CONSUMPTION` DECIMAL NOT NULL,
`REACTIVE_OFFPEAK_CONSUMPTION` DECIMAL NOT NULL,
`DEMAND_UNIT` VARCHAR(45) NOT NULL,
`REACTIVE_DEMAND_UNIT` VARCHAR(45) NOT NULL,
`CONSUMPTION_UNIT` VARCHAR(45) NOT NULL,
`REACTIVE_CONSUMPTION_UNIT` VARCHAR(45) NOT NULL,
`TARIFF_ID` INT NOT NULL,
`GROUP` VARCHAR(255) NOT NULL,
`SUBGROUP` VARCHAR(255) NOT NULL,
`MODALITY` VARCHAR(255) NOT NULL,
`ACCESSOR` VARCHAR(255) NOT NULL,
`CLASS` VARCHAR(255) NOT NULL,
`SUBCLASS` VARCHAR(255) NOT NULL,
`POST` VARCHAR(45) NOT NULL,
`TUSD_BASE_VALUE` DECIMAL NOT NULL,
`TUSD_APP_VALUE` DECIMAL NOT NULL,
`TUSD_UNIT` VARCHAR(45) NOT NULL,
`TE_BASE_VALUE` DECIMAL NOT NULL,
`TE_APP_VALUE` DECIMAL NOT NULL,
`TE_UNIT` VARCHAR(45) NOT NULL,
PRIMARY KEY (`ELECTRIC_BILL_ID`, `TARIFF_ID`, `GROUP`, `SUBGROUP`, `MODALITY`, `ACCESSOR`, `CLASS`,
`SUBCLASS`, `POST`, `TUSD_BASE_VALUE`, `TUSD_APP_VALUE`, `TUSD_UNIT`, `TE_BASE_VALUE`, `TE_APP_VALUE`,
`TE_UNIT`, `DEMAND`, `REACTIVE_DEMAND`, `FLAG_1_PEAK_CONSUMPTION`, `FLAG_1_OFFPEAK_CONSUMPTION`,
`FLAG_2_PEAK_CONSUMPTION`, `FLAG_2_OFFPEAK_CONSUMPTION`, `REACTIVE_PEAK_CONSUMPTION`,
`REACTIVE_OFFPEAK_CONSUMPTION`, `DEMAND_UNIT`,
`REACTIVE_DEMAND_UNIT`, `CONSUMPTION_UNIT`, `REACTIVE_CONSUMPTION_UNIT`),
INDEX `TARRIFS_idx` (`SUBCLASS` ASC, `CLASS` ASC, `ACCESSOR` ASC, `MODALITY` ASC, `SUBGROUP` ASC,
`GROUP` ASC, `TARIFF_ID` ASC, `POST` ASC, `TUSD_BASE_VALUE` ASC, `TUSD_APP_VALUE` ASC,
`TUSD_UNIT` ASC, `TE_BASE_VALUE` ASC, `TE_APP_VALUE` ASC, `TE_UNIT` ASC) VISIBLE,
CONSTRAINT `ELECTRIC_BILL`
  FOREIGN KEY (`ELECTRIC_BILL_ID`)
    REFERENCES `mydb`.`ELECTRIC_BILLS` (`ELECTRIC_BILL_ID`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION,
CONSTRAINT `TARRIFS`
  FOREIGN KEY (`SUBCLASS`, `CLASS`, `ACCESSOR`, `MODALITY`, `SUBGROUP`, `GROUP`, `TARIFF_ID`,
`POST`, `TUSD_BASE_VALUE`, `TUSD_APP_VALUE`, `TUSD_UNIT`, `TE_BASE_VALUE`, `TE_APP_VALUE`,
`TE_UNIT`)
    REFERENCES `mydb`.`TARRIFS` (`SUBCLASS`, `CLASS`, `ACCESSOR`, `MODALITY`, `SUBGROUP`, `GROUP`,
`NORM_ID`, `POST`, `TUSD_BASE_VALUE`, `TUSD_APP_VALUE`, `TUSD_UNIT`, `TE_BASE_VALUE`,
`TE_APP_VALUE`, `TE_UNIT`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;

```

```

-----
-- Table `mydb`.`ELECTRIC_BILL_CLASSIFICATION`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `mydb`.`ELECTRIC_BILL_CLASSIFICATION` (
  `ELECTRIC_BILL_ID` INT NOT NULL,
  `GROUP` VARCHAR(255) NOT NULL,
  `SUBGROUP` VARCHAR(255) NOT NULL,
  `MODALITY` VARCHAR(255) NOT NULL,
  `ACCESSOR` VARCHAR(255) NOT NULL,
  `CLASS` VARCHAR(255) NOT NULL,
  `SUBCLASS` VARCHAR(255) NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`ELECTRIC_BILL_ID`, `GROUP`, `SUBGROUP`, `MODALITY`, `ACCESSOR`, `CLASS`, `SUBCLASS`),
  INDEX `TARRIFS_idx` (`GROUP` ASC, `SUBGROUP` ASC, `MODALITY` ASC,
`ACCESSOR` ASC, `CLASS` ASC, `SUBCLASS` ASC) VISIBLE,
  CONSTRAINT `ELECTRIC_BILL`
    FOREIGN KEY (`ELECTRIC_BILL_ID`)
      REFERENCES `mydb`.`ELECTRIC_BILLS` (`ELECTRIC_BILL_ID`)
      ON DELETE NO ACTION
      ON UPDATE NO ACTION,

```

```

CONSTRAINT `TARRIFS`
  FOREIGN KEY (`GROUP`, `SUBGROUP`, `MODALITY`, `ACCESSOR`, `CLASS`, `SUBCLASS`)
  REFERENCES `mydb`.`ELECTRIC_BILL_APP_TARRIFS` (`GROUP`, `SUBGROUP`, `MODALITY`, `ACCESSOR`,
  `CLASS`, `SUBCLASS`)
  ON DELETE NO ACTION
  ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;

```

```

-----
-- Table `mydb`.`ELECTRIC_BILL_FLAGS`
-----

```

```

CREATE TABLE IF NOT EXISTS `mydb`.`ELECTRIC_BILL_FLAGS` (
  `ELECTRIC_BILL_ID` INT NOT NULL,
  `FLAG_1_DESC` VARCHAR(255) NOT NULL,
  `FLAG_1_VALUE` DECIMAL NOT NULL,
  `FLAG_2_DESC` VARCHAR(255) NOT NULL,
  `FLAG_2_VALUE` DECIMAL NOT NULL,
  `FLAGS_VALUE_UNIT` VARCHAR(45) NOT NULL,
  `FLAG_1_RELEASE_DATE` DATE NOT NULL,
  `FLAG_2_RELEASE_DATE` DATE NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`ELECTRIC_BILL_ID`, `FLAG_1_DESC`, `FLAG_1_VALUE`, `FLAG_2_DESC`, `FLAG_2_VALUE`,
  `FLAGS_VALUE_UNIT`, `FLAG_1_RELEASE_DATE`, `FLAG_2_RELEASE_DATE`),
  INDEX `FLAGS_idx` (`FLAG_2_RELEASE_DATE` ASC, `FLAG_1_RELEASE_DATE` ASC) VISIBLE,
  CONSTRAINT `ELECTRIC_BILL`
    FOREIGN KEY (`ELECTRIC_BILL_ID`)
    REFERENCES `mydb`.`ELECTRIC_BILLS` (`ELECTRIC_BILL_ID`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION,
  CONSTRAINT `FLAGS`
    FOREIGN KEY (`FLAG_2_RELEASE_DATE`, `FLAG_1_RELEASE_DATE`)
    REFERENCES `mydb`.`FLAGS` (`RELEASE_DATE`, `RELEASE_DATE`)
    ON DELETE NO ACTION
    ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;

```

```

-----
-- Table `mydb`.`ELECTRIC_BILL_INTERRUPTIONS`
-----

```

```

CREATE TABLE IF NOT EXISTS `mydb`.`ELECTRIC_BILL_INTERRUPTIONS` (
  `ELECTRIC_BILL_ID` INT NOT NULL,
  `INTERRUPTION_DIC_DESC` VARCHAR(255) NULL,
  `INTERRUPTION_DIC_LOCAL` VARCHAR(255) NULL,
  `INTERRUPTION_DIC_VALUE` DECIMAL NULL,
  `INTERRUPTION_DIC_MONTHLY_LIMIT` DECIMAL NULL,
  `INTERRUPTION_DIC_QUARTERLY_LIMIT` DECIMAL NULL,
  `INTERRUPTION_DIC_ANNUAL_LIMIT` DECIMAL NULL,
  `INTERRUPTION_FIC_DESC` VARCHAR(255) NULL,
  `INTERRUPTION_FIC_LOCAL` VARCHAR(255) NULL,
  `INTERRUPTION_FIC_VALUE` DECIMAL NULL,
  `INTERRUPTION_FIC_MONTHLY_LIMIT` DECIMAL NULL,
  `INTERRUPTION_FIC_QUARTERLY_LIMIT` DECIMAL NULL,
  `INTERRUPTION_FIC_ANNUAL_LIMIT` DECIMAL NULL,
  `INTERRUPTION_DMIC_DESC` VARCHAR(255) NULL,
  `INTERRUPTION_DMIC_LOCAL` VARCHAR(255) NULL,
  `INTERRUPTION_DMIC_VALUE` DECIMAL NULL,
  `INTERRUPTION_DMIC_MONTHLY_LIMIT` DECIMAL NULL,
  `INTERRUPTION_DMIC_QUARTERLY_LIMIT` DECIMAL NULL,
  `INTERRUPTION_DMIC_ANNUAL_LIMIT` DECIMAL NULL,
  `INTERRUPTION_DICRI_DESC` VARCHAR(255) NULL,
  `INTERRUPTION_DICRI_LOCAL` VARCHAR(255) NULL,
  `INTERRUPTION_DICRI_LIMIT` DECIMAL NULL,
  `INTERRUPTION_VALUE_UNIT` VARCHAR(45) NULL,
  `EUSD_DESC` VARCHAR(255) NULL,
  `EUSD_VALUE` DECIMAL NULL,
  `EUSD_VALUE_UNIT` VARCHAR(45) NULL,
  PRIMARY KEY (`ELECTRIC_BILL_ID`),
  CONSTRAINT `ELECTRIC_BILL`

```

```

FOREIGN KEY ('ELECTRIC_BILL_ID')
REFERENCES `mydb`.`ELECTRIC_BILLS` ('ELECTRIC_BILL_ID')
ON DELETE NO ACTION
ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;

-----
-- Table `mydb`.`ELECTRIC_BILL_VOLTAGE_LEVELS`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `mydb`.`ELECTRIC_BILL_VOLTAGE_LEVELS` (
  `ELECTRIC_BILL_ID` INT NOT NULL,
  `MIN_VOLTAGE` DECIMAL NULL,
  `MAX_VOLTAGE` DECIMAL NULL,
  `NOMINAL_VOLTAGE` DECIMAL NULL,
  `VOLTAGE_UNIT` VARCHAR(45) NULL,
  PRIMARY KEY (`ELECTRIC_BILL_ID`),
  CONSTRAINT `fk_ELECELECTRIC_BILL`
  FOREIGN KEY (`ELECTRIC_BILL_ID`)
  REFERENCES `mydb`.`ELECTRIC_BILLS` ('ELECTRIC_BILL_ID')
  ON DELETE NO ACTION
  ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;

-----
-- Table `mydb`.`DATES`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `mydb`.`DATES` (
  `ELECTRIC_BILL_ID` INT NOT NULL,
  `DUE_DATE` DECIMAL NULL,
  `EMISSION_DATE` DECIMAL NULL,
  `PRESENTATION_DATE` DECIMAL NULL,
  PRIMARY KEY (`ELECTRIC_BILL_ID`),
  CONSTRAINT `ELECTRIC_BILL`
  FOREIGN KEY (`ELECTRIC_BILL_ID`)
  REFERENCES `mydb`.`ELECTRIC_BILLS` ('ELECTRIC_BILL_ID')
  ON DELETE NO ACTION
  ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;

-----
-- Table `mydb`.`ELECTRIC_BILL_IDS`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `mydb`.`ELECTRIC_BILL_IDS` (
  `ELECTRIC_BILL_ID` INT NOT NULL,
  `CLIENT_ID` INT NOT NULL,
  `CONTRACT_ID` INT NOT NULL,
  `INSTALLATION_ID` INT NOT NULL,
  `DISTRIBUTION_CNPJ` INT NOT NULL,
  `CONSUMER_UNIT_CNPJ` INT NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`ELECTRIC_BILL_ID`, `CLIENT_ID`, `CONTRACT_ID`, `INSTALLATION_ID`, `DISTRIBUTION_CNPJ`,
  `CONSUMER_UNIT_CNPJ`),
  INDEX `DISTRIBUTOR_idx` (`CLIENT_ID` ASC, `DISTRIBUTION_CNPJ` ASC) VISIBLE,
  INDEX `CONSUMER_UNIT_idx` (`CONSUMER_UNIT_CNPJ` ASC) VISIBLE,
  CONSTRAINT `DISTRIBUTOR`
  FOREIGN KEY (`CLIENT_ID`, `DISTRIBUTION_CNPJ`)
  REFERENCES `mydb`.`DISTRIBUTION_AGENTS` (`CLIENTS_IDS`, `CNPJ`)
  ON DELETE NO ACTION
  ON UPDATE NO ACTION,
  CONSTRAINT `CONSUMER_UNIT`
  FOREIGN KEY (`CONSUMER_UNIT_CNPJ`)
  REFERENCES `mydb`.`CONSUMER_UNITS` (`CNPJ`)
  ON DELETE NO ACTION
  ON UPDATE NO ACTION,
  CONSTRAINT `ELECTRIC_BILL`
  FOREIGN KEY (`ELECTRIC_BILL_ID`)
  REFERENCES `mydb`.`ELECTRIC_BILLS` ('ELECTRIC_BILL_ID')
  ON DELETE NO ACTION

```

```

        ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;

-----
-- Table `mydb`.`ELECTRIC_BILL_EXPENSES`
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `mydb`.`ELECTRIC_BILL_EXPENSES` (
  `ELECTRIC_BILL_ID` INT NOT NULL,
  `MAX_DEMAND` VARCHAR(45) NULL,
  `FINE_EXCESSIVE_DEMAND` VARCHAR(45) NULL,
  `FLAG_1_PEAK_CONSUMPTION` VARCHAR(45) NULL,
  `FLAG_1_OFFPEAK_CONSUMPTION` VARCHAR(45) NULL,
  `FLAG_2_PEAK_CONSUMPTION` VARCHAR(45) NULL,
  `FLAG_2_OFFPEAK_CONSUMPTION` VARCHAR(45) NULL,
  `EXCESSIVE_PEAK_REACTIVE_CONSUMPTION` VARCHAR(45) NULL,
  `EXCESSIVE_OFFPEAK_REACTIVE_CONSUMPTION` VARCHAR(45) NULL,
  `PUBLIC_LIGHTING` VARCHAR(45) NULL,
  `COMPENSATION` VARCHAR(45) NULL,
  `SERVICES` VARCHAR(45) NULL,
  `DEMAND` DECIMAL NOT NULL,
  `REACTIVE_DEMAND` DECIMAL NOT NULL,
  `FLAG_1_PEAK_CONSUMPTION_copy1` DECIMAL NOT NULL,
  `FLAG_1_OFFPEAK_CONSUMPTION_copy1` DECIMAL NOT NULL,
  `FLAG_2_PEAK_CONSUMPTION_copy1` DECIMAL NOT NULL,
  `FLAG_2_OFFPEAK_CONSUMPTION_copy1` DECIMAL NOT NULL,
  `REACTIVE_PEAK_CONSUMPTION` DECIMAL NOT NULL,
  `REACTIVE_OFFPEAK_CONSUMPTION` DECIMAL NOT NULL,
  `DEMAND_UNIT` VARCHAR(45) NOT NULL,
  `REACTIVE_DEMAND_UNIT` VARCHAR(45) NOT NULL,
  `CONSUMPTION_UNIT` VARCHAR(45) NOT NULL,
  `REACTIVE_CONSUMPTION_UNIT` VARCHAR(45) NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`ELECTRIC_BILL_ID`),
  CONSTRAINT `ELECTRIC_BILL`
    FOREIGN KEY (`ELECTRIC_BILL_ID`)
      REFERENCES `mydb`.`ELECTRIC_BILLS` (`ELECTRIC_BILL_ID`)
      ON DELETE NO ACTION
      ON UPDATE NO ACTION)
ENGINE = InnoDB;

SET SQL_MODE=@OLD_SQL_MODE;
SET FOREIGN_KEY_CHECKS=@OLD_FOREIGN_KEY_CHECKS;
SET UNIQUE_CHECKS=@OLD_UNIQUE_CHECKS;

```

Apêndice B

A tabela *ASCII*

Binário	Hex	Glifo	Binário	Hex	Glifo	Binário	Hex	Glifo
00100000	20		01000000	40	@	01100000	60	‘
00100001	21	!	01000001	41	A	01100001	61	a
00100010	22	"	01000010	42	B	01100010	62	b
00100011	23	#	01000011	43	C	01100011	63	c
00100100	24	\$	01000100	44	D	01100100	64	d
00100101	25	%	01000101	45	E	01100101	65	e
00100110	26	&	01000110	46	F	01100110	66	f
00100111	27	'	01000111	47	G	01100111	67	g
00101000	28	(	01001000	48	H	01101000	68	h
00101001	29	)	01001001	49	I	01101001	69	i
00101010	2A	*	01001010	4A	J	01101010	6A	j
00101011	2B	+	01001011	4B	K	01101011	6B	k
00101011	2C	,	01001011	4C	L	01101011	6C	l
00101101	2D	-	01001101	4D	M	01101101	6D	m
00101110	2E	.	01001110	4E	N	01101110	6E	n
00101111	2F	/	01001111	4F	O	01101111	6F	o
00110000	30	0	01010000	50	P	01110000	70	p
00110001	31	1	01010001	51	Q	01110001	71	q
00110010	32	2	01010010	52	R	01110010	72	r
00110011	33	3	01010011	53	S	01110011	73	s
00110100	34	4	01010100	54	T	01110100	74	t
00110101	35	5	01010101	55	U	01110101	75	u
00110110	36	6	01010110	56	V	01110110	76	v
00110111	37	7	01010111	57	W	01110111	77	w
00111000	38	8	01011000	58	X	01111000	78	x
00111001	39	9	01011001	59	Y	01111001	79	y
00111010	3A	:	01011010	5A	Z	01111010	7A	z
00111011	3B	;	01011011	5B	[	01111011	7B	{
00111100	3C	<	01011100	5C	\	01111100	7C	|
00111101	3D	=	01011101	5D	]	01111101	7D	}
00111110	3E	>	01011110	5E	^	01111110	7E	~
00111111	3F	?	01011111	5F	_			

Fonte: GORN *et al*, 1963. [61].