

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

PAULO RICARDO SOUSA SILVA

**ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE GÁS NATURAL PARA GERAÇÃO
DE ENERGIA ELÉTRICA EM PRÉDIOS COMERCIAIS**

São Luís

2018

PAULO RICARDO SOUSA SILVA

**ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE GÁS NATURAL PARA GERAÇÃO
DE ENERGIA ELÉTRICA EM PRÉDIOS COMERCIAIS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Maranhão como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

**Orientador: Prof. Dr. Denisson Oliveira
Coorientador: Eng.º Gabriel Nascimento**

São Luís

2018

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Silva, Paulo Ricardo Sousa.

Análise da Aplicação de Gás Natural para Geração de Energia Elétrica em Prédios Comerciais / Paulo Ricardo Sousa Silva. - 2018.

89 f.

Coorientador(a): Gabriel Araújo do Nascimento.

Orientador(a): Denisson Queiroz Oliveira.

Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2018.

1. Gás Natural. 2. Geração de Energia Elétrica. 3. Modalidades Tarifárias. 4. Operação Bicomcombustível. I. Nascimento, Gabriel Araújo do. II. Oliveira, Denisson Queiroz. III. Título.

PAULO RICARDO SOUSA SILVA

**ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE GÁS NATURAL PARA GERAÇÃO
DE ENERGIA ELÉTRICA EM PRÉDIOS COMERCIAIS**

**Monografia apresentada ao Curso de
Engenharia Elétrica da Universidade
Federal do Maranhão como requisito
para obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Elétrica.**

**Orientador: Prof. Dr. Denisson Oliveira
Coorientador: Eng. Gabriel Nascimento**

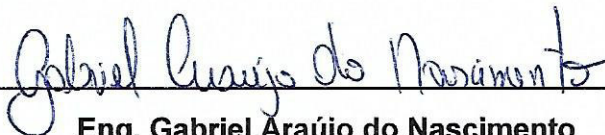
Aprovada em: 19 / 12 / 2018

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Denisson Queiroz Oliveira

(Orientador - UFMA)



Eng. Gabriel Araújo do Nascimento

(Coorientador - GASMAR)



Prof. Dr. Osvaldo Ronald Saavedra Mendez

(Examinador - UFMA)



Prof. Dra. Silvangela Lilian da Silva Lima Barcelos

(Examinador - UFMA)

Dedico este trabalho a todos que acreditam que a educação transforma e pode levar pequenos a sonhar grande.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Denisson Oliveira pela disponibilidade, ensinamentos, paciência e coordenação no desenvolvimento deste trabalho. Ao meu líder e coorientador Gabriel Nascimento que muito me ensinou durante o período de estágio e foi fundamental para realização deste trabalho.

Agradeço ao suporte da minha mãe que se esforçou durante toda minha vida acadêmica para me prover a melhor estrutura de estudo, independente das dificuldades. À minha irmã, Sheyla, que me incentivou desde cedo o hábito da leitura e o gosto pelos estudos.

Aos meus amigos Karla, Arthur, Arianny, Rafaela e Robert que acreditaram e me apoiaram quando optei pelo curso de Engenharia Elétrica e sempre estiveram presentes na minha caminhada.

Aos amigos João e Mateus que foram grandes companheiros no decorrer do curso. Agradeço também a Lídia, Lívia, Luana, Antônio e Suzy pelo companheirismo, amizade e diversos auxílios.

Por último, agradeço ao meu companheiro de todas as horas que me deu suporte imensurável para superar todas as adversidades e frustrações que fazem parte de uma graduação. Muito obrigado Darlan por ter entrado na minha vida!

RESUMO

O crescimento da indústria em todo mundo tem elevado os níveis de poluição ao meio ambiente. Grandes nações já colocaram em suas agendas a meta de diminuição da emissão de gases poluentes para a atmosfera. O estudo da substituição de fontes primárias de energia por outras que sejam menos poluentes tem mostrado resultados positivos. O gás natural é um combustível de origem fóssil que emite uma porcentagem inferior de gases poluentes no seu processo de queima, além disso, apresenta custos inferiores aos usuários finais se comparado a outros combustíveis. O gás natural é um substituto em potencial do óleo diesel, já utilizado em grande escala no mercado automobilístico. Este trabalho faz uma avaliação do uso de geradores de energia elétrica no modo bicomcombustível, com gás natural e óleo diesel, em prédios comerciais. São simulados cenários de geração em função das modalidades tarifárias vigentes no mercado de distribuição de energia elétrica do Brasil. A análise em função das modalidades tarifárias possibilita a tomada de decisão sobre a época mais adequada para geração própria de energia, sendo durante o ano ou ao longo do dia. Ao final é calculado a viabilidade do projeto, com base no cenário de conversão do gerador que o cliente possui. O trabalho foi realizado com foco na área empresarial do bairro Renascença, localizado na cidade de São Luís, no estado do Maranhão. O local em estudo ainda não possui rede de gás canalizada, as avaliações feitas neste trabalho ajudam a desenvolver localmente um mercado que está em crescimento em todo mundo.

Palavras-chave: Gás Natural; Geração de Energia Elétrica; Operação Bicomcombustível; Modalidades Tarifárias.

ABSTRACT

The growth of industry worldwide has raised the levels of pollution to the environment. Large nations have already put in their agenda the goal of reducing the emission of polluting gases into the atmosphere. The study of the substitution of primary sources of energy by others that are less polluting has shown positive results. Natural gas is a fossil fuel that emits a lower percentage of gaseous pollutants in its burning process. In addition, it has lower costs than end users compared to other fuels. Natural gas is a potential substitute for diesel oil, already widely used in the automotive market. This work makes an evaluation of the use of electric energy generators in the bi - fuel mode, with natural gas and diesel oil, in commercial buildings. Generation scenarios are simulated according to the tariffs in force in the Brazilian electricity distribution market. The analysis according to the tariff modalities makes it possible to make a decision about the most appropriate time for own generation of energy, being during the year or throughout the day. At the end, the feasibility of the project is calculated, based on the scenario of conversion of the generator that the client owns. The work was carried out focusing on the business area of the Renascença neighborhood, located in the city of São Luís, in the state of Maranhão. The site under study does not yet have piped gas network, the ratings made in this work help to develop locally a market that is growing worldwide.

Keywords: Natural Gas; Electric Power Generation; Biofuel Operation; Tariff Modalities.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Consumo de Gás Natural em 2017	20
Figura 2 – Tipos de Reservatórios de gás natural	24
Figura 3 – Cadeia de Valor do Gás Natural	25
Figura 4 – Mapa de Gasodutos em Operação no Brasil	26
Figura 5 – Mapa das Concessionárias de Distribuição de Gás Natural	27
Figura 6 – Crescimento no Consumo de Gás Natural [2017-2023]	28
Figura 7 – Crescimento no Consumo de Gás Natural por Setor.....	28
Figura 8 – Perspectiva da Produção Nacional (MM m ³ /dia)	31
Figura 9 – Tempo de Interrupção de Energia Elétrica x Gás Natural (horas/cliente/ano).....	34
Figura 10 – Histórico de Uso de Gás Natural na Geração de Ponta	35
Figura 11 – Potência de Frenagem em Plena Carga e Torque do Motor em Função da Frenagem.....	39
Figura 12 – Razão de Equivalência Diesel e Bicomcombustível	40
Figura 13 – Eficiência Térmica - Diesel.....	40
Figura 14 – Eficiência Térmica – Diesel e Gás Natural	41
Figura 15 – Eficiência Volumétrica - Diesel.....	41
Figura 16 – Eficiência Volumétrica – Diesel e Gás Natural	42
Figura 17 – Substituição do Diesel em Função da Carga	43
Figura 18 – Resultado Análise de Modalidade Tarifária.....	55
Figura 19 – Composição da Tarifa de Energia Elétrica	59
Figura 20 – Análise de Modalidade Tarifária com Correção de Tarifas..	60
Figura 21 – Variação do Acréscimo Sobre o kWh	61

Figura 22 – Comparativo entre Modalidades Tarifárias e Uso do Diesel + Gás Natural.....	62
Figura 23 – Comparativo entre Modalidades Tarifárias e Uso do Diesel + Gás Natural considerando sazonalidade	62
Figura 24 – Comparativo da Geração Própria de Energia no Horário de Ponta.....	64
Figura 25 – Sazonalidade da modalidade convencional com e sem geração própria	65
Figura 26 – Fluxo da Metodologia	67
Figura 27 – Área Mapeada para Estudo	70
Figura 28 - Comparativo entre Modalidades Tarifárias e Uso do Diesel + Gás Natural [Prédio 01].....	72
Figura 29 - Comparativo entre Modalidades Tarifárias e Uso do Diesel + Gás Natural [Prédio 03].....	72
Figura 30 - Comparativo entre Modalidades Tarifárias e Uso do Diesel + Gás Natural considerando sazonalidade [Prédio 01].....	73
Figura 31 - Comparativo entre Modalidades Tarifárias e Uso do Diesel + Gás Natural considerando sazonalidade [Prédio 03].....	74
Figura 32 - Comparativo da Geração Própria de Energia no Horário de Ponta [Prédio 01].....	75
Figura 33 - Comparativo da Geração Própria de Energia no Horário de Ponta [Prédio 03].....	75
Figura 34 - Sazonalidade da Modalidade Convencional com e sem Geração Própria	76
Figura 35 – Comparativo entre Preços na Modalidade Verde em Um Ano [Prédio 01]	77
Figura 36 - Comparativo entre Preços na Modalidade Branca em Um Ano [Prédio 03]	77

Figura 37 – Placa de Identificação do Gerador do Prédio 01	78
Figura 38 – Placa de Identificação do Gerador do Prédio 03.....	78
Figura 39 – Análise Gráfico do VPL – 12 meses [Prédio 01]	80
Figura 40 - Análise Gráfico do VPL – 10 anos [Prédio 01].....	81
Figura 41 - Análise Gráfico do VPL – 12 meses [Prédio 03]	82
Figura 42 - Análise Gráfico do VPL – 10 anos [Prédio 03].....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Reservas de Gás Declaradas pelos Operadores	30
Tabela 2 – Composição de Diferentes Gases Naturais Extraídos em Diferentes Regiões.....	32
Tabela 3 – Composição do Preço do Gás Natural para o Consumidor Industrial no Brasil.....	33
Tabela 4 – Margem de Distribuição por Estado, US\$/MMBtu.....	33
Tabela 5 – Parâmetro de Combustão dos Principais Combustíveis	37
Tabela 6 – Taxas de Substituição do Óleo Diesel	42
Tabela 7 – Classe Consumidora: Grupo A.....	44
Tabela 8 – Classe Consumidora: Grupo B.....	45
Tabela 9 - Consumo por classe (GWh)	49
Tabela 10 – Perfil de Consumo Geral do Cliente	50
Tabela 11 – Valor das Tarifas Aplicadas à Demanda e Consumo por Modalidade	51
Tabela 12 – Histórico de Preço Final ao Consumidor Gás Natural e Diesel	56
Tabela 13 – Equivalência Energética	56
Tabela 14 – Equivalência Energética com Correção de Rendimento.....	56
Tabela 15 – Consumo de Combustível para Geração de Energia	57
Tabela 16 – Gastos com Combustível para Geração de Energia.....	57
Tabela 17 – Consumo dos Combustíveis na Operação Bicomcombustível..	57
Tabela 18 – Custos na Operação Bicomcombustível.....	58
Tabela 19 – Valor das Tarifas Aplicadas à Demanda e Consumo com Impostos	59

Tabela 20 – Análise de Resultados dos Modelos Propostos	67
Tabela 21 – Dados dos Consumidores Analisados	71
Tabela 22 – Resumo da Produção e Custos dos Geradores	79
Tabela 23 – Análise de VPL Aplicado ao Prédio 01 [12 meses]	79
Tabela 24 - Análise de VPL Aplicado ao Prédio 01 [10 anos]	80
Tabela 25 – Análise de VPL Aplicada ao Prédio 03 [12 meses]	82
Tabela 26 – Análise de VPL Aplicada ao Prédio 03 [12 meses]	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BTU	<i>British Thermal Unit</i>
C ₂ H ₆	Etano
C ₃ H ₈	Propano
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
FMI	Fundo Monetário Internacional
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
H ₂ O	Água
H ₂ S	Sulfeto de Hidrogênio
HC	Hexacloretano
ICMS	Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IEA	<i>International Energy Agency</i>
kV	Quilovolt
kVA	Quilovolt-ampère
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt-hora
MWh	Megawatt-hora
N ₂	Nitrogênio
NOX	Óxido de Nitrogênio

PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
PIS	Programa de Integração Social
RSH	Tiol
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e Custódia
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	OBJETIVOS	19
1.1.1	Objetivo Geral	19
1.1.2	Objetivos Específicos	19
1.2	JUSTIFICATIVA	20
1.3	ESTADO DA ARTE	21
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	22
2	REFERÊNCIAL TEÓRICO	24
2.1	GÁS NATURAL	24
2.1.1	Cadeia de Valor	25
2.1.2	Mercado – Brasil e Mundo	27
2.1.3	Aspectos Químicos e Físicos	31
2.1.4	Faturamento de Gás Natural	32
2.1.5	Geração e Cogeração de Energia Elétrica	34
2.2	GERADORES ELÉTRICOS	36
2.2.1	Gás Natural x Óleo Diesel	36
2.2.2	Operação Bicomcombustível	38
2.3	TARIFAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	44
2.3.1	Modalidade Tarifária Azul	45
2.3.2	Modalidade Tarifária Verde	46
2.3.3	Modalidade Tarifária Convencional Binômia	47
2.3.4	Modalidade Tarifária Convencional Monômia	47
2.3.5	Modalidade Tarifária Branca	48
2.3.6	Migração de Modalidade Tarifária	49
3	METODOLOGIA	50
3.1	PERFIL DO CONSUMIDOR	50
3.2	SIMULAÇÃO DO IMPLEMENTO DO GÁS NATURAL	55
3.3	SIMULAÇÃO POR HORO-SAZONALIDADE	58
3.3.1	Geração Durante Todo o Dia Desconsiderando Sazonalidade	61
3.3.2	Geração Durante Todo o Dia Considerando Sazonalidade	62
3.3.3	Geração Durante Horário de Ponta Desconsiderando Sazonalidade	63
3.3.4	Geração Durante Horário de Ponta Considerando Sazonalidade	64
3.4	ANÁLISE ECONÔMICA	65

3.5	RESULTADOS	66
4	ESTUDO DE CASO E RESULTADOS.....	69
4.1	REGIÃO ESTUDADA	69
4.2	PERFIL DOS CONSUMIDORES	70
4.3	CENÁRIOS DE USO DO GÁS NATURAL.....	71
4.3.1	Geração Durante Todo o Dia Desconsiderando Sazonalidade	71
4.3.2	Geração Durante Todo o Dia Considerando Sazonalidade	72
4.3.3	Geração Durante Horário de Ponta Desconsiderando Sazonalidade .	74
4.3.4	Geração Durante Horário de Ponta Considerando Sazonalidade	75
4.4	ANÁLISE ECONÔMICA DO INVESTIMENTO.....	76
5	CONCLUSÃO	84
5.1	TRABALHOS FUTUROS.....	84
6	BIBLIOGRAFIA.....	85

1 INTRODUÇÃO

O contexto global do uso de recursos energéticos tende à diversificação das fontes de energia. Em 2016, no Brasil, o gás natural representava 12,3% da matriz energética, e 9,1% da matriz elétrica [1]. Este tipo de combustível tem amplo uso e pode ser utilizado em aplicações domésticas, industriais e automotivas [2].

O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos, essencialmente composta por metano (CH_4), que equivale em média a 89% da composição do gás [2]. A alta concentração de metano, faz com que o gás natural emita menos poluentes no seu processo de queima, à exemplo, um litro de metano produz um litro de gás carbônico, enquanto que um litro de gasolina produz oito litros de gás carbônico [3].

O gás natural localiza-se no subsolo da terra e é procedente da decomposição da matéria orgânica espalhada entre os extratos rochosos. Tal e como é extraído das jazidas, o gás natural é um produto incolor, não é tóxico e é mais leve que o ar. Na maioria dos casos o gás natural não tem cheiro e, é odorizado para que seja percebido em caso de vazamentos [2].

No Brasil, na década de 1980, foi criado o Plano Nacional de Gás Natural para o uso no Transporte (Plangás) que tinha como principal objetivo a substituição do óleo diesel pelo gás natural. A baixa oferta de gás natural na época não viabilizou o projeto [4].

Atualmente, a oferta de gás natural no Brasil apresenta aumento, a produção nacional aumentou cerca de 86% entre os anos de 2008 e 2017 [5]. Este aumento torna possível a retomada de estudos que avaliem cenários de substituição do diesel por gás natural. Podendo ser avaliada a inserção do gás no segmento industrial, comercial e residencial.

Para utilizar o gás natural em motores e geradores elétricos à diesel, pode-se realizar a conversão das máquinas ou pode-se utilizar os dois combustíveis de forma simultânea. Estudos tratam da eficiência dos geradores convertidos e da operação bicomcombustível. Em [6] obteve-se a substituição de 90% do diesel por gás natural em plena carga de geradores, este resultado é

atrativo para realização de estudos que analisem a viabilidade deste modelo para clientes que já possuem geradores a diesel. Com os kits disponíveis no mercado, geradores a diesel quando convertidos, operam, em média, com 70% gás natural e 30% diesel [7].

Este trabalho analisa o uso do gás natural para geração de energia em prédios comerciais na cidade de São Luís. Será considerado o gerador utilizado pelo prédio e estimados os cenários de conversão do gerador existente para a operação bicomcombustível. Além disso, será considerada a horo-sazonalidade das tarifas de consumo de energia que são aplicadas durante o ano para estes tipos de consumidores. Com estes resultados será possível avaliar a viabilidade de aplicação do gás natural em geradores elétricos ao longo do ano.

1.1 OBJETIVOS

Os objetivos estão organizados em geral e específicos como segue.

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade do uso de geradores elétricos à diesel operando no modo bicomcombustível com gás natural e diesel, em função da horo-sazonalidade das tarifas vigentes no mercado.

1.1.2 Objetivos Específicos

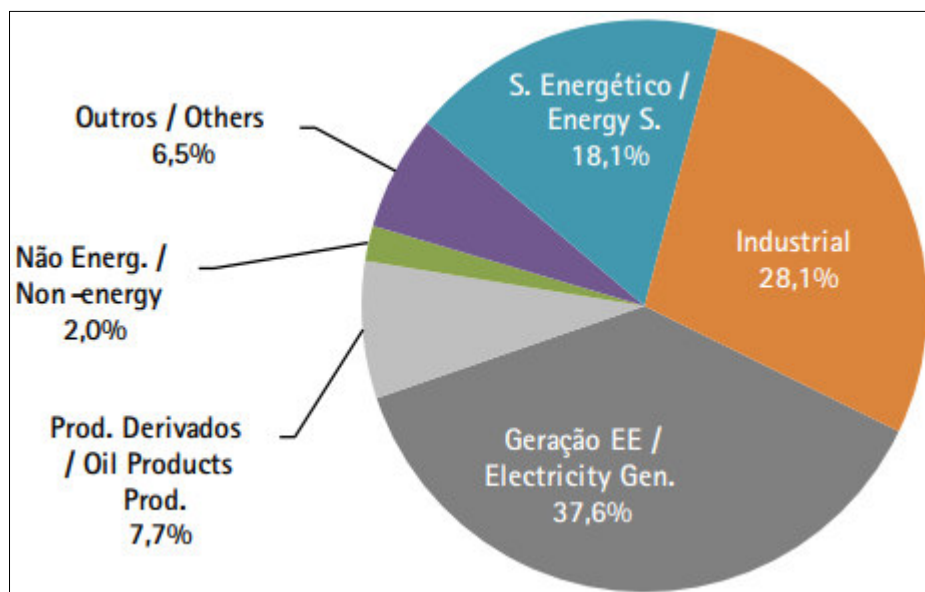
Os objetivos específicos são os seguintes:

- Apresentar o gás natural como alternativa de geração de energia frente a outros combustíveis, considerando economia, eficiência e emissão de poluentes;
- Apresentar modelos de geração de energia elétrica com gás natural;
- Determinar a melhor época para utilizar o gerador a gás natural com base na tarifa de energia elétrica; e
- Avaliar a viabilidade econômica obtida com o modelo de geração proposto.

1.2 JUSTIFICATIVA

A produção e a importação de gás natural aumentaram no Brasil na última década, este combustível possui diversas aplicações nos setores industriais, comerciais e residenciais, podendo ser utilizado na geração e cogeração de energia. A Figura 1 apresenta as porcentagens de participação dos setores da economia no mercado consumidor de gás natural no Brasil.

Figura 1 – Consumo de Gás Natural em 2017



Fonte: [8]

Neste contexto, é importante analisar o mercado potencial de gás natural na cidade de São Luís, pois o uso do gás natural pode levar a redução de custos com combustível e estocagem, além da redução da emissão de gases poluentes na atmosfera. A definição do modelo de estimativa de consumo realizado neste trabalho, poderá ser replicado de forma a levantar o potencial de consumo na cidade.

Os geradores de emergência instalados nos prédios comerciais de São Luís/MA são à diesel, uma vez que não há rede de distribuição de gás natural. Diante deste cenário, as análises serão concentradas na conversão dos geradores para operação no modo bicombustível, tendo o gás natural como substituto parcial do óleo diesel. Esta estimativa de consumo também pode ser utilizada como pilar de um estudo que faça levantamento da demanda do consumo de gás na capital maranhense.

1.3 ESTADO DA ARTE

Diversos estudos apresentam experimentos que avaliam a substituição do diesel por outros combustíveis menos poluentes, estes estudos são fundamentados e avaliados sob as óticas de emissão de poluentes, eficiência energética, economia financeira e alcances das taxas de substituição.

Em [9] foi utilizado dimetil éter para substituição do óleo diesel. A avaliação foi feita sobre taxa de substituição variando entre 0% e 90%. Obteve-se como resultados a diminuição de até 50% da emissão de NO_x, que é nocivo para o sistema respiratório, e a redução da emissão de fumaça preta. O valor ideal de substituição ficou em torno de 30%, no que se refere à eficiência do motor. Com a maior pré-mistura do combustível alternativo, houve aumento na emissão de NO_x, CO e HC.

No estudo realizado em [10] foi desenvolvido um sistema automático de controle para a alimentação conjunta entre o diesel e gás natural na câmara de combustão de motores diesel. O uso do kit conversor garante que o motor trabalhe na proporção de 70% gás natural e 30% óleo diesel. Após a conversão foi possível que o motor voltasse a operar com 100% diesel caso haja indisponibilidade da rede de gás.

O controle das proporções dos combustíveis foi feito com base na carga que o motor estava suprindo. O objetivo principal era garantir a redução da emissão de poluentes em toda as faixas de geração. Ao final, destacou-se que a conversão permitiu a operação de equipamentos que já não cumpriam os requisitos mínimos de emissão de gases poluentes [10].

Em [11] analisou-se a substituição do diesel por gás natural em caminhões pesados, este estudo considerou a redução da emissão de CO₂ não significativa, além disso, o estudo analisou os mercados de importação de ambos os combustíveis e concluiu que a o gás natural não era uma alternativa interessante devido ao contexto de importação e exportação de combustível.

Uma revisão da performance e emissão de poluentes na operação bicomcombustível foi realizada em [12]. Neste trabalho, foram apresentados resultados de um teste realizado em que se obteve declínio de 2,1% na

performance de um caminhão pesado. Para correção desta perda, recomendou-se o aumento da quantidade de diesel presente na mistura, bem como a temperatura e pressão.

Em [13] foram apresentados os resultados do investimento, na geração própria, feito por uma fábrica no estado do Paraná. A fábrica investiu R\$ 3,5 milhões na compra e instalação de novos geradores a gás. O *payback* esperado é de cerca de três anos. Foi estimada economia de 41% em relação ao diesel e de 26% sobre a energia fornecida pela concessionária local.

No estudo realizado em [14] foi estimada a economia obtida com o implemento de um gerador a gás natural em um edifício comercial no horário de ponta. Além disso fez-se a análise das modalidades tarifárias de forma a se obter a maior economia com custos de energia. Com os resultados obtidos no estudo, obteve-se uma economia equivalente a 20% com custos de energia elétrica.

Estes trabalhos mostram um horizonte positivo para o uso do gás na operação bicomcombustível para geração de energia elétrica, com a redução da emissão de poluentes e a possibilidade de redução de custos com a compra de energia. Neste sentido, este trabalho visa avaliar clientes de uma área pré-determinada com auxílio das modalidades tarifárias, demonstrando a viabilidade econômica da operação bicomcombustível e servindo como base para levantamento da demanda potencial desta região.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está organizado em cinco capítulos contando com a introdução.

O Capítulo 2 apresenta a teoria que embasa o trabalho. Apresenta as características e aplicabilidade do gás natural. Trata-se também dos geradores elétricos, do processo de conversão de geradores a óleo diesel para operar com gás natural e o funcionamento bicomcombustível que faz uso do gás natural com óleo diesel. Além disso, são apresentadas as modalidades tarifárias vigentes no mercado de comercialização de energia elétrica.

O Capítulo 3 contém a metodologia de análise que será utilizada para o grupo avaliado no estudo. As fórmulas utilizadas nos cálculos e os valores base

utilizados para efeitos de comparação são demonstrados neste capítulo, além disso, são definidos os cenários que serão avaliados.

O Capítulo 4 apresenta a categoria de consumidores que foi escolhida para estudo e os resultados obtidos para os cenários que foram analisados. Também está contemplado neste capítulo a análise de viabilidade econômica do modelo proposto.

O Capítulo 5 apresenta as principais conclusões deste trabalho, destacando-se a relevância dos resultados obtidos. Também são apresentados pontos a serem utilizados para estudos que venham a ser realizados na mesma linha de pesquisa futuramente.

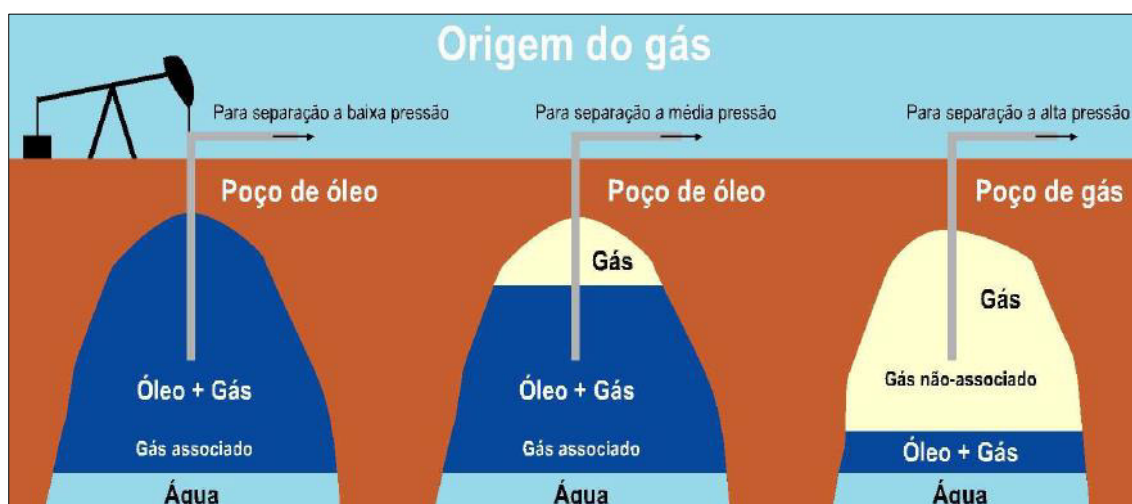
2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão abordados, de forma geral, o uso do combustível no mercado nacional e no mundo, suas propriedades, faturamento e principais aplicações. Além disso, será apresentado o gerador elétrico e detalhes do processo de conversão para a operação bicomustível. Na seção final são apresentadas as tarifas vigentes no mercado de distribuição de energia elétrica no Brasil, bem como uma explanação sobre migração de modalidade tarifária.

2.1 GÁS NATURAL

Dentre os combustíveis fósseis, o gás natural é o mais eficiente e gera menos poluição no processo de queima. Pode ser encontrado dissolvido no óleo ou sob a forma de capa de gás, sendo assim chamado de gás associado, caso seja encontrado de forma independente ou com pequenas quantidades de óleo é denominado gás não-associado [15]. A Figura 2 exhibe os tipos de reservatórios de gás natural.

Figura 2 – Tipos de Reservatórios de gás natural



Fonte: [16]

O gás natural é obtido a partir da degradação da matéria orgânica pela ação de bactérias, temperatura e pressão elevada; a partir de carvão por temperatura e pressão elevada; ou a partir de alteração térmica de hidrocarbonetos líquidos [16].

A descoberta do gás natural é tão antiga quanto a do petróleo, porém o gás não teve valorização imediata. Isto se dá, em parte, por tratar-se de um recurso gasoso em condições normais, o que dificulta transporte e

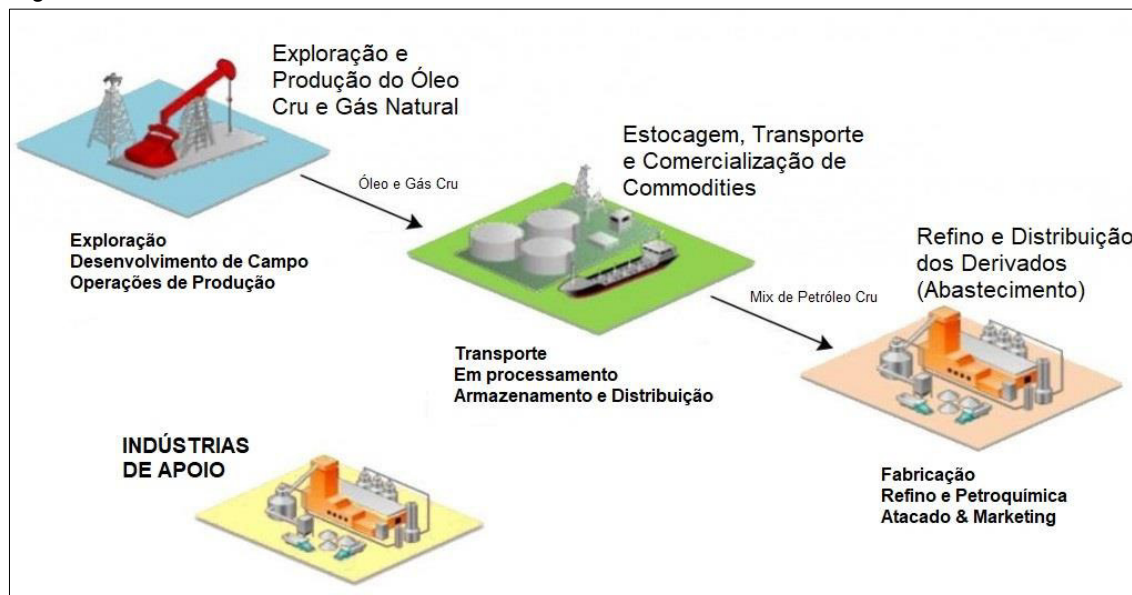
armazenamento. No início, o gás era descartado através de sua queima, próximo às unidades de tratamento e processamento do petróleo, em seguida passou a ser utilizado para manter a pressão interna em poços produtores de petróleo através de reinjeção [16].

Entre os anos de 1940 e 1950 o gás natural começou a ser progressivamente incorporado à matriz energética dos países, esta adesão do combustível foi impulsionada pelos avanços nas tecnologias de condicionamento e transporte. O gás natural pode ser aplicado em diversos setores da economia: geração de eletricidade, indústria, comércio, residência e transporte [15].

2.1.1 Cadeia de Valor

A cadeia de valor do gás natural é dividida em três segmentos: *upstream*, *midstream* e *downstream*. Estas etapas descrevem o processo de exploração e produção, transporte e estocagem, além da distribuição e venda [15]. A Figura 3 apresenta um esquema com resumo da cadeia de valor do gás natural contemplando os principais processos.

Figura 3 – Cadeia de Valor do Gás Natural

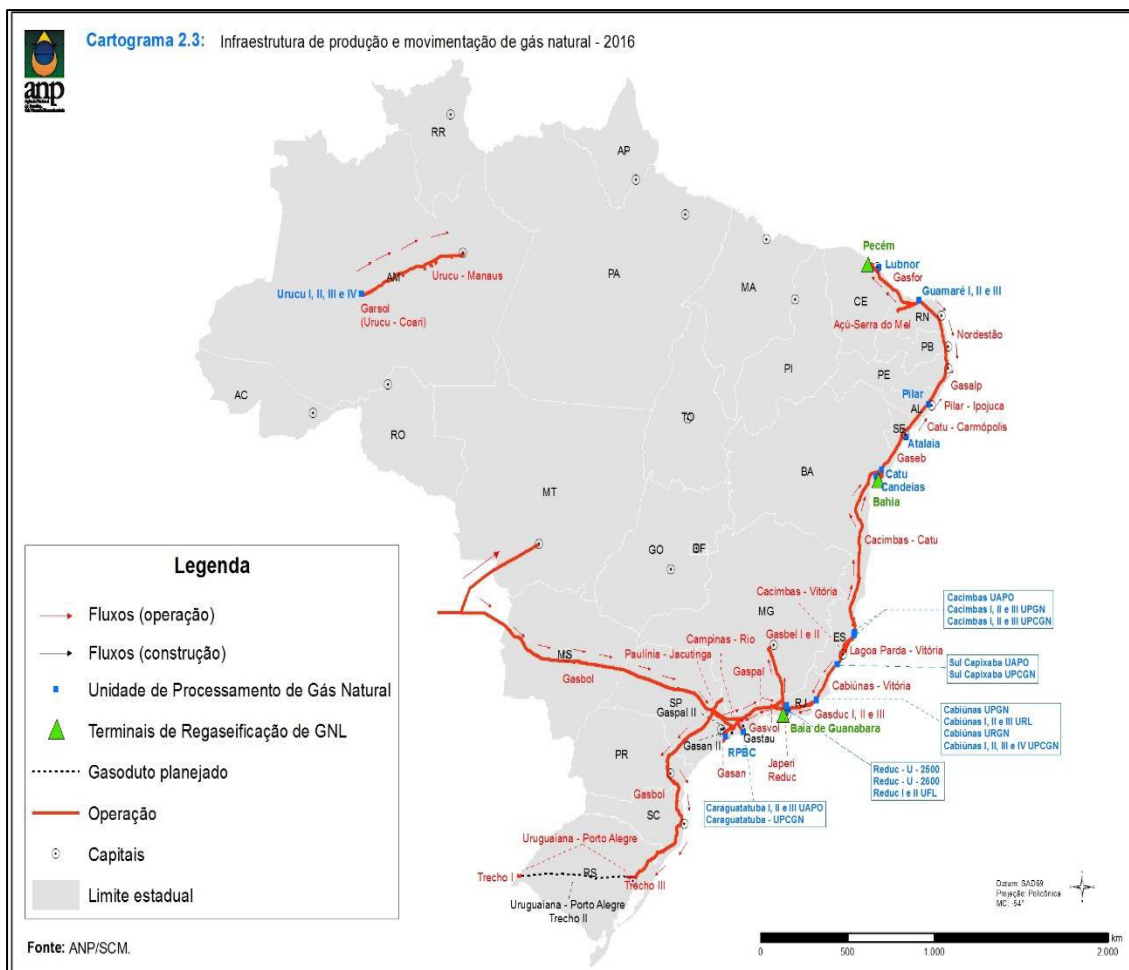


Fonte: Adaptado de [17]

Para o desenvolvimento deste trabalho é importante analisar e entender o segmento *downstream*. Este segmento tem suas atividades iniciadas após o recebimento do gás natural em *citygates*, que são instalações de regulação da pressão, contabilização do volume e odorização do gás natural.

A partir dos *citygates*, o gás natural pode ser transportado em caminhões para entrega a consumidores localizados em regiões afastadas das redes de distribuição. O combustível também pode ser direcionado através de tubulações aos diversos segmentos do mercado: industrial, comercial, residencial e geração de eletricidade. A Figura 4 apresenta o mapa de gasodutos de transporte em operação no Brasil.

Figura 4 – Mapa de Gasodutos em Operação no Brasil



Fonte: [18]

O distribuidor é o agente responsável pela operação das redes de distribuição e entrega do gás natural ao consumidor final. No Brasil, a regulação e o serviço de distribuição de gás natural cabe à esfera estadual [15]. Com exceção das distribuidoras Ceg, Ceg-Rio, Comgás e Gás Natural Fenosa que são controladas, unicamente, por capital privado, as demais empresas possuem controle estatal. Estas empresas operam em regime de concessão geográfica exclusiva.

No estado do Maranhão, a empresa que detém concessão, com exclusividade, para os serviços de distribuição e comercialização de gás natural canalizado é a Companhia Maranhense de Gás – GASMAR. A Figura 5 apresenta o mapa do Brasil com a divisão dos estados e as respectivas concessionárias que possuem concessão para serviço de distribuição e comercialização de gás natural, à exceção tem-se os estados de Tocantins, Roraima e Acre que não possuem distribuidoras de gás natural.

Figura 5 – Mapa das Concessionárias de Distribuição de Gás Natural

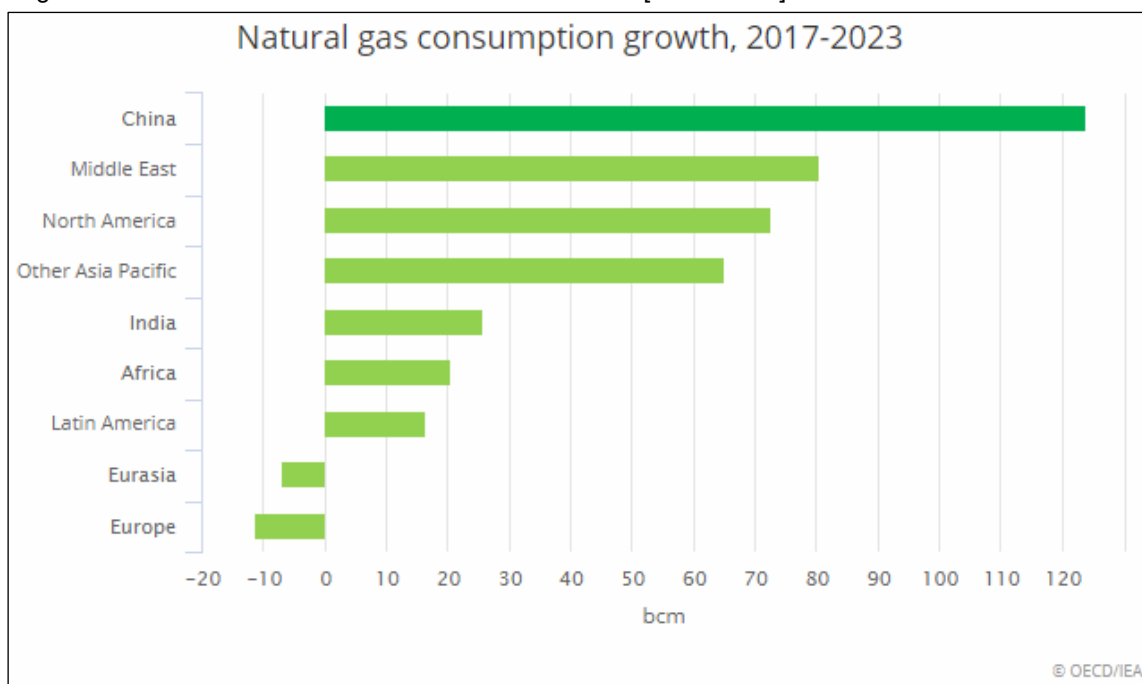


Fonte: [2]

2.1.2 Mercado – Brasil e Mundo

O gás natural, ao contrário de outras fontes fósseis como óleo e carvão, apresenta trajetória ascendente na participação da matriz energética mundial, é estimado crescimento de 1,5% entre os anos de 2017 e 2023 no consumo de gás em todo mundo. A Figura 6 exibe as faixas de crescimento de consumo de gás natural em bilhões de metros cúbicos. A China apresenta a maior expectativa de crescimento de consumo, em parte por ter aderido à política do “Céus Azuis” e à necessidade de melhorar a qualidade do ar [19].

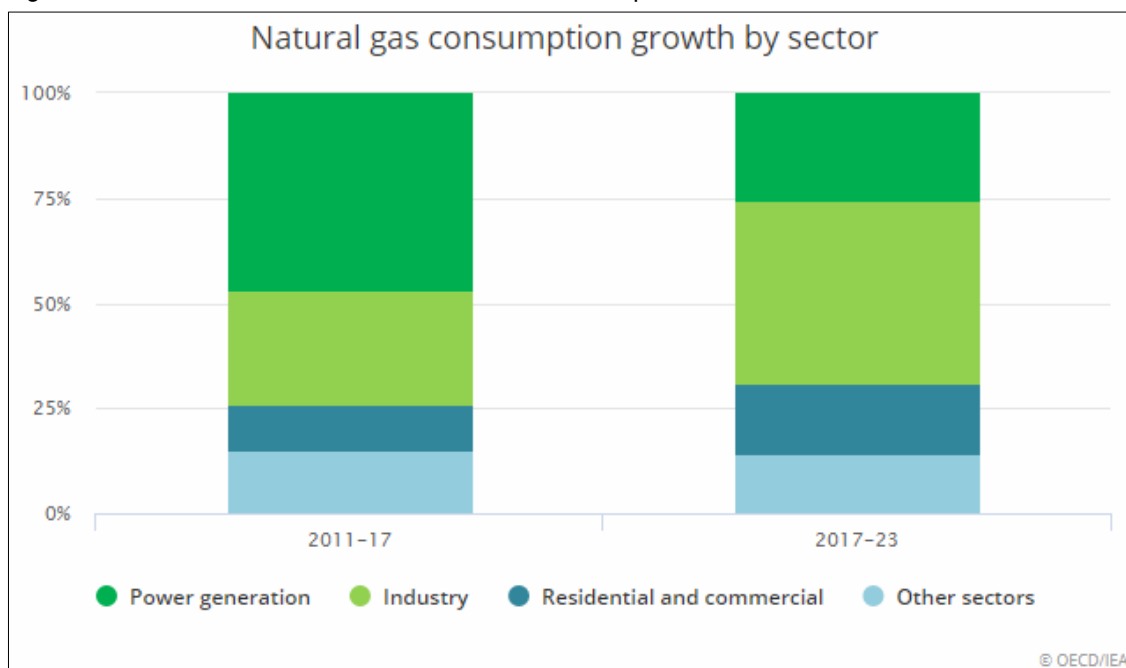
Figura 6 – Crescimento no Consumo de Gás Natural [2017-2023]



Fonte: [19]

O IEA também analisou a expectativa de crescimento de consumo de gás natural baseado nos setores da economia. A Figura 7 sinaliza crescimento do uso de gás natural na indústria, e a liderança deste setor frente aos demais.

Figura 7 – Crescimento no Consumo de Gás Natural por Setor



Fonte: [19]

O gás natural proporciona uma combustão menos poluente, tornando-se uma boa opção para processos que exigem a queima em contato direto com o produto final, como na indústria de cerâmica, fabricação de vidro e cimento. Esta característica também justifica esse aumento da participação do gás natural no setor industrial [20].

No início do século XX o Brasil já possuía redes de gás canalizado. Com o advento da eletricidade, a distribuição de gás canalizado deixou de se desenvolver e ficou restrita ao Rio e a São Paulo até o final dos anos 50 [15].

A produção de gás natural no Brasil se desenvolveu de forma subsequente em relação ao setor de petróleo, a produção inicial foi a partir de reservas de gás associado no Nordeste. Atualmente, grande parte do gás produzido no país é associado ao petróleo produzido *offshore*. Com a descoberta do pré-sal aumentam as expectativas de crescimento da produção de gás associado [15].

O Boletim de Recursos e Reservas de Petróleo e Gás Natural 2017 declara 369.918 MMm³ (milhões de m³) de reservas 1P¹ e 609.213 MMm³ de reservas 3P² [18]. A Tabela 1 apresenta estes dados exibindo os valores correspondentes às bacias de exploração, destaca-se a bacia do Paranaíba que está localizada no Maranhão com produção máxima registrada de 7,9 MMm³/d (milhões de m³/dia) [5].

¹ Provadas

² Provadas, prováveis e possíveis.

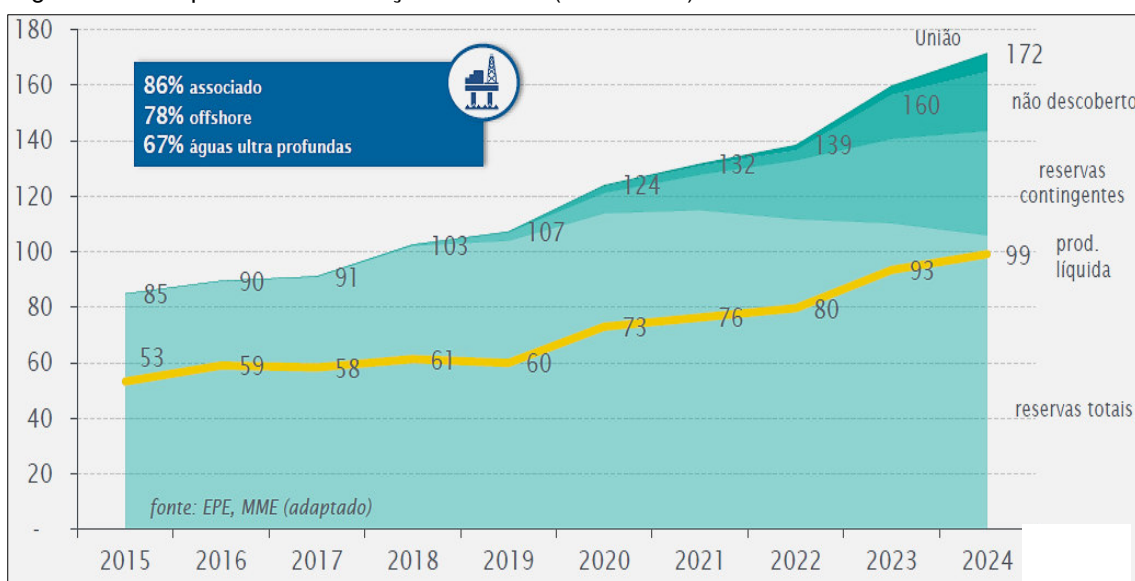
Tabela 1 – Reservas de Gás Declaradas pelos Operadores

	Reservas 1P (MMm³)	Reservas 3P (MMm³)
Mar		
Alagoas	394,97	394,97
Camamu	8.296,29	11.326,07
Campos	81.225,64	138.321,07
Ceará	197,49	216,94
Espírito Santo	5.329,52	8.086,09
Potiguar	1.909,61	2.406,32
Recôncavo	0	0
Santos	205.428,87	368.445,32
Sergipe	966,75	1.255,15
Mar Total	303.749,15	530.451,94
Terra		
Alagoas	1.159,85	2.482,94
Amazonas	0	0
Camamu	34,88	34,88
Espírito Santo	404,83	485,64
Parnaíba	16.516,22	20.822,21
Potiguar	1.599,12	2.254,83
Recôncavo	6.196,47	10.302,43
Sergipe	1.027,42	1.580,23
Solimões	39.188,46	40.757,09
Tucano Sul	41,63	41,63
Terra Total	66.168,88	78.761,87
Total (MMm³)	369.918,02	609.213,81

Fonte: [18]

De acordo com [5], a produção de gás natural aumentou 86% entre os anos de 2008 e 2017. A importação teve aumento de 68% entre os anos de 2008 e 2015, porém entre 2015 e 2017 tem acumulado queda de 44%. O Plano Decenal de Expansão da Malha de Gasodutos de Transporte (PEMAT) prevê aumento de 24% na demanda não termelétrica de gás natural.

A Figura 8 demonstra a perspectiva da produção nacional de gás natural até o ano de 2024. Há tendência que a oferta nacional duplique no período de 10 anos, a entrada do Pré-Sal será fator relevante para este crescimento.

Figura 8 – Perspectiva da Produção Nacional (MM m³/dia)

Fonte: [21]

2.1.3 Aspectos Químicos e Físicos

O gás natural é composto basicamente por Metano (CH₄), Etano (C₂H₆), Propano (C₃H₈) e, em menor proporção por outros hidrocarbonetos. Resumidamente, o gás natural é uma mistura multicomponente de: hidrocarbonetos (C₁, C₂, C₃, i-C₄, n-C₄, i-C₅, n-C₅ e C₆+), inertes (CO₂, N₂) e contaminantes (H₂O, H₂S, RSH), que se apresentam no estado gasoso nas condições normais de pressão e temperatura (Pressão = 1 atm (atmosfera) e Temperatura = 0° C (Celsius)).

A composição do gás é inerente do poço de onde foi extraído, havendo variação na concentração dos componentes em diversas regiões do mundo. A Tabela 2 apresenta os dados referentes a composição de gás natural em diferentes bacias de exploração [16].

O Poder Calorífico Superior (PCS), último item da Tabela 2, é referente à quantidade de calor produzida durante a combustão completa de uma unidade de volume ou massa de combustível, este valor é calculado para o caso em que toda a água liberada na combustão está na fase líquida. Há também o Poder Calorífico Inferior (PCI), calculado considerando que toda a água liberada na combustão está no estado gasoso.

Tabela 2 – Composição de Diferentes Gases Naturais Extraídos em Diferentes Regiões.

Componentes	Características de alguns gases naturais			
	percentagem em volume			
	Bacio de Campos (BR)	Guamaré (BR)	Bahia (BR)	Bolívia
Metano	89,4	83,5	88,5	90,7
Etano	6,7	11	9,2	6,1
Propano	2,2	0,4	0,4	1,2
Butano e Superiores	0,5	nd	nd	nd
H ₂ S	traços	traços	traços	traços
CO ₂	0,3	2	0,6	0,5
N ₂	0,8	3,2	1,2	1,4
Densidade (relativa ao ar)	0,623	0,644	0,615	0,6
Poder Calorífico Superior (kcal / m ³)	9,608	9,207	9,375	9,264

Fonte: [16]

O gás natural permanece no estado gasoso sob pressão atmosférica e temperatura ambiente. Por ser mais leve que o ar, dissipa-se facilmente na atmosfera em caso de vazamento [16].

Para que se inflame, é necessário que seja submetido a uma temperatura superior a 482 °C, em comparação, a gasolina se inflama a 250 °C. Além disso, é inodoro e, por questões de segurança, é comercializado odorizado com compostos à base de enxofre [16].

De acordo com estas informações, tem-se que o gás natural se torna uma opção segura frente a outros combustíveis quando se considera aspectos ambientais, operacionais e qualitativos.

2.1.4 Faturamento de Gás Natural

Em 2008 foi adotada no mercado brasileiro uma nova política de preços para as distribuidoras de gás natural. A partir de então, para o consumo não térmico, o preço do combustível passou a ser composto pela Parcela Variável e a Parcela Fixa, sendo a primeira atrelada a uma cesta de óleos referenciadas internacionalmente, e a segunda, definida a partir de um valor fixo inicial e atualizada a partir da variação do IGP-M [22].

A composição da tarifa final do gás para o consumidor final é formada por quatro partes: Parcela Variável ou *Commodity*, dependendo da origem do gás; Parcela Fixa ou de Transporte, dependendo da origem do gás; Margem de Distribuição; e Tributos Federais e Estaduais. A Tabela 3 exhibe os valores e a

participação destes grupos na tarifa média para consumo de gás natural no Brasil, os valores são referentes ao mês de agosto de 2011 [22].

Tabela 3 – Composição do Preço do Gás Natural para o Consumidor Industrial no Brasil

Item	US\$/MMBtu	Participação (%)
Parcela Variável ou <i>Commodity</i>	7,30	43,30%
Parcela Fixa ou Transporte	2,66	15,80%
Margem de Distribuição	3,16	18,80%
Impostos (PIS/COFINS e ICMS)	3,72	22,10%
Preço do Gás para o Consumidor Industrial	16,84	100%

Fonte: [22]

Como citado no item 2.1.1, é de responsabilidade das distribuidoras detentoras da concessão a construção e expansão da malha de gasodutos até seus clientes. A Margem de Distribuição tem por objetivo a remuneração do serviço de distribuição de gás como também a expansão da malha no estado. A Tabela 3 indica que a Margem de Distribuição tem participação média de 18,8% no preço final pago pelo consumidor industrial. A Tabela 4 apresenta as diferentes margens de distribuição aplicadas pelas distribuidoras.

Tabela 4 – Margem de Distribuição por Estado, US\$/MMBtu

Estado	Margem de Distribuição US\$/MMBtu
ES	1,66
CE	1,78
RN	1,78
MS	2,10
MG	2,37
SE	2,79
BA	2,79
AL	2,96
PE	3,18
SP	3,30
RJ	3,34
SC	3,75
PB	3,76
RS	5,23
PR	5,86

Fonte: [22]

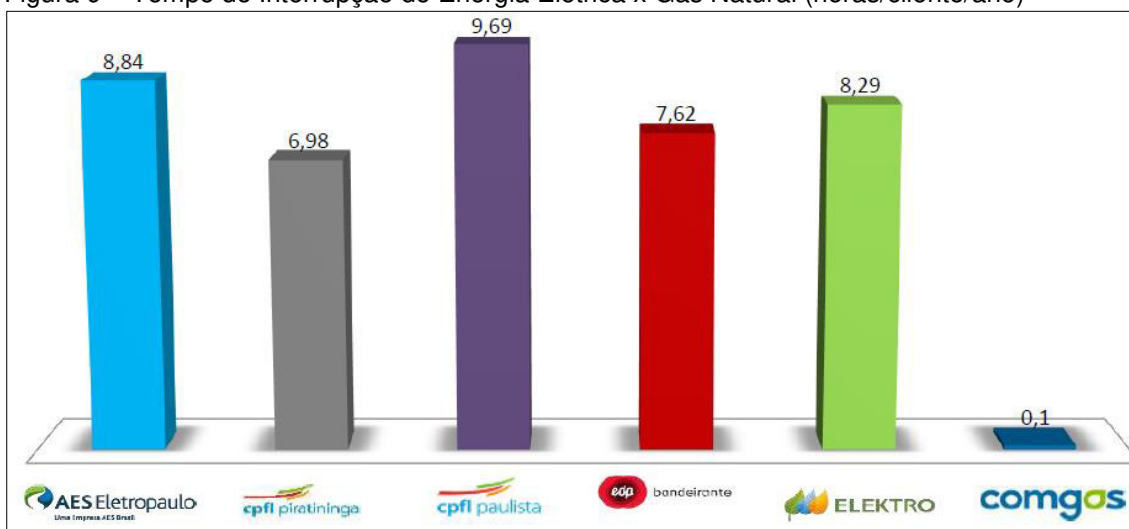
Para utilizar o gás natural para geração de energia elétrica, deve-se considerar os custos efetivos da aquisição do combustível e da compra de energia.

2.1.5 Geração e Cogeração de Energia Elétrica

O gás natural pode ser utilizado para gerar energia elétrica em prédios comerciais como uma forma de economizar no horário de ponta, no qual a energia elétrica tem preço superior. Além dos geradores tradicionais, dentro do contexto da geração distribuída, há os motogeradores e trigeradores que possibilitam a cogeração de energia.

O uso do gás natural para geração e cogeração traz confiabilidade aos sistemas, a Figura 9 apresenta um comparativo, para o estado de São Paulo, entre as interrupções de fornecimentos das concessionárias de energia elétrica em relação a interrupção de fornecimento do distribuidor de gás natural. Observa-se um menor número de interrupções da concessionária de gás.

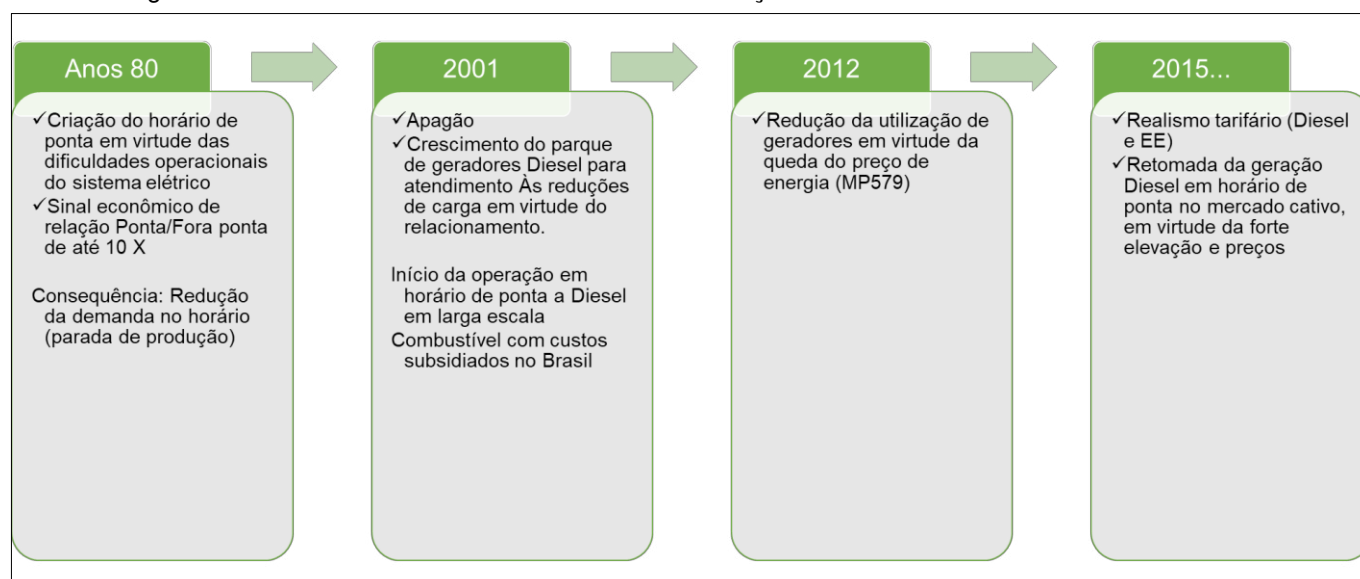
Figura 9 – Tempo de Interrupção de Energia Elétrica x Gás Natural (horas/cliente/ano)



Fonte: [21]

O uso do gás natural para geração na ponta tem seu histórico apresentado na Figura 10. A partir de 2015 tem-se cenário favorável para implemento deste tipo de solução, dado o contexto de mercado e a expansão dos serviços de distribuição de gás natural.

Figura 10 – Histórico de Uso de Gás Natural na Geração de Ponta



Fonte: [21]

De acordo com [23] é essencial realizar uma análise detalhada para que se possa concluir qual modelo é o mais adequado ao cliente em estudo. Para que se viabilize a cogeração em um sítio, as seguintes características devem ser observadas:

- O grau de similaridade entre a demanda de energia térmica e a demanda de energia elétrica;
- O perfil de atendimento à demanda, se constante e prolongado, por exemplo;
- Custo de energia elétrica maior do que o custo do gás natural em termos unitários; e
- Disponibilidade anual maior que 60% de energia térmica.

Também deve-se considerar os custos de operação e manutenção, aprovações regulamentares e ambientais. No caso em que a análise aponta para a adoção de um sistema de cogeração, [23] aponta os principais benefícios como sendo:

- Autossuficiência energética;
- Eficiência energética;
- Maior qualidade da energia elétrica gerada;
- Consumo junto à geração;

- Confiabilidade;
- Geração distribuída; e
- Benefícios ambientais.

Outro destaque relevante feito em [23] é referente aos benefícios de ar condicionado a gás natural, sendo estes os benefícios principais:

- Redução em até 91% do consumo de energia elétrica dos condicionadores de ar;
- Produção conjunta de água quente;
- Baixo nível de ruído e de vibração durante operação; e
- Custo de operação e manutenção inferior.

2.2 GERADORES ELÉTRICOS

A máquina elétrica é um dispositivo que converte energia elétrica em mecânica ou energia mecânica em elétrica. No primeiro caso tem-se a máquina operando como motor, no segundo caso tem-se a máquina operando como gerador.

Esta seção abordará os geradores. Primeiramente, será realizada uma comparação entre o óleo diesel e o gás natural, contemplado ainda, os estudos de conversão de geradores que utilizam óleo diesel para operarem no modo bicomcombustível. Serão apresentados dados de estudos realizados e os resultados obtidos.

2.2.1 Gás Natural x Óleo Diesel

A tendência do mercado mundial de energia é de adoção de fontes renováveis ou fontes que sejam menos poluentes. Neste cenário, o gás natural surge como uma alternativa interessante. A Tabela 5 apresenta os produtos da combustão dos principais energéticos utilizados no Brasil.

Tabela 5 – Parâmetro de Combustão dos Principais Combustíveis

Combustível	CO ₂	O ₂	CO	Índice de Fuligem	Faixa de Excesso de Ar
Óleos pesados	12 a 14%	3 a 5%	< 50 ppm	3	15 a 30%
Gás natural	9 a 10,5%	2 a 5%	< 30 ppm	0	10 a 30%
GLP	10 a 13%	2 a 6%	< 30 ppm	0	10 a 40%
Lenha (grelha fixa)	11 a 13%	7,5% a 9,5%	< 1000 ppm	4	55 a 85%
Lenha (basculante)	13 a 16%	4 a 7,5%	< 500 ppm	4	25 a 55%
Bagaço de cana (grelha fixa)	12 a 14%	6 a 8%	< 1000 ppm	4	40 a 65%
Bagaço de cana (grelha basculante/totativa)	14 a 16%	4 a 6%	< 500 ppm	4	25 a 40%

Fonte: [24]

De acordo com a Tabela 5, o gás natural libera menor quantidade de CO₂, que é um dos principais responsáveis pelo efeito estufa. O CO₂ retém o calor na atmosfera. Além disso, o gás natural, assim como o GLP, emite CO em menor quantidade, este gás é altamente danoso ao ser humano, pois entra em competição com o oxigênio pela hemoglobina, o que diminui a quantidade de oxigênio disponível nos tecidos, levando à morte por asfixia.

O gás natural é fornecido aos seus clientes finais por meio de gasodutos, esta estrutura faz com que o gás natural não precise ser estocado pelo cliente final, o que gera economia e segurança se comparado com o diesel. Além disso, eleva a confiabilidade do sistema, pois possibilita operações prolongadas com o fornecimento contínuo, não necessitando de reabastecimento [25].

O gás natural apresenta vantagem quanto a aspectos ambientais e logísticos, este último justificado pela não necessidade de ser estocado. O custo com combustível para geração de energia elétrica depende muito da forma com a qual as concessionárias de distribuição de gás cobram pelo m³ do gás, considerando o tipo de cliente e o consumo mensal.

Na decisão de qual combustível melhor atende às necessidades de cada consumidor, estes aspectos devem ser pontuados de forma a demonstrar as prioridades com as quais o cliente mais se alinha no momento da decisão, que são:

- Vulnerabilidade às oscilações de preços do petróleo;
- Emissão de poluentes;
- Custo operacional;
- Necessidade de armazenamento de combustível;
- Vida útil;

- Facilidade de obtenção de licença ambiental;
- Aplicação como fonte única;
- Longevidade;
- Disponibilidade da rede de gás;
- Tamanho do equipamento;
- Investimento Inicial;
- Aplicação no horário de ponta;
- Investimento em instalações;
- Peso do equipamento;
- Disponibilidade de manutenção qualificada;
- Opções de fornecedores;
- Disponibilidade de modelos;
- Confiabilidade;
- Tecnologia embarcada;
- Segurança operacional; e
- Qualidade do equipamento.

Após a análise, o cliente que não dispuser de gerador e optar por utilizar o gás natural como combustível para geração de energia elétrica deverá adquirir um gerador a gás natural. O cliente que já tenha um gerador a diesel e optar por utilizar o gás natural como combustível poderá optar por trocar o gerador existente ou convertê-lo para operação bicomcombustível. O próximo item explora o que já foi alcançado na prática e em termos de experimento sobre a operação bicomcombustível.

2.2.2 Operação Bicomcombustível

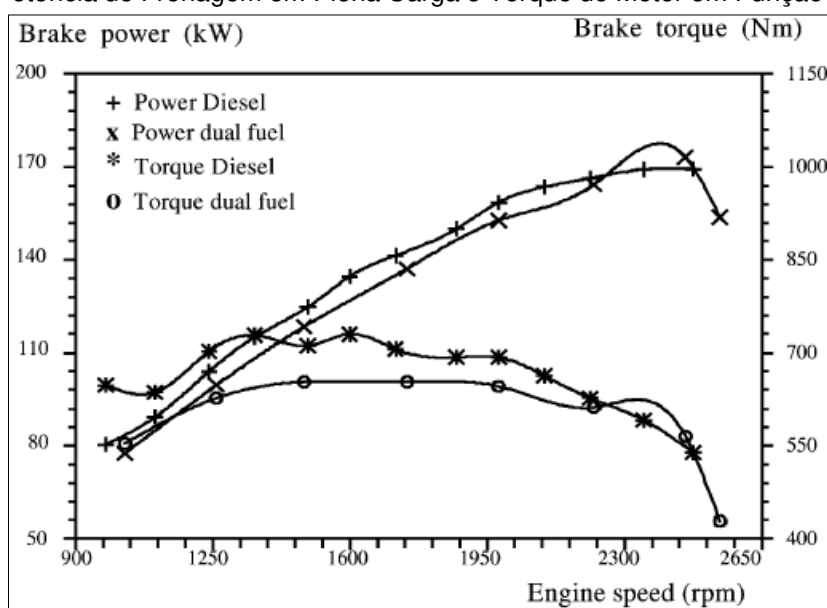
Muitos empreendimentos dispõem de geradores de emergência para manutenção dos serviços dos elevadores, iluminação de áreas comuns e demais funcionalidades de acordo com suas necessidades.

Caso seja realizada a análise citada no item 2.2.1 antes da instalação do gerador e caso haja gás natural disponível, pode-se optar livremente entre um gerador a gás natural ou à diesel. Porém, a realidade da região em estudo, São

Luís, é que os geradores sejam à diesel, então pode-se optar pela conversão para que a máquina opere com gás natural.

No estudo realizado em [26] é analisado o desempenho e características de emissão de um motor diesel comercial. A Figura 11 exibe a análise realizada sobre este motor, percebe-se que há uma leve perda de potência e torque na operação bicomcombustível. Apenas quando a rotação está por volta de 2.400 rpm que a operação bicomcombustível tem resultados superiores ao que seria obtido com o motor operando somente com diesel [26].

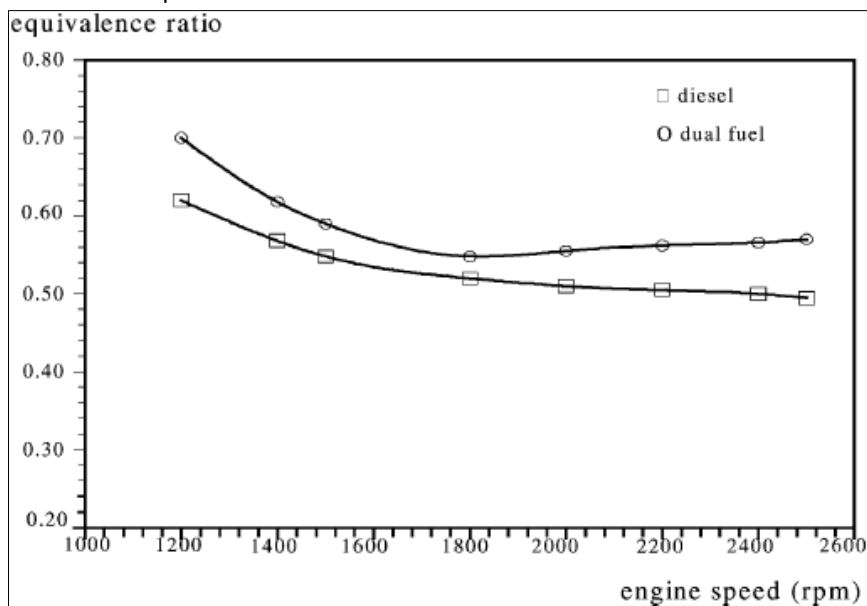
Figura 11 – Potência de Frenagem em Plena Carga e Torque do Motor em Função da Frenagem



Fonte: [26]

Ainda no estudo realizado em [26], é avaliada a razão de equivalência, definida como sendo a relação estequiométrica ar/combustível, dividida pela razão entre as medições de ar/combustível. De acordo com a Figura 12, o gás desloca parte do ar que poderia ter entrado no cilindro, acarretando em uma razão de equivalência menor. Com a diminuição da carga, o motor é menos eficiente e requerer mais gás para manter a condição de velocidade de carga fixa [26].

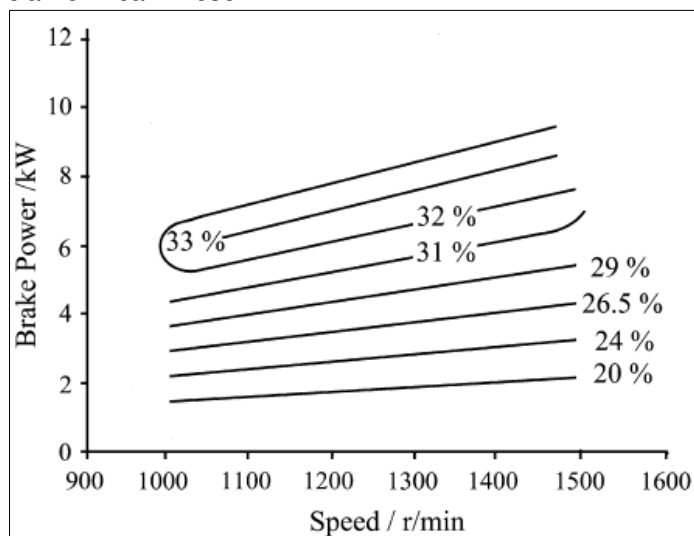
Figura 12 – Razão de Equivalência Diesel e Bicombustível



Fonte: [26]

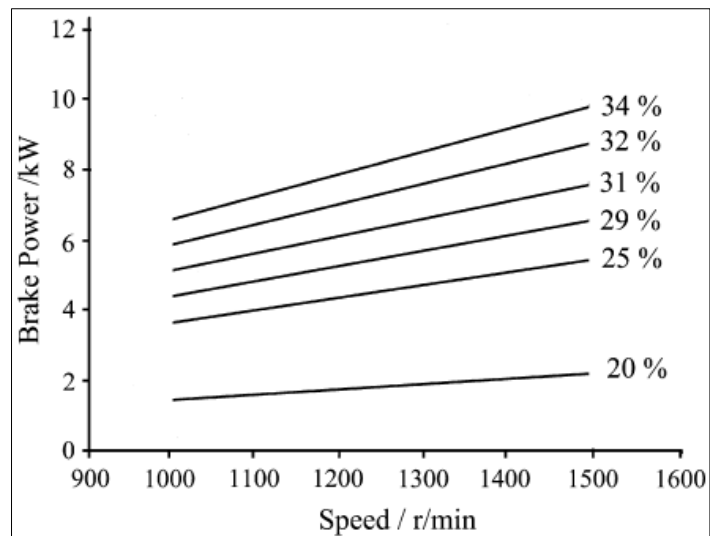
Outro estudo com propósito semelhante foi realizado em [27], neste estudo foi analisada a performance e a emissão dos motores de ignição após a conversão para operação no modo bicombustível. A Figura 13 e a Figura 14 apresentam, respectivamente, as eficiências térmicas do diesel e do diesel com gás natural. Em potências mais altas, o modo de combustível duplo produz eficiências térmicas semelhantes ou maiores que no modo de abastecimento normal. Em potências mais baixas, o modo de combustível duplo apresenta eficiência térmica inferior.

Figura 13 – Eficiência Térmica - Diesel



Fonte: [27]

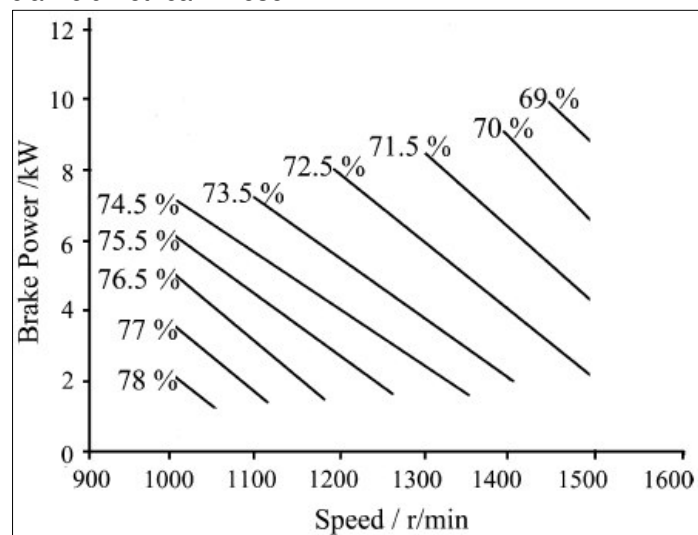
Figura 14 – Eficiência Térmica – Diesel e Gás Natural



Fonte: [27]

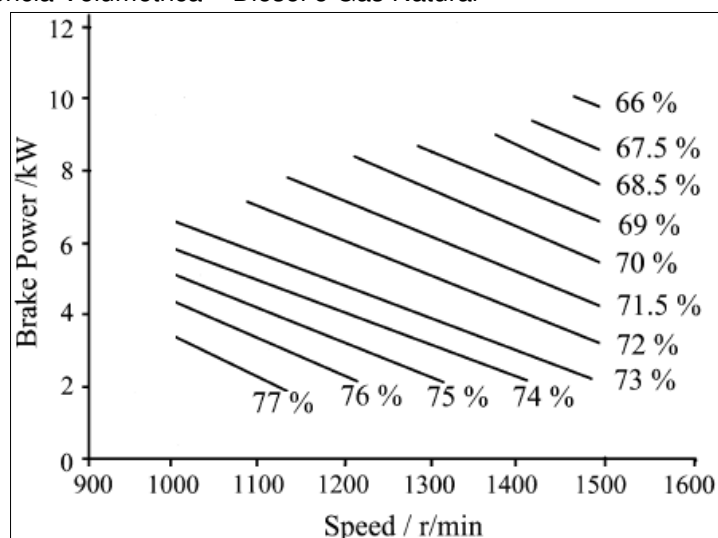
A Figura 15 e a Figura 16 apresentam, respectivamente, a eficiência volumétrica do diesel e do diesel com gás natural. São obtidos valores mais baixos para o modo bicomustível, isto é de se esperar, pois uma parte do ar introduzido está sendo deslocado pelo gás natural na entrada [27]. Estes resultados mostram que não há uma diferença significativa entre os modos de operação.

Figura 15 – Eficiência Volumétrica - Diesel



Fonte: [27]

Figura 16 – Eficiência Volumétrica – Diesel e Gás Natural



Fonte: [27]

A conversão de geradores à diesel para operação no modo bicomcombustível com gás, como já citado, proporciona custos mais baratos com combustível e nível inferior de emissão de poluentes se comparado com a operação somente com o diesel. Os avanços tecnológicos dos controladores de fluxo de gás natural permitem que a variação da relação gás natural / diesel seja feita de forma que não se perca o desempenho do gerador [7].

Diversos estudos, que contemplam experimentos de operação bicomcombustível, trazem resultados das taxas de substituição do diesel pelo combustível alternativo. Em [28] são citados os seguintes resultados : 50% de substituição do óleo diesel pelo álcool hidratado, 38% de substituição do óleo diesel pelo álcool anidro, 40% a 89% de substituição do óleo diesel pelo gás natural. Em [4] foi obtido 90% de substituição do diesel pelo gás natural.

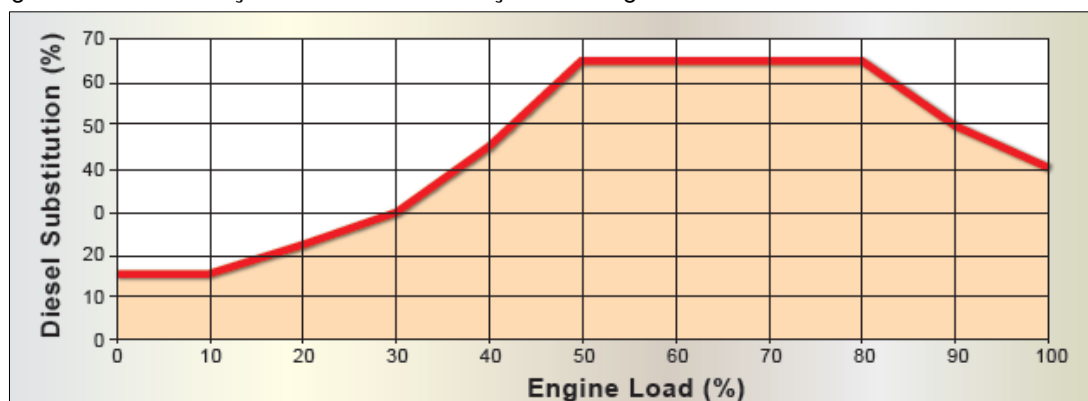
Tabela 6 – Taxas de Substituição do Óleo Diesel

Fonte	Combustível Alternativo	Taxa de Substituição
[28]	Álcool Hidratado	50%
[28]	Álcool Anidro	38%
[28]	Gás Natural	40% a 89%
[5]	Gás Natural	90%

Fonte: [AUTOR]

A Figura 17 apresenta a substituição do diesel pelo gás natural em função da carga consumida por um gerador adaptado com o sistema apresentado em [7], os sistemas atuais fazem este controle de forma automática.

Figura 17 – Substituição do Diesel em Função da Carga



Fonte: [7]

Os sistemas atuais são projetados de forma que sejam alternados os modos de combustível automaticamente, sem que haja interrupção na saída de potência, e que mantenha a mesma queda de velocidade do motor com a aplicação de carga que em um sistema à diesel puro [7]. Isto garante a manutenção da performance do motor (rendimento e eficiência), item de maior relevância quando se pretende operar no modo bicombustível.

A operação bicombustível traz como desvantagem a necessidade de se gerir a logística de dois combustíveis, além da oferta de gás natural pela distribuidora local. Além disso serão inseridos mais elementos no sistema de geração. Em todo caso, é necessário validar se o cenário de consumo do cliente favorece a operação bicombustível.

Na indisponibilidade da rede de gás, o gerador convertido pode operar em sua totalidade com diesel, além disso o cliente pode optar pelos combustíveis de acordo com a realidade de preço do mercado.

Com a disponibilidade de gás canalizado, a operação bicombustível é atrativa, as tecnologias atuais de conversão de geradores a diesel garantem a performance do motor. A taxa padrão, encontrada no mercado, de substituição do óleo diesel pelo gás natural em plena carga está em torno de 70%. Os mecanismos de conversão possibilitam que o gerador possa operar somente com óleo diesel numa indisponibilidade da rede de gás natural [7] [10] [21].

2.3 TARIFAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A tarifa de energia elétrica é o meio pelo qual se pagam os serviços técnicos de cada etapa do processo de fornecimento de energia. Os processos consistem na geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica. Para composição do preço final da tarifa são acrescentados encargos direcionados ao custeio da aplicação de políticas públicas.

A tarifa de energia elétrica dos consumidores cativos é formada por custos com a aquisição de energia elétrica, custos relativos ao uso do sistema de distribuição, custos relativos ao uso do sistema de transmissão, perdas técnicas e não técnicas, encargos diversos e impostos. O somatório de todos estes itens é cobrado por unidade de energia (R\$/kWh) [29].

As modalidades tarifárias representam um conjunto de tarifas aplicáveis às componentes do consumo de energia elétrica e demanda de potência. As seções a seguir apresentam as modalidades e as classes consumidoras que se encaixam em cada uma destas.

A Tabela 7 apresenta um resumo dos subgrupos que compõem a classe consumidora do grupo A, o subgrupo AS é referente a alimentação realizada por sistema subterrâneo de distribuição. O subgrupo B é referente aos consumidores que possuem tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, a Tabela 8 traz a referência dos segmentos que compõem os subgrupos desta classe.

Tabela 7 – Classe Consumidora: Grupo A

Grupo A	
Subgrupo	Tensão de Fornecimento
A1	≥ 230 kV
A2	88 kV a 138 kV
A3	69kV
A3a	30kV a 44kV
A4	2,3 kV a 25kV
AS	$< 2,3$ kV

Fonte: [30]

Tabela 8 – Classe Consumidora: Grupo B

Grupo B	
Subgrupo	Segmento
B1	Residencial
B2	Rural
B3	Demais Classes
B4	Iluminação Pública

Fonte: [30]

Além destes, há o subgrupo B-optante, contido no grupo B. Este grupo é referente à clientes que se enquadram no grupo A e optam por migrar para o grupo B, este tipo de migração é solicitada quando o cliente deseja ter acesso às modalidades tarifárias aplicadas ao grupo B.

O artigo 100 da Resolução Normativa nº 414 da Aneel delimita os requisitos necessários para realização da migração com objetivo na modalidade B-optante, sendo estes:

- Quando a potência nominal total dos transformadores for igual ou inferior a 112,5 kVA;
- Quando a potência nominal total dos transformadores for igual ou inferior a 750 kVA, se classificada na subclasse cooperativa de eletrificação rural;
- Quando a unidade consumidora se localizar em área de veraneio ou turismo cuja atividade seja a exploração de serviços de hotelaria ou pousada, independentemente da potência nominal total dos transformadores; e
- Quando, em instalações permanentes para a prática de atividades esportivas ou parques de exposições agropecuárias, a carga instalada dos refletores utilizados na iluminação dos locais for igual ou superior a 2/3 (dois terços) da carga instalada total.

2.3.1 Modalidade Tarifária Azul

A aplicação da modalidade tarifária horária azul se define na Resolução Normativa Nº 479 da ANEEL [30] “aplicada às unidades consumidoras do grupo A, caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência, de acordo com as horas de utilização do dia”.

Esta modalidade é aplicada considerando:

1. Demanda de Potência (kW):
 - a. Uma tarifa para o posto tarifário ponta (R\$/kW); e
 - b. Uma tarifa para o posto tarifário fora de ponta (R\$/kW).
2. Para o consumo de energia (MWh):
 - a. Uma tarifa para o posto tarifário ponta em período úmido (R\$/MWh);
 - b. Uma tarifa para o posto tarifário fora de ponta em período úmido (R\$/MWh);
 - c. Uma tarifa para o posto tarifário ponta em período seco (R\$/MWh); e
 - d. Uma tarifa para o posto tarifário fora de ponta em período seco (R\$/MWh).

A tarifa azul é aplicada de forma compulsória aos subgrupos A1 (230 kV ou mais) e A3 (69 kV). Podendo ser aplicada de acordo com a opção do consumidor nos subgrupos em que a tensão de fornecimento seja inferior a 69kV, em unidades consumidoras não atendidas pelo SIN após autorização específica e homologação da ANEEL e de forma opcional para consumidores da subclasse cooperativa de eletrificação rural.

2.3.2 Modalidade Tarifária Verde

Em [30] define-se que a aplicação da modalidade tarifária verde se dá em “unidades consumidoras do grupo A, caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia, assim como de uma única tarifa de demanda de potência”. A diferença desta modalidade em relação a azul se dá no fato de que é contratado apenas uma única demanda de potência para o horário da ponta e o horário fora de ponta.

Esta modalidade é aplicada considerando:

1. Tarifa única para a demanda de potência (R\$/kW); e
2. Para o consumo de energia (MWh):
 - a. Uma tarifa para o posto tarifário ponta em período úmido (R\$/MWh);

- b. Uma tarifa para o posto tarifário fora de ponta em período úmido (R\$/MWh);
- c. Uma tarifa para o posto tarifário de ponta em período seco (R\$/MWh); e
- d. Uma tarifa para o posto tarifário fora de ponta em período seco (R\$/MWh).

Esta modalidade é aplicada, de acordo com opção do consumidor, em clientes com tensão de fornecimento inferior a 69 kV, em unidades consumidoras não atendidas pelo SIN após autorização específica e homologação da ANEEL e de forma opcional para consumidores da subclasse cooperativa de eletrificação rural.

Em comparação com a tarifa azul, a tarifa verde não pode ser aplicada aos consumidores com tensão de fornecimento superior a 69 kV.

2.3.3 Modalidade Tarifária Convencional Binômia

De acordo com [30], a tarifa binômia é aquela que é constituída por valores monetários aplicáveis ao consumo de energia elétrica ativa e demanda faturável. Há proposta para ampliação desta modalidade tarifária para todos os consumidores. Atualmente, todos os consumidores pagam o mesmo valor pelo custo de serviço de distribuição de energia. Com a mudança, o valor cobrado pelo serviço de distribuição seria proporcional ao consumo [31].

A aplicação desta modalidade considera:

1. Tarifa única para a demanda de potência (R\$/kW); e
2. Tarifa única para o consumo de energia (R\$/MWh).

Esta modalidade é aplicada, de acordo com a opção do consumidor, em clientes com tensão de fornecimento inferior a 69 kV e demanda contratada inferior a 300 kW. Em unidades consumidoras do grupo A não atendidas pelo SIN.

2.3.4 Modalidade Tarifária Convencional Monômia

Em [30] é definida como a tarifa constituída por valor monetário aplicado unicamente ao consumo de energia elétrica ativa, obtida pela conjunção de

componente de demanda de potência e de consumo de energia elétrica, itens que compõem a tarifa binômia.

A aplicação desta modalidade considera a aplicação de tarifa única ao consumo de energia (R\$/MWh).

Esta modalidade tarifária é aplicada de forma compulsória para todas as unidades consumidoras pertencentes ao grupo B, as quais possuem tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV.

2.3.5 Modalidade Tarifária Branca

Esta modalidade é aplicada, de acordo com [30], em unidades consumidoras do grupo B, exceto para o subgrupo B4 e para as subclasses Baixa Renda do subgrupo B1, caracteriza por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia.

A aplicação desta modalidade considera:

1. Uma tarifa para o consumo de energia (R\$/MWh) para o posto tarifário ponta;
2. Uma tarifa para o consumo de energia (R\$/MWh) para o posto tarifário intermediário; e
3. Uma tarifa para o consumo de energia (R\$/MWh) para o posto tarifário fora de ponta.

Esta modalidade é aplicada a unidades consumidoras pertencentes ao grupo B, de acordo com a opção do consumidor. De acordo com a Resolução Normativa nº 733/2016 da ANEEL, a tarifa branca entrou em vigência no dia 1º de janeiro de 2018, o cronograma de adesão se estabelece como segue:

- 1º de janeiro de 2018, para novas ligações e para unidades consumidoras com média anual de consumo mensal superior a 500 kW/h;
- 1º de janeiro de 2019 para unidades consumidoras com média anual de consumo mensal superior a 250 kW/h; e,
- 1º de janeiro de 2020 para todas as unidades consumidoras.

2.3.6 Migração de Modalidade Tarifária

Conhecendo-se o método de tarifação de energia elétrica e o perfil do cliente consumidor em análise, é possível simular cenários de tarifação de energia, modificando-se as tarifas de consumo e de demanda aplicadas em cada modalidade. A possibilidade de migração de modalidade tarifária é o que valida a realização destas simulações.

A migração de modalidade tarifária é um serviço que pode ser solicitado pelo cliente consumidor cativo e é realizado pela concessionária de energia. Deve-se atentar às restrições que os clientes podem ter, devido ao grupo que o consumidor pertence.

A Tabela 9 apresenta os dados referentes ao consumo no Brasil em GWh de cada classe de consumo entre os anos de 2013 e 2017. Os dados são relativos aos consumidores cativo, os quais estão sob regulação de [30]. Em 2017, o setor comercial representava a 3ª posição na escala de consumo por classe. A movimentação financeira neste setor e a possibilidade de migração de modalidade tarifária de acordo com a tensão de fornecimento e potência contratada demonstram a relevância deste setor no estudo.

Tabela 9 - Consumo por classe (GWh)

	2013	2014	2015	2016	2017
Brasil	463.142	474.823	465.708	461.780	467.161
Residencial	124.908	132.302	131.190	132.872	134.368
Industrial	184.685	179.106	169.289	165.314	167.398
Comercial	83.704	89.840	90.768	87.873	88.292
Rural	23.455	25.671	25.899	27.266	28.136
Poder público	14.653	15.355	15.196	15.096	15.052
Iluminação pública	13.512	14.043	15.333	15.035	15.443
Serviço público	14.847	15.242	14.730	14.969	15.196
Próprio	3.379	3.265	3.304	3.355	3.277

Fonte: [32]

3 METODOLOGIA

Esta seção apresenta a metodologia de cálculo utilizada para simulação e avaliação dos cenários de uso do gerador no modo bicomustível e migração de modalidade tarifária, bem como os dados base utilizados nos cálculos. A metodologia será desenvolvida utilizando-se dados reais de consumo de um prédio. Este prédio possui as seguintes características:

1. Industrial B-Optante Trifásico
2. Tarifa Convencional Monômnia
3. Tensão Contratada: 13,8 KV
4. Subgrupo Tarifário: B3
5. Potência Instalada: 19 KVA

Este perfil foi traçado de acordo com uma conta de energia fornecida pelo cliente em estudo. De acordo com as características, este cliente poderia migrar para a tarifa horo-sazonal verde, horo-sazonal azul ou tarifa branca. A tarifa convencional binômnia não será analisada por não estar no pacote das modalidades tarifárias disponíveis no Maranhão.

3.1 PERFIL DO CONSUMIDOR

Para que se realize os cálculos de comparação entre as modalidades tarifárias é importante que se conheça o perfil de consumo do cliente, considerando os consumos no horário intermediário, na ponta e fora de ponta, assim como as demandas na ponta e fora de ponta.

O perfil de consumo do cliente foi resumido na Tabela 10. Com este detalhamento é possível encontrar os parâmetros que serão utilizadas nos cálculos para composição de preço de cada modalidade tarifária.

Tabela 10 – Perfil de Consumo Geral do Cliente

Demanda (W)		Consumo (kWh)		
Ponta	Fora de Ponta	Ponta	Intermediário	Fora de Ponta
1000	17000	90	200	1908
		Ponta	Intermediário	Fora de Ponta
		90	-	2108
Total		Total		
18000		2198		

Fonte: [AUTOR]

A Tabela 11 apresenta os valores aplicados às variáveis que compõem as modalidades tarifárias, estes dados serão utilizados juntamente com os dados da Tabela 10 para exemplificar a aplicação dos cálculos em cada modalidade tarifária.

Tabela 11 – Valor das Tarifas Aplicadas à Demanda e Consumo por Modalidade

	Demanda (R\$ / kW)		Consumo (R\$ / kWh)		
	Ponta	Fora de Ponta	Ponta	Fora de Ponta	Horário Intermediário
Azul	68,16	22,83	0,48	0,32	-
Verde	22,83		Ponta	Fora de Ponta	Horário Intermediário
			2,13	0,32	-
Branca	-		Ponta	Fora de Ponta	Horário Intermediário
			1,43	0,53	0,90
Monômia	-		0,66		

Fonte: [33]

As equações que precificam as modalidades tarifárias são demonstradas a seguir:

- Tarifação da Modalidade Azul

A Fatura de Energia Elétrica nesta modalidade é composta pela parcela referente a cobrança do consumo e a parcela referente a cobrança da demanda, demonstradas a seguir:

Parcela de Consumo (Pc)

$$P_c = C_P \cdot TCP + C_{FP} \cdot TCFP \quad (1)$$

Parcela de Demanda (Pd)

$$P_d = DP \cdot TDP + DFP \cdot TDFP \quad (2)$$

Fatura Total (FT)

$$FT = P_c + P_d \quad (3)$$

Em que:

C_P - Consumo na Ponta;

T_{CP} - Tarifa de Consumo na Ponta;

C_{FP} - Consumo Fora da Ponta;

T_{CFP} - Tarifa de Consumo Fora da Ponta;

D_P - Demanda na Ponta;

T_{DP} - Tarifa da Demanda na Ponta;

D_{FP} - Demanda Fora da Ponta; e

T_{DFP} - Tarifa da Demanda Fora da Ponta.

Enquadrando este consumidor na modalidade azul, tem-se:

$$FT = 90 \cdot 0,48 + 2108 \cdot 0,32 + 1 \cdot 68,16 + 17 \cdot 22,83$$

$$FT = R\$ 1.173,62$$

- Tarifação da Modalidade Verde

A Fatura de Energia Elétrica nesta modalidade é composta pela parcela referente a cobrança do consumo e a parcela referente a cobrança da demanda, demonstradas a seguir:

Parcela de Consumo (P_c)

$$P_c = C_P \cdot T_{CP} + C_{FP} \cdot T_{CFP} \quad (4)$$

Parcela de Demanda (P_d)

$$P_d = D \cdot T_D \quad (5)$$

Fatura Total (FT)

$$FT = P_c + P_d \quad (6)$$

Sendo:

C_P - Consumo na Ponta;

T_{CP} - Tarifa de Consumo na Ponta;

C_{FP} - Consumo Fora da Ponta;

T_{CFP} - Tarifa de Consumo Fora da Ponta;

D - Demanda; e

T_D - Tarifa da Demanda.

Para a modalidade tarifária verde, tem-se:

$$FT = 90 \cdot 2,13 + 2108 \cdot 0,32 + 17 \cdot 22,83$$

$$FT = R\$ 1.253,51$$

- Tarifação da Modalidade Branca

A Fatura de Energia Elétrica nesta modalidade é composta pela parcela referente a cobrança do consumo, demonstrada a seguir:

Parcela de Consumo (P_c)

$$P_c = C_P \cdot T_{CP} + C_{FP} \cdot T_{CFP} + C_{HI} \cdot T_{CHI} \quad (7)$$

Fatura Total (FT)

$$FT = P_c \quad (8)$$

Sendo:

C_P - Consumo na Ponta;

T_{CP} - Tarifa de Consumo na Ponta;

C_{FP} - Consumo Fora da Ponta;

T_{CFP} - Tarifa de Consumo Fora da Ponta;

C_{HI} - Consumo no Horário Intermediário; e

T_{CHI} - Tarifa de Consumo no Horário Intermediário.

$$FT = 90 \cdot 1,43 + 200 \cdot 0,90 + 1908 \cdot 0,53$$

$$FT = R\$ 1.329,66$$

- Tarifação da Modalidade Convencional Monômnia

A Fatura de Energia Elétrica nesta modalidade é composta pela parcela referente a cobrança do consumo, demonstrada a seguir:

Parcela de Consumo (Pc) é dada por:

$$P_c = C \cdot T_C \quad (9)$$

Fatura Total (FT) é expressa por:

$$FT = P_c \quad (10)$$

Onde:

C = Consumo

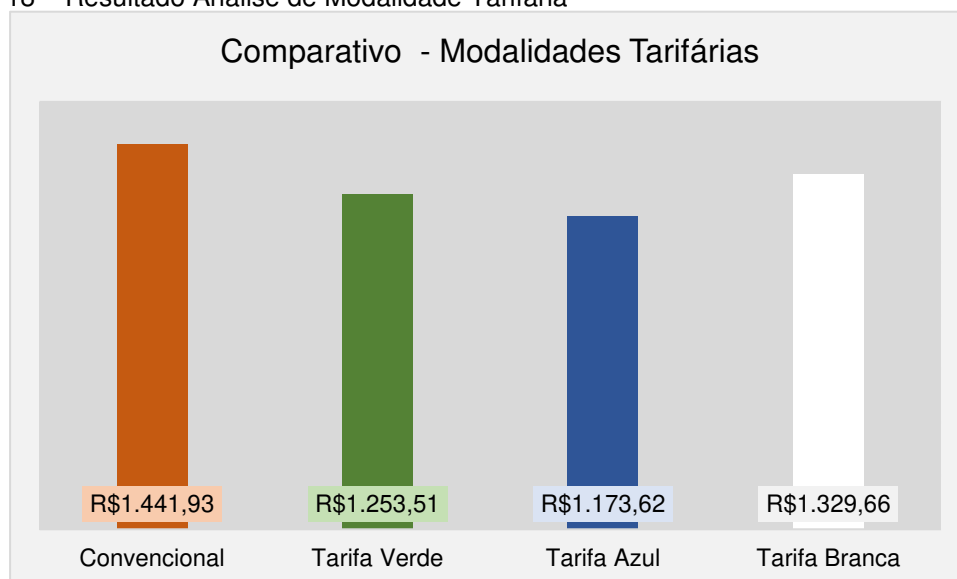
T_C = Tarifa de Consumo

$$FT = 2198 \cdot 0,66$$

$$FT = R\$ 1.441,93$$

Os valores compilados dos resultados obtidos em cada modalidade tarifária são exibidos na Figura 18. De acordo com os resultados, este cliente teria economia com a migração para qualquer outra modalidade avaliada. Sendo a modalidade azul a mais vantajosa, com esta migração o cliente chegaria a economizar R\$ 3.219,72 em um horizonte de um ano.

Figura 18 – Resultado Análise de Modalidade Tarifária



Fonte: [AUTOR]

3.2 SIMULAÇÃO DO IMPLEMENTO DO GÁS NATURAL

Como citado em 2.2.2, diversos estudos analisaram a taxa de substituição que pode ser realizada quando deseja-se converter um gerador à diesel para operar no modo bicomcombustível. Este trabalho realizará análises considerando uma taxa de substituição de 70% do diesel pelo gás natural. De modo geral, esta taxa de substituição é referenciada em diversos catálogos de kits de conversão.

A Tabela 12 apresenta a série histórica de preços do gás natural e do diesel contemplando o período de janeiro a agosto de 2018. Os preços foram obtidos a partir de média simples.

O preço do gás natural demonstrado é referente aos preços aplicados no estado do Ceará para a classe comercial, com contratos de 800 m³/dia. A escolha da média de preço aplicada no Ceará foi escolhida por conta da proximidade geográfica entre este estado e o estado onde será realizado o estudo.

Tabela 12 – Histórico de Preço Final ao Consumidor Gás Natural e Diesel

	jan/18	fev/18	mar/18	abr/18	mai/18	jun/18	jul/18	ago/18	Média
Preço Diesel [R\$/l]	\$3,38	\$3,39	R\$3,38	\$3,43	R\$3,63	\$3,42	\$3,38	R\$3,37	\$3,42
Preço Gás Natural [R\$/m ³]	\$2,55	\$3,69	R\$2,55	\$2,55	\$2,55	\$2,55	\$2,55	\$2,55	\$2,69

Fonte: [5] [34]

Com o intuito de se mensurar a produção dos combustíveis em energia elétrica, utilizou-se a Tabela 13 de equivalência energética como referência principal. Para esta equivalência foi considerado o gás natural seco com Poder Calorífico Inferior (PCI) igual a 8.800 kcal/kg (20°C e 1 atm) e o óleo diesel com PCI igual a 10.100 kcal/kg.

Tabela 13 – Equivalência Energética

Combustível	Unidade	Fator de Conversão
Gás Natural	m ³	0,126
Óleo Diesel	litro	0,096
Energia Elétrica	kWh	1,000

Fonte: [18]

Estes valores foram corrigidos e são apresentados em Tabela 14 considerando o rendimento dos geradores disponíveis no mercado, para o gás tem-se média de rendimento em torno de 36% e para o diesel 38,5% [35].

De acordo com os dados exibidos na Tabela 14, com a correção do rendimento por média de mercado, tem-se que é necessário 0,35 m³ de gás para gerar 1 kWh de energia e cerca de 0,249 litros de diesel para gerar a mesma quantidade de energia elétrica.

Tabela 14 – Equivalência Energética com Correção de Rendimento

Combustível	Unidade	Fator de Conversão
Gás Natural	m ³	0,350
Óleo Diesel	litro	0,249
Energia Elétrica	kWh	1,000

Fonte: [18] [35]

De forma direta, o consumo de diesel e gás foram calculados com base na Tabela 14, o cálculo foi realizado de forma direta com base na equação exibida a seguir:

$$\text{Consumo Combustível} = \text{Energia [kWh]} \cdot \text{Fator de Conversão} \quad (11)$$

A Tabela 15 apresenta a quantidade de combustível a ser utilizada para suprir a demanda mensal do cliente em estudo. Os custos foram calculados para cenário em que o consumidor gerasse sua energia durante todo o mês.

Tabela 15 – Consumo de Combustível para Geração de Energia

Horário	Energia [kWh]	Diesel [l]	Gás [m³]
Ponta	90	22	32
Fora de Ponta	2108	526	738

Fonte: AUTOR

Para o cálculo do custo com o combustível, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$\text{Custo Total} = \text{Consumo Total do Combustível} \cdot \text{Custo da Unidade do Combustível} \quad (12)$$

Na base de preço utilizada, o cliente economizaria com a escolha do óleo diesel cerca de R\$ 193,83, como demonstra a Tabela 16.

Tabela 16 – Gastos com Combustível para Geração de Energia

Horário	Diesel [R\$]	Gás [m³]
Ponta	R\$76,82	R\$84,760
Fora de Ponta	R\$1.799,37	R\$1.985,26
Total	R\$1.876,19	R\$2.070,021

Fonte: [AUTOR]

O presente trabalho tem como proposta a operação bicombustível, dado que grande parte dos clientes da localidade estudada já possuem geradores a diesel. A Tabela 17 apresenta os custos considerando a operação bicombustível com substituição do diesel pelo gás natural em 70%.

Tabela 17 – Consumo dos Combustíveis na Operação Bicombustível

Horário	Energia [kWh]	Diesel [l]	Gás [m³]
Ponta	90	7	22
Fora de Ponta	2108	158	516

Fonte: [AUTOR]

As equações utilizadas para os cálculos da Tabela 17 são apresentadas a seguir:

$$\text{Consumo Diesel} = \text{Energia [kWh]} \cdot \text{Fator de Conversão Diesel} \cdot 0,3 \quad (13)$$

$$\text{Consumo Gás} = \text{Energia [kWh]} \cdot \text{Fator de Conversão Gás} \cdot 0,7 \quad (14)$$

A Tabela 18 apresenta os custos finais que o cliente teria caso gerasse sua própria energia durante todo o mês utilizando gás natural e óleo diesel, na proporção já citada.

Tabela 18 – Custos na Operação Bicombustível

Horário	Diesel [R\$]	Gás [m³]
Ponta	R\$23,05	R\$59,33
Fora de Ponta	R\$539,81	R\$1.389,68
Total	R\$2.011,87	

FONTE: [AUTOR]

As equações utilizadas para os cálculos da Tabela 18 são apresentadas a seguir:

$$\text{Custo Diesel} = \text{Consumo Total Diesel} \cdot \text{Custo da Unidade do Diesel} \quad (15)$$

$$\text{Custo Gás} = \text{Consumo Total Gás} \cdot \text{Custo da Unidade do Gás} \quad (16)$$

$$\text{Custo Bicombustível} = \text{Custo Diesel} + \text{Custo Gás} \quad (17)$$

A próxima seção analisa os tipos de operação com o gerador em complemento às modalidades tarifárias.

3.3 SIMULAÇÃO POR HORO-SAZONALIDADE

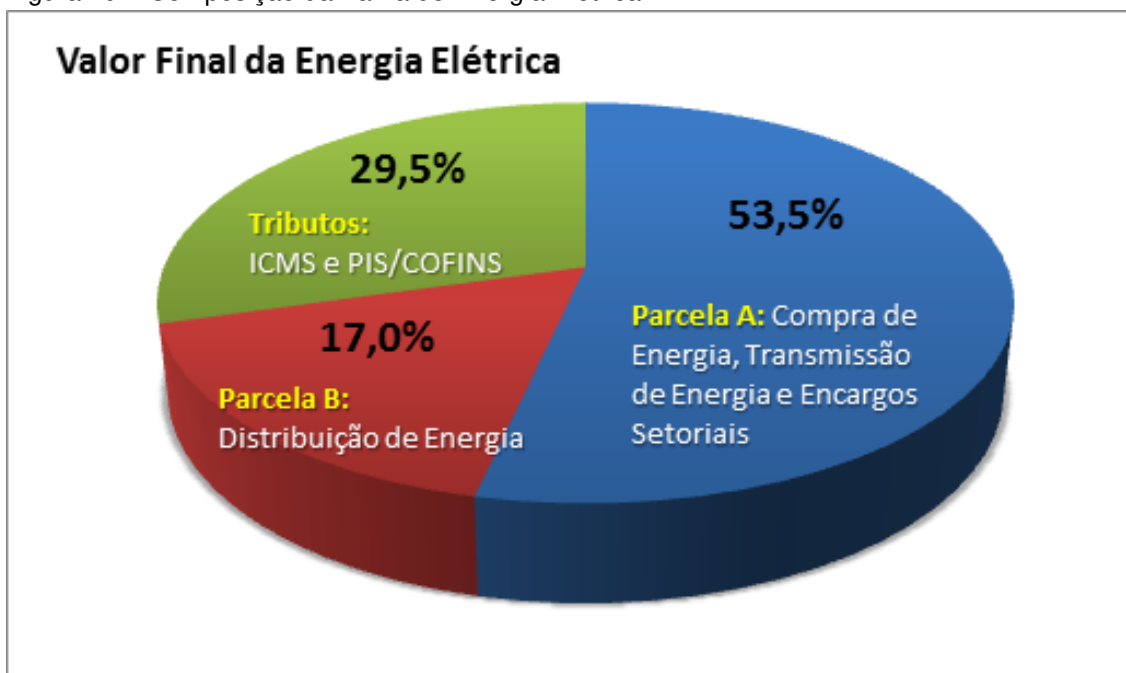
O item 3.2 apresentou os custos diretos de geração de energia na ponta e fora de ponta de um cliente com perfil de consumo bem definido, esta fase avalia qual o melhor cenário de uso do gerador para o cliente, devendo ser avaliado o cenário de geração durante todo o dia, durante o horário de ponta, durante o período seco do ano.

Os valores apresentados na Tabela 11 não consideram os tributos incidentes sobre a tarifa de energia elétrica, tais quais: ICMS, PIS e COFINS. Os preços apresentados na Tabela 12 consideram os tributos aplicados ao gás natural e ao óleo diesel. Para validar a comparação realizada, os valores das tarifas de energia serão ajustados considerando os tributos que sobre elas incidem.

A Figura 19 apresenta a composição de preço final do consumo de energia elétrica, do qual em média 29,5% é referente a tributos. Com base nesta informação, os valores apresentados na Tabela 11 são corrigidos e exibidos na

Tabela 19. Com a correção realizada, é possível analisar os cenários em que se utiliza o gerador no modo bicomcombustível.

Figura 19 – Composição da Tarifa de Energia Elétrica



Fonte: [30]

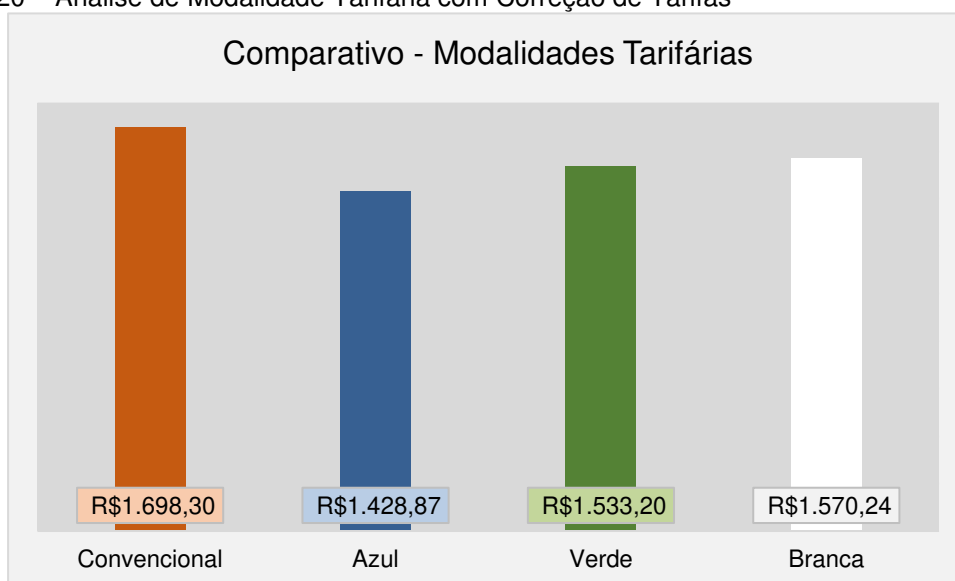
Tabela 19 – Valor das Tarifas Aplicadas à Demanda e Consumo com Impostos

	Demanda (R\$ / kW)		Consumo (R\$ / kWh)		
	Ponta	Fora de Ponta	Ponta	Fora de Ponta	Horário Intermediário
Azul	88,27	29,56	0,62	0,41	-
Verde	29,56		Ponta	Fora de Ponta	Horário Intermediário
			2,76	0,41	-
Branca	-		Ponta	Fora de Ponta	Horário Intermediário
			1,85	0,69	1,17
Monômia	-		0,85		

Fonte: [AUTOR]

Com a revisão das tarifas considerando a aplicação dos impostos, o estudo comparativo tem seus resultados apresentados na Figura 20. Não há prejuízo em relação ao estudo realizado no item 3.1, pois apenas se considerou o reajuste tarifário.

Figura 20 – Análise de Modalidade Tarifária com Correção de Tarifas



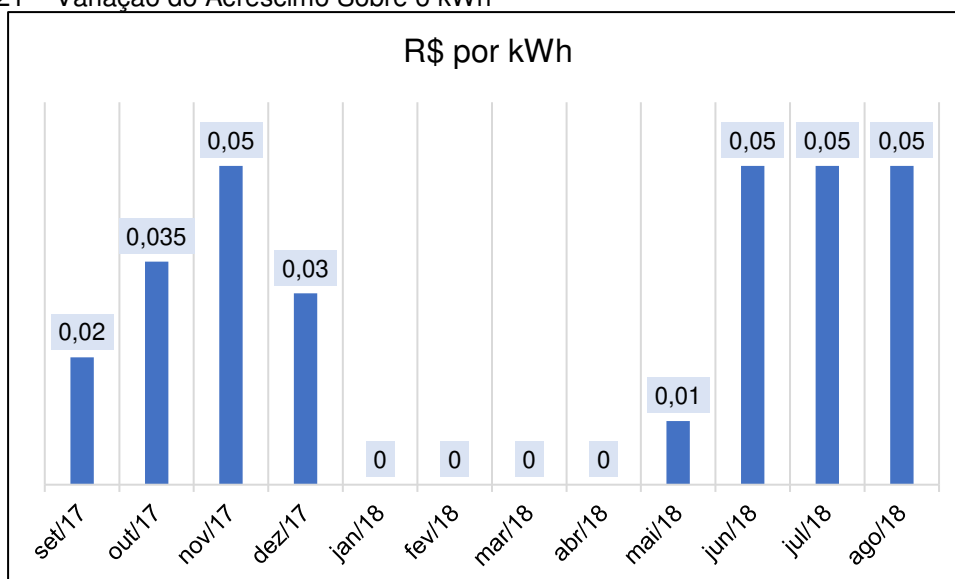
Fonte: [AUTOR]

O estudo a ser realizado também contempla avaliação da sazonalidade das tarifas de energia, ou seja, avaliação dos períodos do ano no qual a energia elétrica fica mais cara devido ao uso de fontes mais caras para geração de energia.

Considerou-se o histórico do período entre setembro de 2017 e agosto de 2018. A

Figura 21 apresenta o custo em R\$ que é acrescido ao kWh de energia ao longo do ano, havendo distinção entre o período seco no qual o nível dos reservatórios hidroelétricos diminui e é necessário fazer uso de termelétricos que possuem custo mais elevado de geração de energia, e o período úmido no qual o oposto ocorre.

Figura 21 – Variação do Acréscimo Sobre o kWh



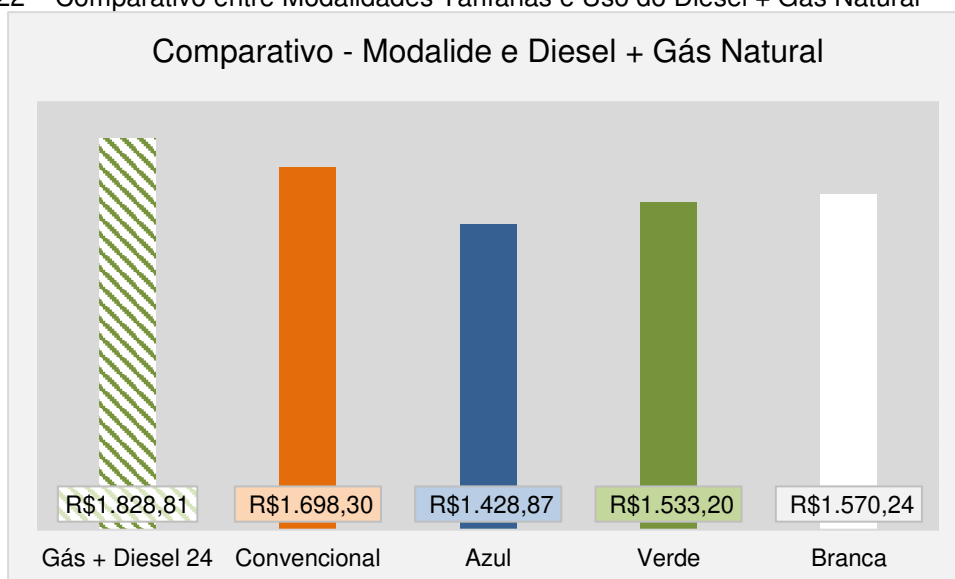
Fonte: [36]

As subseções a seguir apresentam os comparativos entre os preços a serem pagos para a concessionária de distribuição de energia e o preço a ser gasto gerando a própria energia com a combinação do diesel com gás natural.

3.3.1 Geração Durante Todo o Dia Desconsiderando Sazonalidade

Neste cenário, é avaliado o uso do gás natural juntamente com o diesel responsáveis pela geração de energia consumida no prédio em estudo durante todo o mês. A Figura 22 apresenta os valores referentes ao modelo no qual se utiliza gás natural e diesel para geração de energia elétrica durante todo o dia. Observa-se que este cenário não é favorável para a inserção de geração própria no modo bicomcombustível durante todo o dia.

Figura 22 – Comparativo entre Modalidades Tarifárias e Uso do Diesel + Gás Natural

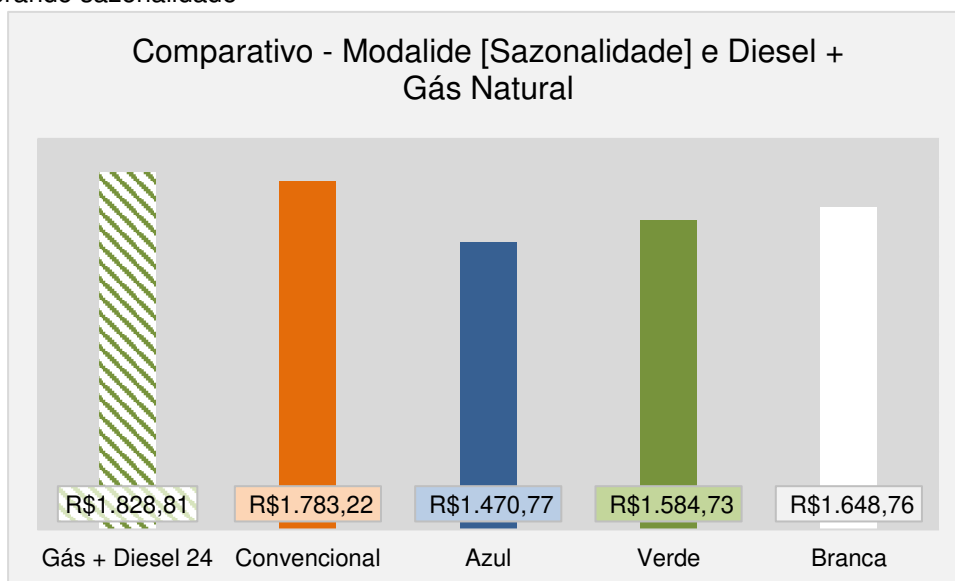


Fonte: [AUTOR]

3.3.2 Geração Durante Todo o Dia Considerando Sazonalidade

Neste cenário é analisado a variação do acréscimo repassado às tarifas durante o ano. A Figura 23 apresenta os preços das modalidades referenciados aos meses que apresentou valor máximo, para que se pudesse analisar a viabilidade do uso integral de gás natural com diesel para geração de energia elétrica. De acordo com a imagem, a sazonalidade que leva ao aumento das tarifas não justifica o implemento da geração própria e contínua de energia elétrica.

Figura 23 – Comparativo entre Modalidades Tarifárias e Uso do Diesel + Gás Natural considerando sazonalidade



Fonte: [AUTOR]

3.3.3 Geração Durante Horário de Ponta Desconsiderando Sazonalidade

Para esta análise, utiliza-se a geração independente somente no horário de ponta. O horário de ponta é tido como horário crítico para o setor elétrico, é o horário no qual a demanda por energia tem aumentado consideravelmente, solicitando maior geração de energia. Para garantir a demanda, utiliza-se de fontes de energias mais caras, logo o preço da energia fica mais cara.

Nesta etapa, a composição das tarifas é feita conforme apresentado nas tabelas anteriores, no horário de ponta entra o faturamento pelo combustível e no horário fora de ponta entra o faturamento pela modalidade tarifária avaliada. Os valores foram obtidos a partir de:

$$\text{Consumo Total} = CP \cdot CB + CFP \cdot MTA \quad (18)$$

Sendo:

CP - Consumo na Ponta;

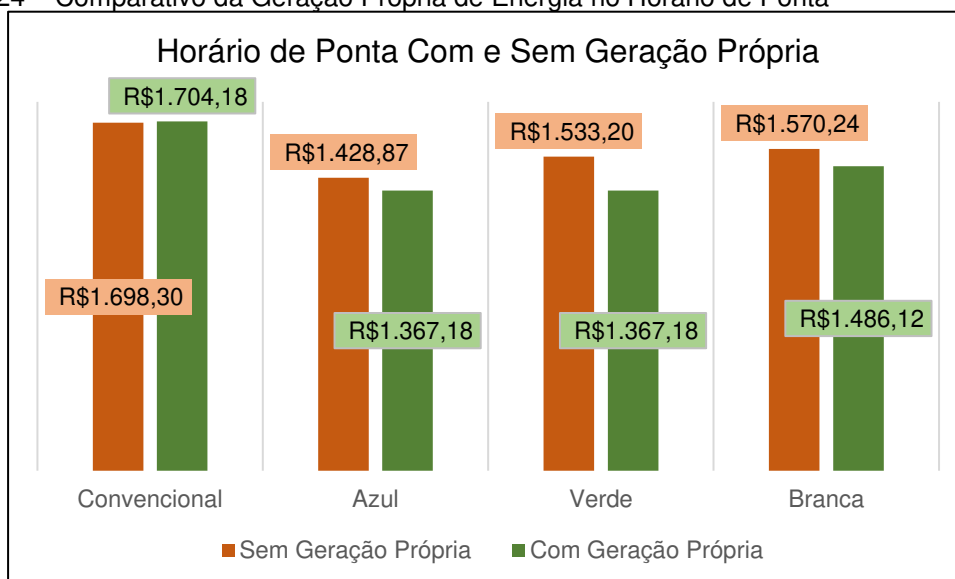
CB - Custo Bicomcombustível;

CFP - Consumo Fora de Ponta; e

MTA - Modalidade Tarifária Aplicada.

Afim de se reduzir os custos no horário, alguns clientes optam por gerar sua própria energia no horário de ponta. A Figura 24 apresenta os valores a serem gastos com energia. Este cenário é vantajoso para o cliente nas modalidades tarifárias estudadas, com exceção da modalidade convencional monômnia. As maiores reduções são obtidas na tarifa verde e azul.

Figura 24 – Comparativo da Geração Própria de Energia no Horário de Ponta



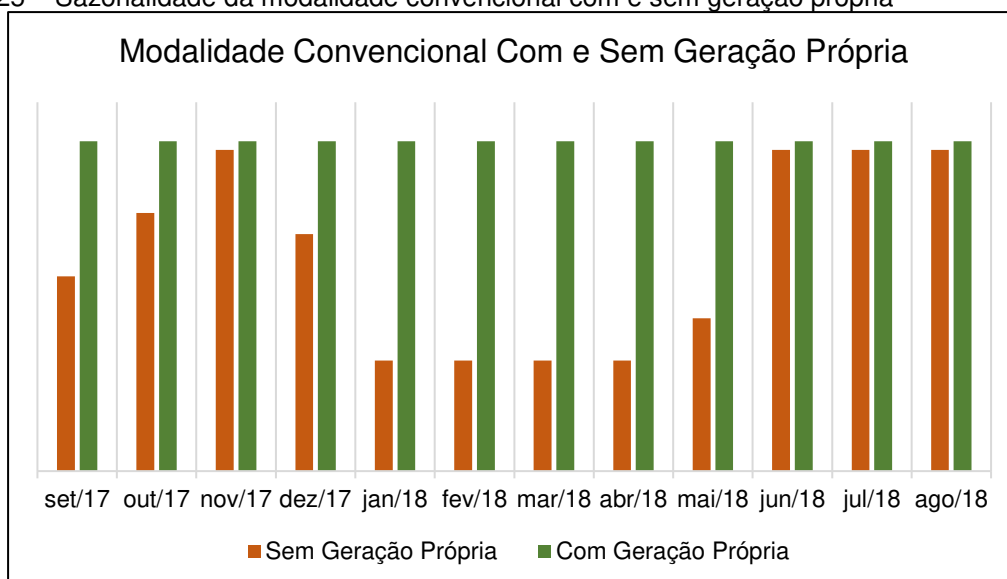
Fonte: [AUTOR]

3.3.4 Geração Durante Horário de Ponta Considerando Sazonalidade

A análise realizada em 3.3.3 viabilizou o uso do gás natural juntamente ao óleo diesel para produção de energia no horário de ponta para todas as modalidades tarifárias analisadas, com exceção da modalidade convencional. Com efeito de explorar todos os casos, foi analisado os custos com consumo de energia na modalidade tarifária convencional num horizonte de um ano sem geração própria em relação aos custos no qual se utiliza geração própria no horário de ponta.

A Figura 25 apresenta os resultados da análise realizada. Entre os meses de janeiro a abril de 2018 não se mostrou viável o uso de geração própria no horário de ponta, este período é equivalente ao período úmido no qual não se tem adicionais sobre kWh. No período seco, o uso de geração própria no horário de ponta se mostrou viável em todos os meses representando economia, sendo equivalente a 8 meses num horizonte de um ano.

Figura 25 – Sazonalidade da modalidade convencional com e sem geração própria



Fonte: [AUTOR]

3.4 ANÁLISE ECONÔMICA

Após a avaliação dos cenários, é necessário incrementar os custos com a aquisição de um kit para realizar a conversão dos geradores à diesel. Com esse custo inserido, serão feitas análises contemplando um horizonte de 12 meses e um horizonte de 10 anos para avaliar a viabilidade desta conversão.

Para realizar as análises serão utilizados os seguintes métodos: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Índice de Lucratividade (IL). Estes indicadores são aplicados quando deseja-se saber dado uma periodicidade para retorno do investimento, o mesmo é viável considerando a desvalorização do capital investido.

Para cálculo do VPL e do IL é escolhida uma taxa de desconto para o capital investido, à esta taxa será associado a SELIC, esta escolha se dá para que se contabilize o rendimento do projeto superior ou igual ao que esse valor poderia render no mercado financeiro. O atual valor da taxa SELIC, que será utilizado neste trabalho, está em torno de 6,5%.

Conforme Equação 19, o cálculo do VPL pode ser feito através de:

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1 + TD)^j} - \text{Investimento Inicial} \quad (19)$$

Em que:

FC - Fluxo de Caixa;

TD - Taxa de Desconto; e

j - período de cada fluxo de caixa.

O cálculo da TIR é realizado conforme a equação 20.

$$0 = \sum_{j=0}^n \frac{FC_j}{(1 + TIR)^j} \quad (20)$$

Sendo:

FC – Fluxo de Caixa;

TIR – Taxa Interna; e

j – período de cada fluxo de caixa.

Para se determinar o IL, utiliza-se a expressão a seguir:

$$IL = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1 + TD)^j} \cdot \left(\frac{1}{I_0}\right) \quad (21)$$

Em que:

FC – Fluxo de Caixa;

TD – Taxa de Desconto;

j – período de cada fluxo de caixa; e

I₀ = Investimento Inicial.

O cliente estudado nesta metodologia não possui gerador a diesel, portanto não será incluída, neste capítulo, a análise econômica pois o consumidor em estudo não possui gerador à diesel. A análise econômica é feita considerando um cenário de conversão de um gerador existente para operar no modo bicombustível.

3.5 RESULTADOS

Após as análises realizadas, pode-se concluir que sem uso de geração própria, a melhor modalidade tarifária para o cliente é a modalidade tarifária azul.

Na avaliação para geração durante todo o dia não houve êxito sobre nenhuma das tarifas, independente de se considerar sazonalidade.

Para o cenário de uso da geração própria no horário de ponta, foram obtidos resultados positivos para as modalidades azul e verde com as maiores reduções de preço para a modalidade branca. A modalidade convencional foi estudada considerando ao longo do ano a aplicação da geração distribuída e houve vantagens neste modelo em 8 meses do período seco.

A Tabela 20 apresenta o resumo das análises realizadas com o consumidor estudado neste capítulo.

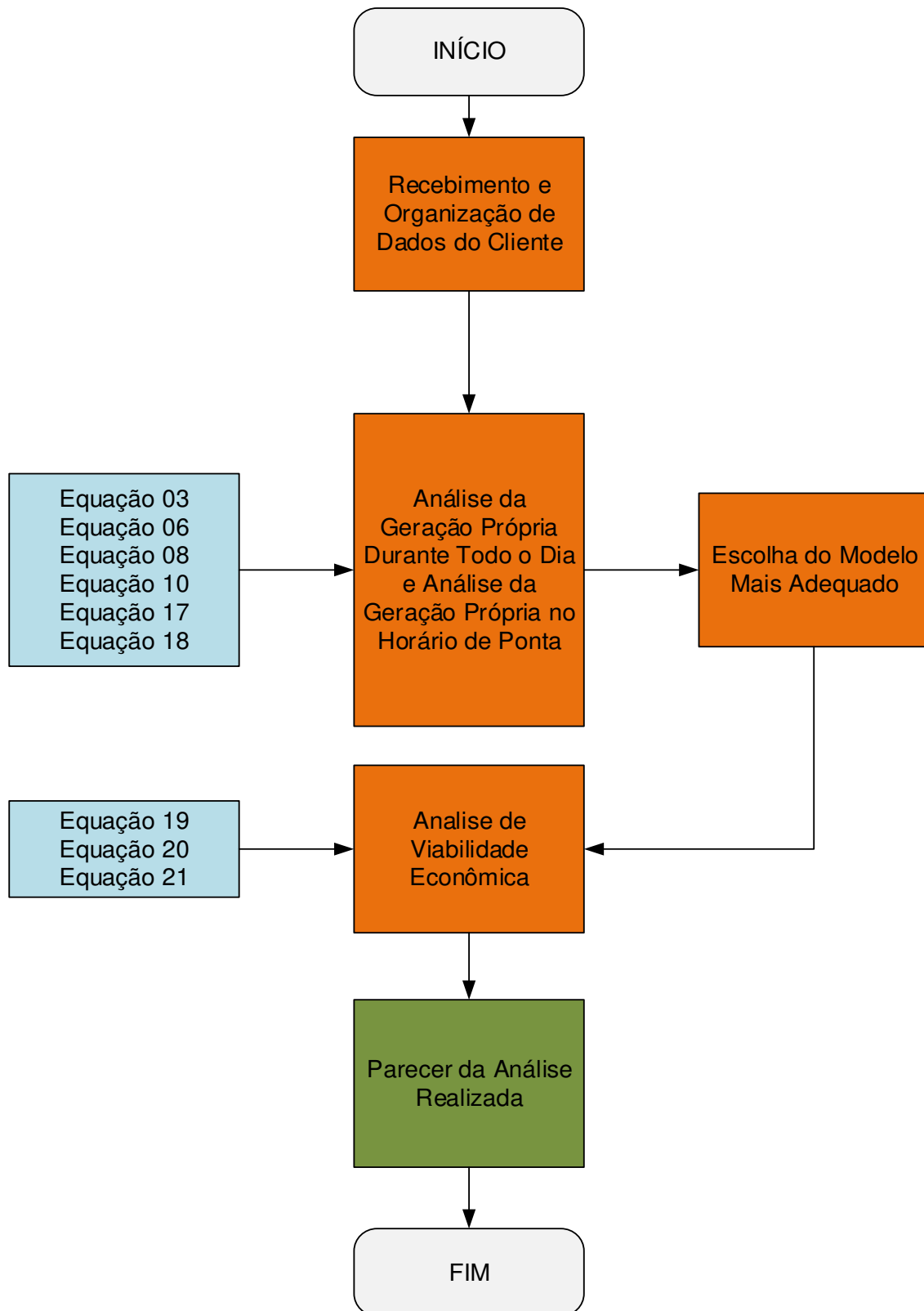
Tabela 20 – Análise de Resultados dos Modelos Propostos

	Azul	Verde	Branca	Convencional	Inviável
Sem Geração Própria	X				
Cenário 01					X
Cenário 02					X
Cenário 03	X	X			
Cenário 04	X	X			

Fonte: Autor

A viabilidade econômica não foi calculada nesta metodologia porque este cliente não possui gerador, este cálculo será realizado no próximo capítulo. A Figura 26 apresenta o resumo da metodologia apresentada neste capítulo e que será utilizada no capítulo seguinte.

Figura 26 – Fluxo da Metodologia



Fonte: [AUTOR]

4 ESTUDO DE CASO E RESULTADOS

A metodologia exposta no capítulo 3 é aplicada neste capítulo para realização do estudo na área escolhida.

4.1 REGIÃO ESTUDADA

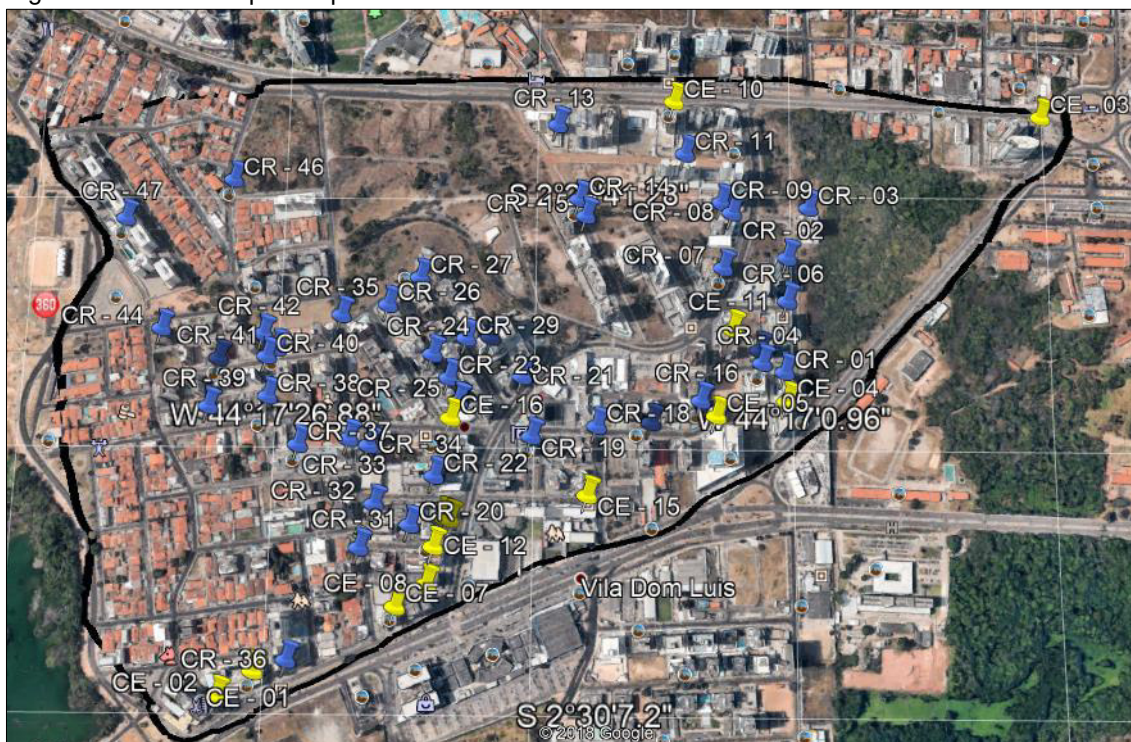
Para realização do estudo, foi delimitada uma área no bairro do Renascença, em São Luís do Maranhão. A escolha da região foi feita levando-se em consideração a grande quantidade de prédios residenciais e comerciais que a região abriga.

O estudo realizado é baseado no consumo de energia elétrica e no gerador que o consumidor possui, a análise da implantação da rede de gasodutos pela distribuidora não será realizada por não fazer parte do escopo do trabalho.

A escolha de uma determinada região é importante, pois consegue levantar o perfil de demanda dessa região e assim determinar o potencial que a área tem como mercado consumidor de energia. Para o processo de distribuição, esta informação é importante para que se possa estabelecer uma logística adequada de distribuição do gás natural.

A Figura 27 exibe a área em estudo, a qual está demarcada pelo contorno preto. Em amarelo e com iniciais CE, estão representados os Centros Empresariais, totalizando 16 prédios. Em azul e com iniciais CR, estão representados os Centros Residenciais, totalizando 47 prédios.

Figura 27 – Área Mapeada para Estudo



Fonte: [AUTOR]

Durante o desenvolvimento do trabalho os prédios mapeados foram contatados para agendamento de visitas para conhecer a infraestrutura da rede elétrica, características dos geradores e dados de potência instalada, porém pela indisponibilidade ou por algumas regras internas essa abordagem não pôde ser aplicada. Somente os prédios comerciais conseguiram fornecer informações, as quais foram retiradas de conta de energia e foram utilizadas para traçar o perfil dos consumidores, que é apresentado a seguir.

4.2 PERFIL DOS CONSUMIDORES

No total, 05 prédios comerciais forneceram dados de consumo através de suas contas de energia, estes dados estão resumidos na Tabela 21. São 03 clientes pertencentes ao grupo B, da subclasse B3, com tensão de fornecimento igual a 220 V. Os outros 02 clientes são do grupo A, subclasse A4, com tensão de fornecimento igual a 13,8 kV.

Tabela 21 – Dados dos Consumidores Analisados

Consumidor	Contratual	Consumo FP (kWh)	Consumo P (kWh)	Demanda FP (KW)	Demanda Ponta (KW)
Prédio 01	A4 / 13.8 kV / 125 kW	37172	4171	125	15
Prédio 02	B/B3	2272	620	8	3
Prédio 03	B/B3	4913	1340	17	5
Prédio 04	A4 / 13.8 kV / 145 kW	30587	2280	145	11
Prédio 05	B/B3	4373	1193	15	5

Fonte: [AUTOR]

As seções seguintes irão apresentar os resultados das análises feitas com os dados do Prédio 01, representando os consumidores da classe A e o Prédio 03, representando os consumidores da classe B. Estes prédios foram escolhidos por apresentarem o maior consumo dentro dos seus grupos de consumo.

Por conta do enquadramento destes clientes, há limitação na migração que os mesmos podem fazer. O Prédio 01 está enquadrado na modalidade verde, somente podendo migrar para azul, para migrar para convencional ou branca teria que migrar para o grupo B-optante, porém teria de ter potência instalada inferior a 112,5 kW.

O Prédio 03, de acordo com sua tensão de fornecimento, só pode migrar para a modalidade branca, uma vez que está enquadrado na modalidade convencional.

4.3 CENÁRIOS DE USO DO GÁS NATURAL

Esta seção apresenta a simulação dos cenários para que sejam filtrados os casos para análise econômica.

4.3.1 Geração Durante Todo o Dia Desconsiderando Sazonalidade

Este cenário considera geração própria no modo bicomustível durante todo o mês por parte dos clientes. A Figura 28 exibe o comparativo para o Prédio 01 se o mesmo gerasse sua própria energia durante o dia todo utilizando gás e diesel, foi verificado que neste cenário o cliente teria custos maiores.

Nesta primeira análise, seria aconselhável que o Prédio 01 migrasse para a modalidade tarifária azul. Estando o cliente 01 nessa modalidade, os custos seriam mais factíveis, conforme gráfica da Figura 28.

Figura 28 - Comparativo entre Modalidades Tarifárias e Uso do Diesel + Gás Natural [Prédio 01]

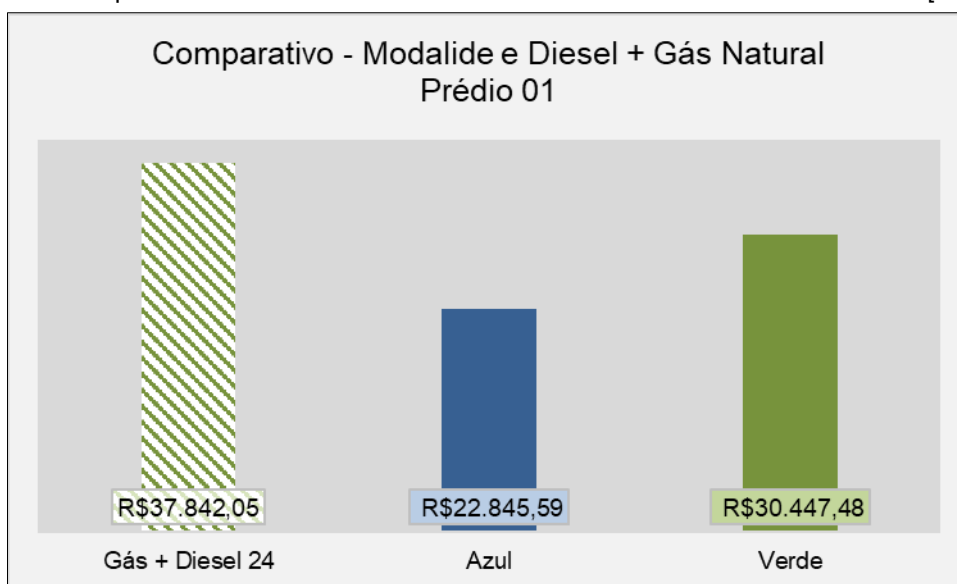
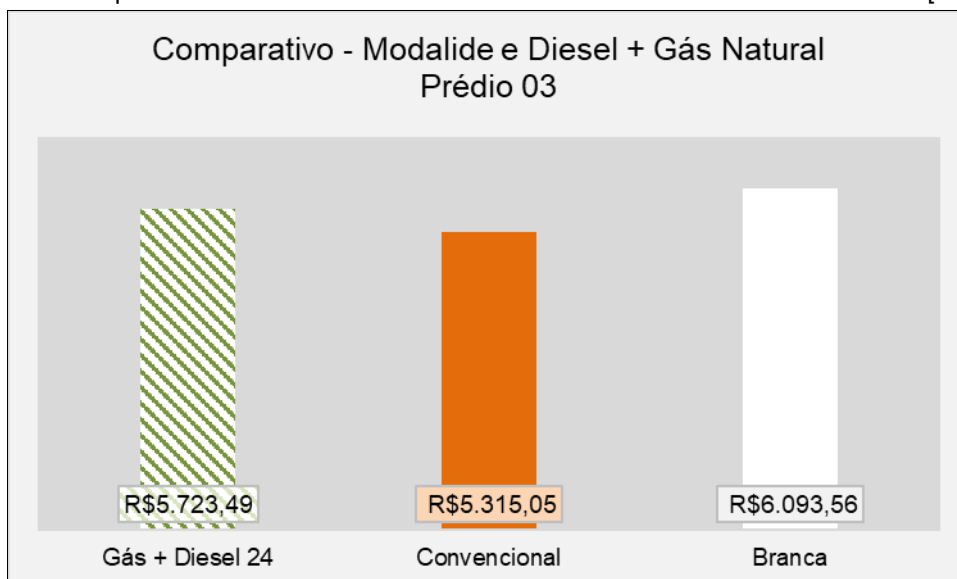


Figura: [AUTOR]

A Figura 29 exibe a mesma análise para o Prédio 03, este já teria economia se estivesse enquadrado na tarifa branca, mas comparando os cenários é mais interessante para o cliente se manter na tarifa convencional que os custos são inferiores para a compra de energia.

Figura 29 - Comparativo entre Modalidades Tarifárias e Uso do Diesel + Gás Natural [Prédio 03]



Fonte: [AUTOR]

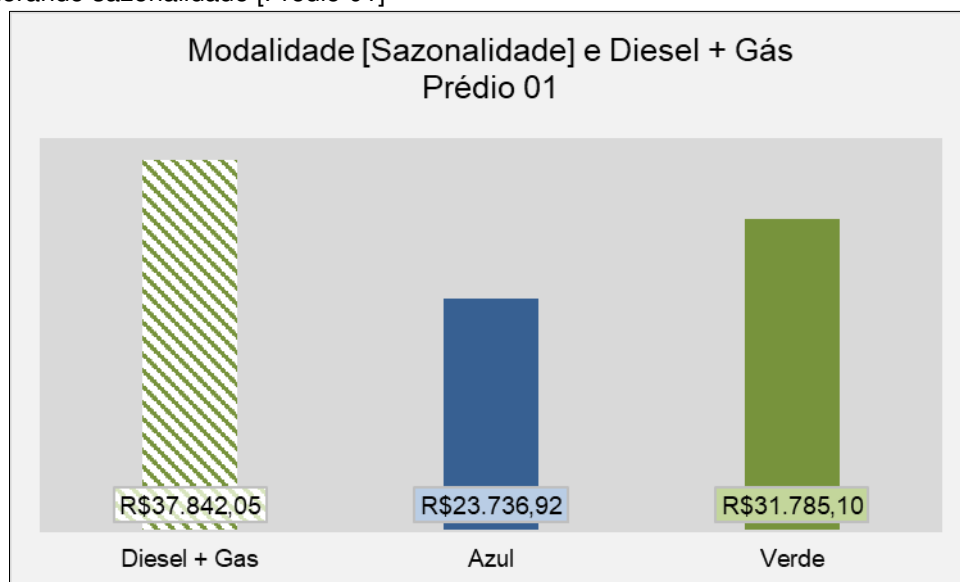
4.3.2 Geração Durante Todo o Dia Considerando Sazonalidade

Neste cenário é comparado a geração própria de energia durante todo o dia no período em que as tarifas estão mais elevadas. Para o Prédio 01 será realizado a análise com a tarifa azul e verde. Para o Prédio 03 será realiza a

análise para a tarifa convencional, isto porque a tarifa branca já apresenta valor superior a geração própria.

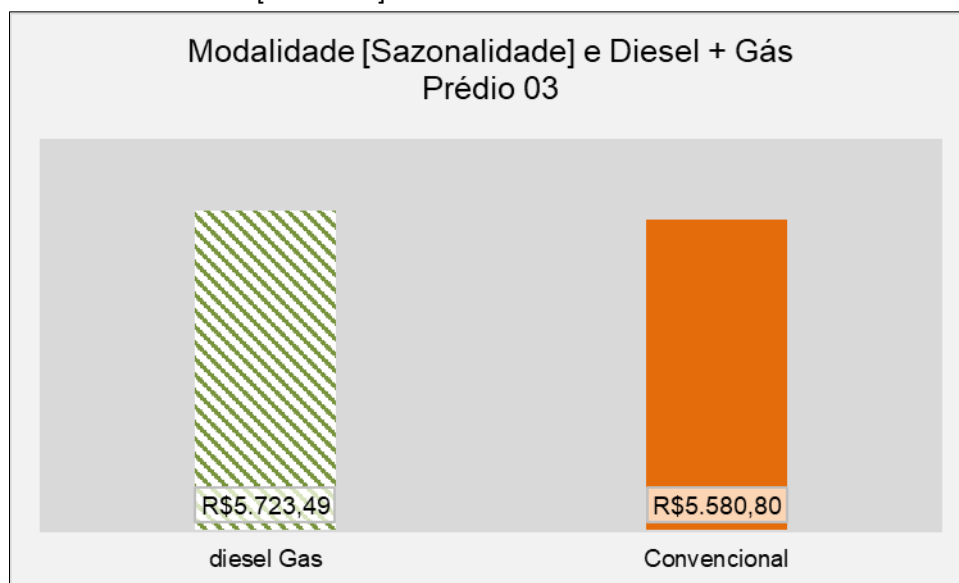
A Figura 30 apresenta a análise realizada para o Prédio 01 quando se tem o maior valor de tarifa por parte da concessionária, ainda neste cenário não seria vantajoso para o cliente utilizar de geração própria. A Figura 31 apresenta a análise feita da geração durante o dia todo no período que a tarifa está mais cara e ainda assim não se obteve vantagem com este modelo. Sendo assim, as considerações feitas para os prédios na seção 4.3.1 permanecem as mesmas.

Figura 30 - Comparativo entre Modalidades Tarifárias e Uso do Diesel + Gás Natural considerando sazonalidade [Prédio 01]



Fonte: [AUTOR]

Figura 31 - Comparativo entre Modalidades Tarifárias e Uso do Diesel + Gás Natural considerando sazonalidade [Prédio 03]



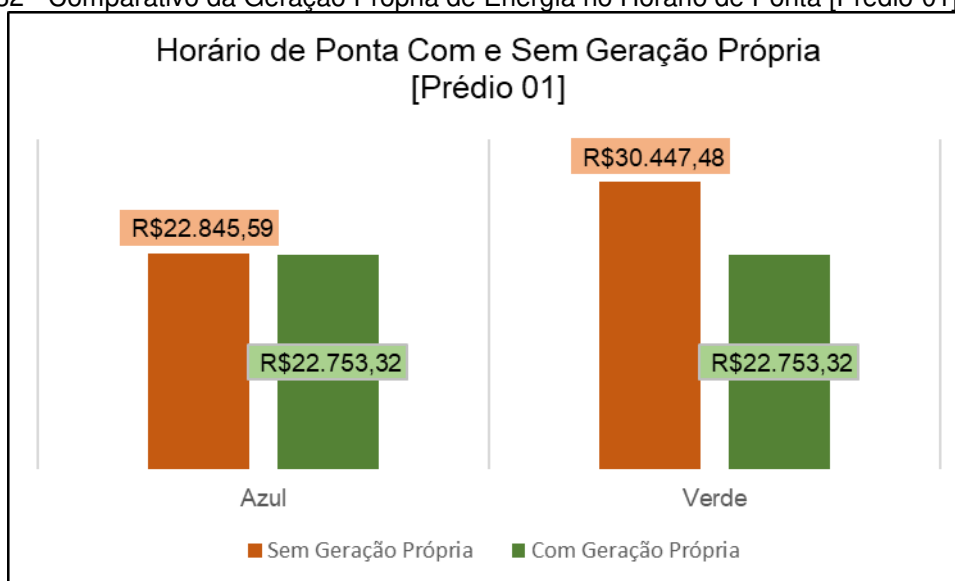
Fonte: [AUTOR]

4.3.3 Geração Durante Horário de Ponta Desconsiderando Sazonalidade

Este cenário compara o modelo com uso de geração própria no horário de ponta com o modelo sem geração própria no horário de ponta. As tarifas de energia utilizadas são as mais baixas, ou seja, o menor valor de tarifa a ser atingido em um ano considerando a sazonalidade de preços.

A Figura 32 exibe os comparativos da geração própria no horário de ponta, em ambas as modalidades tarifárias seria obtido desconto. Os valores ficariam iguais, dado as tarifas que são aplicadas fora de ponta serem iguais para ambas as modalidades. Sendo assim, este cenário será explorado na análise de viabilidade por conta do desconto obtido.

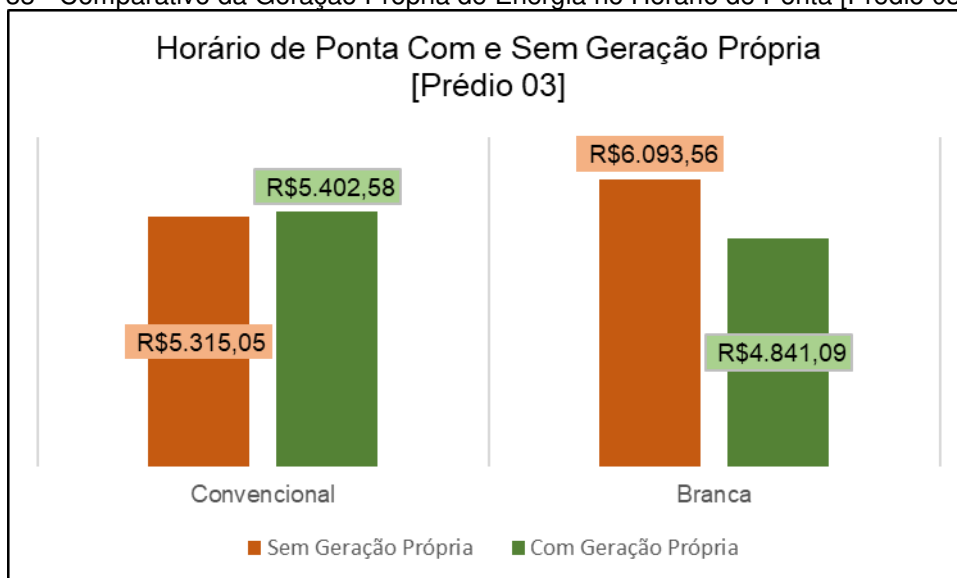
Figura 32 - Comparativo da Geração Própria de Energia no Horário de Ponta [Prédio 01]



Fonte: [AUTOR]

A Figura 33 exibe os comparativos da geração própria, no modelo tarifário branco haveria vantagem na inserção do gerador no horário de ponta, enquanto que para a tarifa convencional o mesmo não ocorre. Neste cenário, é aconselhável que o cliente migre para a tarifa branca e utilize o gerador no horário de ponta.

Figura 33 - Comparativo da Geração Própria de Energia no Horário de Ponta [Prédio 03]



Fonte: [AUTOR]

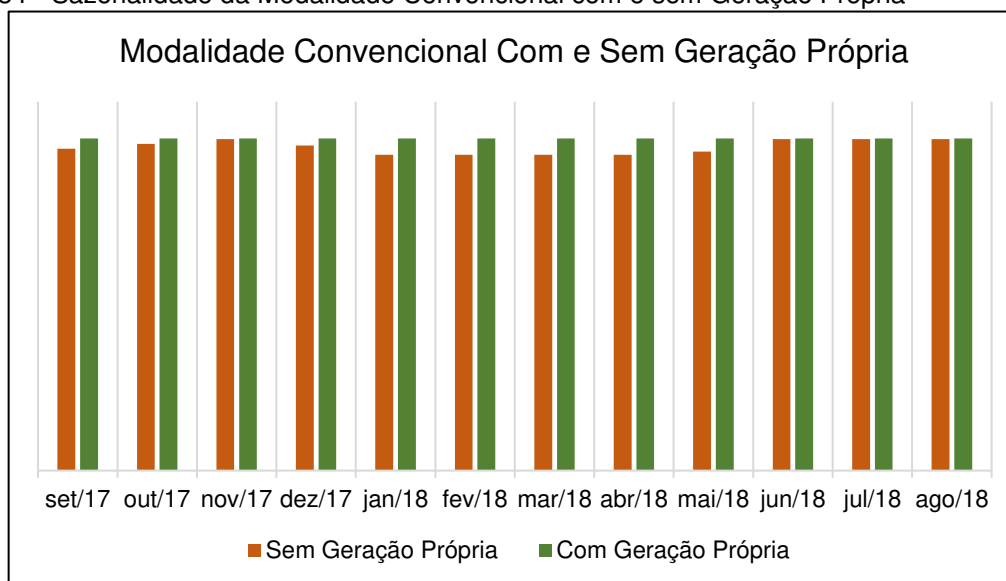
4.3.4 Geração Durante Horário de Ponta Considerando Sazonalidade

Nesta análise deve ser considerado os cenários em que o gerador bicomcombustível no horário de ponta não apresentou vantagem sobre a modalidade

em comparação. Neste caso é necessário avaliar o valor das tarifas ao longo do ano no intuito de verificar se a gerador no horário de ponta pode trazer economia.

De acordo com a Figura 34, não há vantagem no uso do gerador no modo bicomcombustível no horário de ponta para o Prédio 03. Sendo assim, as seções a seguir explorarão o modelo do gerador bicomcombustível no horário de ponta, considerando que o Prédio 01 ficando com a modalidade verde e o Prédio 03 ficando com a modalidade branca.

Figura 34 - Sazonalidade da Modalidade Convencional com e sem Geração Própria

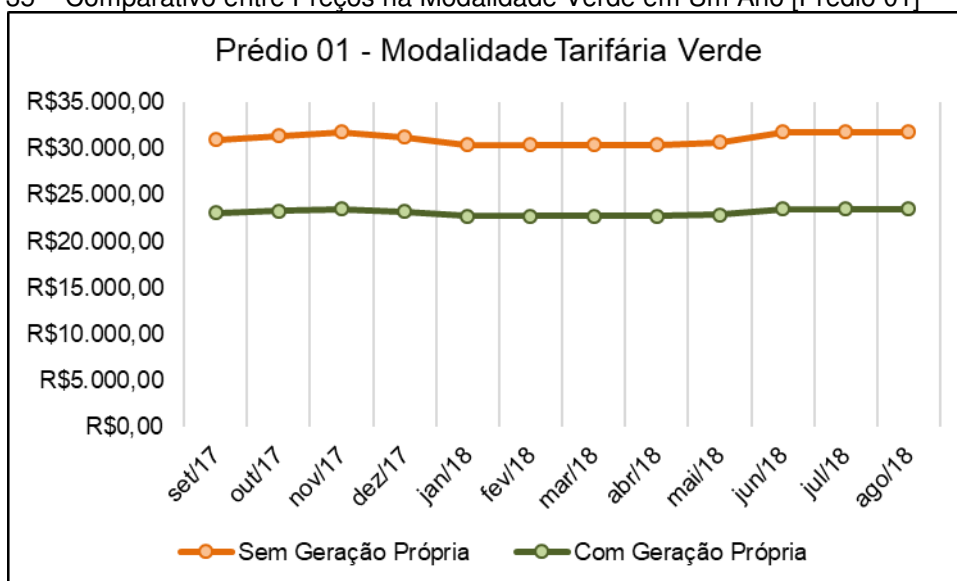


Fonte: [AUTOR]

4.4 ANÁLISE ECONÔMICA DO INVESTIMENTO

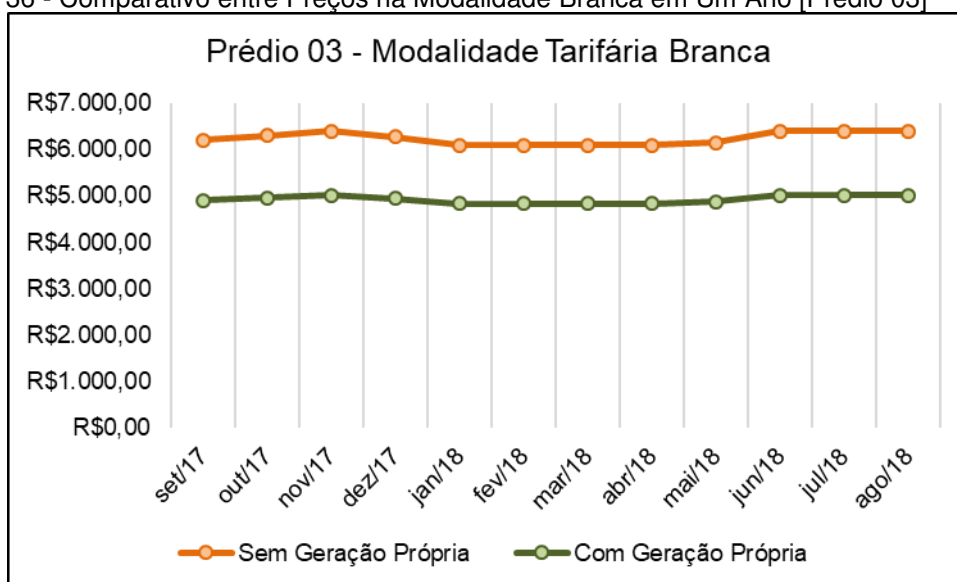
Num horizonte de doze meses e dez anos, será avaliado a economia com uso do gás natural e do diesel para gerar energia elétrica no horário de ponta. Será utilizada a modalidade verde para o Prédio 01 e a modalidade branca para o Prédio 03. A Figura 35 e a Figura 36 apresentam as variações anuais para as modalidades nas quais os prédios estão enquadrados.

Figura 35 – Comparativo entre Preços na Modalidade Verde em Um Ano [Prédio 01]



Fonte: [AUTOR]

Figura 36 - Comparativo entre Preços na Modalidade Branca em Um Ano [Prédio 03]



Fonte: [AUTOR]

O Prédio 01 gerador com potência total de 230 kVA, conforme exibido na Figura 37.

Figura 37 – Placa de Identificação do Gerador do Prédio 01

STEMAC	
PRODUTO:	MODELO:
USCA: <input checked="" type="checkbox"/> SINGELO <input type="checkbox"/> PARALELO	<input type="checkbox"/> ST2030 <input type="checkbox"/> ST2080 <input type="checkbox"/> DS2060 <input type="checkbox"/> MANUAL <input type="checkbox"/> ST2040 <input type="checkbox"/> ST2090 <input type="checkbox"/> DS2080 <input type="checkbox"/> STELECOM <input type="checkbox"/> ST2060 <input type="checkbox"/> ST2130 <input type="checkbox"/> DS2090 <input checked="" type="checkbox"/> DS 7310
PESO: _____ Kg REF: _____	
TRANSFERÊNCIA <input type="checkbox"/> LOCAL <input checked="" type="checkbox"/> QTA <input type="checkbox"/> QTM <input type="checkbox"/> QTA/QTM <input type="checkbox"/> S/TRANSFERÊNCIA <input type="checkbox"/> CTA	
MOTOBOMBA <input type="checkbox"/> ST2000N <input type="checkbox"/> NFPA20	
ELETROBOMBA <input type="checkbox"/> BJE-302 <input type="checkbox"/> FBE	
<input type="checkbox"/> MSA2000 <input type="checkbox"/> REVERSORA	
VCC: <input checked="" type="checkbox"/> 12V <input type="checkbox"/> 24V <input type="checkbox"/> 48V	
POTÊNCIA: 230 KVA/ 380 VCA POTÊNCIA: _____ CV	
FREQ: <input checked="" type="checkbox"/> 60Hz <input type="checkbox"/> 50Hz	
Nº: 1206056 DATA: 03/08/12	
AV. SERTÓRIO, 905- PORTO ALEGRE-RS FONE: (51) 2131-3800 www.stemac.com	

Fonte: [AUTOR]

O Prédio 03 possui gerador com 135 kVA, cuja placa de identificação é mostrada na Figura 38.

Figura 38 – Placa de Identificação do Gerador do Prédio 03

NEGRINI		ALTERNADOR SÍNCRONO				
Tipo	ATE	Potência	135	KVA	Nº	
Fases	3	Tensão	220	280		Vca
CosØ	0,8	Corrente	355	200		Aca
Hz	60	Excitação	65	Vcc		Acc
R.P.M.	1800	Serviço	CONT	Peso		Kg
Δt °C	100	Cl. Isol.	F	Data		
LEON HEIMER INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA. Fábrica: R. Hilário Negrini, 240 - Francisco Morato - SP Telefone: (011) 438 2622 - Fax.: (011) 438-2078 CGC 10.805.893/04-49 - Indústria - Sileira						

Fonte: [AUTOR]

Os custos com o sistema para conversão dos geradores foram conseguidos com representante da empresa Marine Oil & Gás Energy

Solutions™ - MOG. O valor do sistema a ser empregado no gerador do prédio 01 é R\$ 35.000,00 e o no gerador do Prédio 03 é R\$ 30.000,00.

Para os custos com a manutenção dos geradores utilizou-se os valores informados em [23], no qual é associado um valor de R\$ 0,05 por kWh gerado. Estas informações estão combinadas e apresentadas na Tabela 22, estes valores serão utilizados para o cálculo do VPL, da TIR e do IL.

Tabela 22 – Resumo da Produção e Custos dos Geradores

	Prédio 01	Prédio 03
Potência	230 kVA	135 kVA
Produção Mensal kwh	4171	1340
Custo Mensal de Manutenção	R\$208,55	R\$67,00
Custo Conversão	R\$35.000,00	R\$30.000,00

Fonte: [AUTOR]

O cálculo do VPL considera o cenário da geração no horário de ponta para ambos os prédios. Será comparado o cenário sem o uso da geração própria no horário de ponta e o cenário com o uso da geração própria, este último cenário engloba o investimento inicial e o desconto mensal com manutenção do gerador. Os valores referenciados das tarifas será uma média para o período analisado.

As análises realizadas para o Prédio 01 foram feitas com base no modelo tarifário verde. A Tabela 23 apresenta a análise do VPL para o Prédio 01, no final de doze meses tem-se uma economia de R\$ 90.952,58 com o implemento do sistema de conversão do gerador.

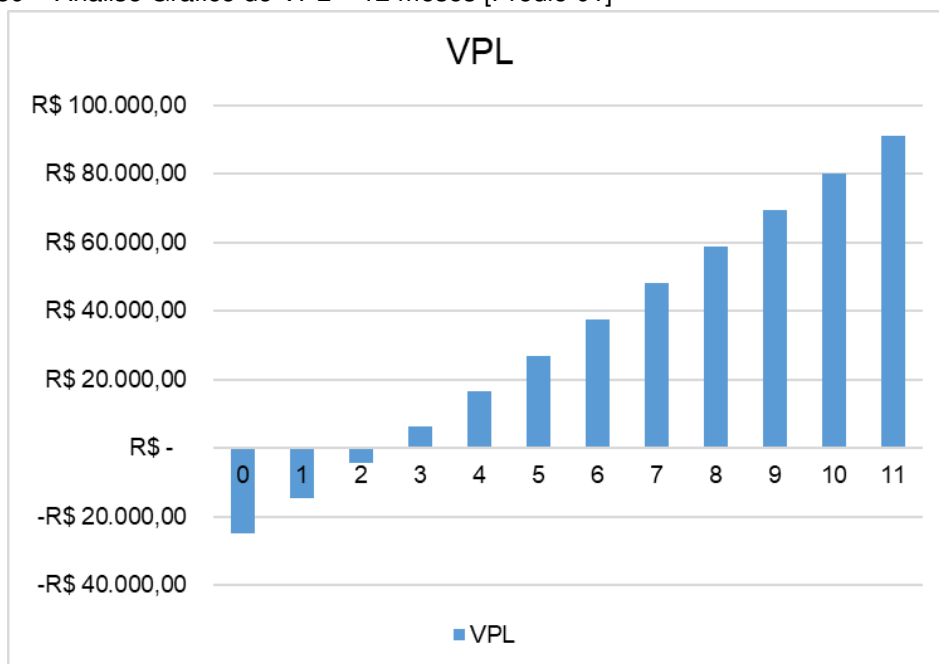
Tabela 23 – Análise de VPL Aplicado ao Prédio 01 [12 meses]

Prédio 01		
Período	Sem Geração Própria	Com Geração Própria
1	-R\$31.105,15	-R\$55.910,96
2	-R\$62.374,82	-R\$76.932,53
3	-R\$93.809,90	-R\$98.065,30
4	-R\$125.411,25	-R\$119.309,84
5	-R\$157.179,77	-R\$140.666,77
6	-R\$189.116,32	-R\$162.136,65
7	-R\$221.221,80	-R\$183.720,11
8	-R\$253.497,10	-R\$205.417,73
9	-R\$285.943,13	-R\$227.230,12
10	-R\$318.560,77	-R\$249.157,89
11	-R\$351.350,96	-R\$271.201,64
12	-R\$384.314,58	-R\$293.362,00

Fonte: [AUTOR]

A TIR deste cenário de investimento é de 40,83%, superior à taxa de desconto de 6,5% utilizada como base. De acordo com a Figura 39 pode-se perceber que a partir do 3º mês já se obtém economia em termos gerais ao se utilizar o modelo da geração própria no horário de ponta.

Figura 39 – Análise Gráfico do VPL – 12 meses [Prédio 01]



Fonte: [AUTOR]

A análise foi realizada para o prédio 01 considerando o período de 10 anos, os resultados são exibidos na Tabela 24. Ao final de 10 anos, o investimento em geração própria apresenta economia de R\$ 966.741,24.

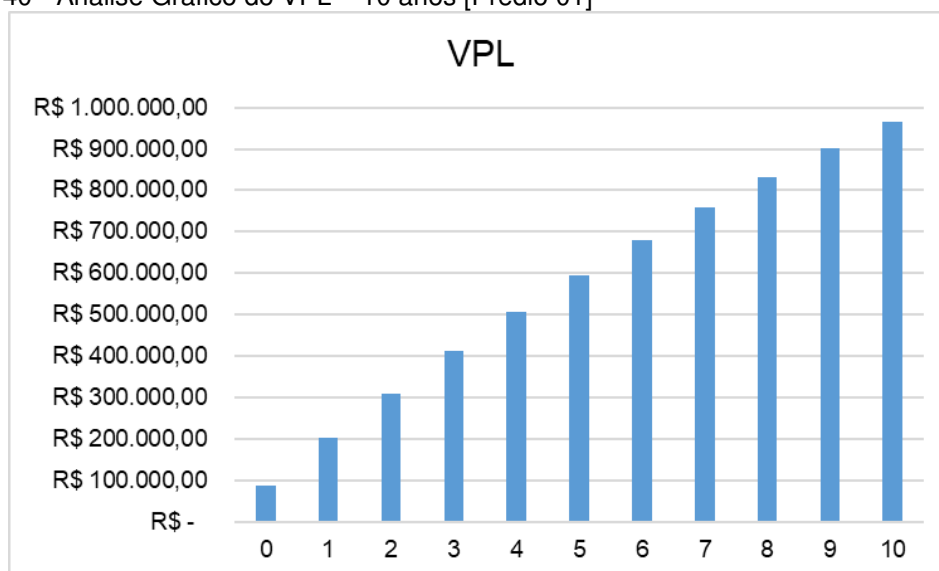
Tabela 24 - Análise de VPL Aplicado ao Prédio 01 [10 anos]

Prédio 01		
Período	Sem Geração Própria	Com Geração Própria
0	-R\$373.261,74	-R\$285.931,54
1	-R\$723.742,25	-R\$521.548,01
2	-R\$1.052.831,93	-R\$742.784,13
3	-R\$1.361.836,32	-R\$950.517,58
4	-R\$1.651.981,29	-R\$1.145.572,46
5	-R\$1.924.417,88	-R\$1.328.722,58
6	-R\$2.180.226,88	-R\$1.500.694,53
7	-R\$2.420.423,13	-R\$1.662.170,53
8	-R\$2.645.959,52	-R\$1.813.791,19
9	-R\$2.857.730,77	-R\$1.956.158,01
10	-R\$3.056.577,02	-R\$2.089.835,78

Fonte: [AUTOR]

O IL calculado para este cenário de investimento foi igual a 27, ou seja, o quanto o consumidor terá economizado dado o investimento inicial realizado. A Figura 40 demonstra a economia acumulada obtida durante o período estipulado, cabendo ressaltar que no primeiro ano já há economia com implemento do sistema.

Figura 40 - Análise Gráfico do VPL – 10 anos [Prédio 01]



Fonte: [AUTOR]

A Tabela 25 apresenta os resultados para a análise do VPL para o Prédio 03. Foi utilizado o modelo tarifário branco. Ao final de 12 meses, os custos com a geração própria são superiores aos custos sem que houvesse conversão do gerador e inserção do mesmo no horário de ponta. Sendo assim, para este cliente somente seria economicamente inviável migrar para a tarifa branca. O prejuízo financeiro seria de R\$ 30.781,18.

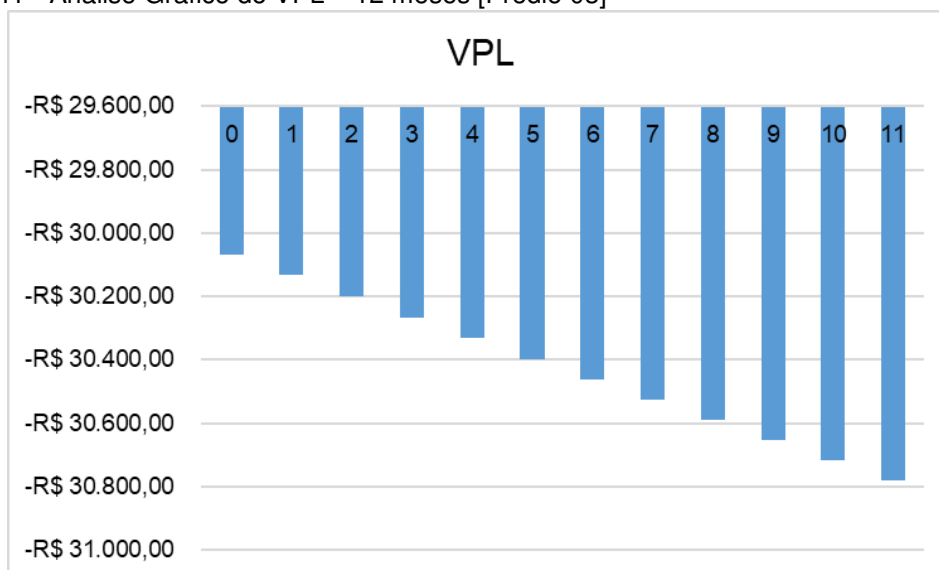
Tabela 25 – Análise de VPL Aplicada ao Prédio 03 [12 meses]

Prédio 03		
Período	Sem Geração Própria	Com Geração Própria
1	-R\$6.243,36	-R\$36.310,37
2	-R\$12.453,88	-R\$42.587,53
3	-R\$18.631,71	-R\$48.831,67
4	-R\$24.777,04	-R\$55.042,95
5	-R\$30.890,04	-R\$61.221,55
6	-R\$36.970,87	-R\$67.367,64
7	-R\$43.019,70	-R\$73.481,39
8	-R\$49.036,71	-R\$79.562,97
9	-R\$55.022,06	-R\$85.612,55
10	-R\$60.975,91	-R\$91.630,31
11	-R\$66.898,44	-R\$97.616,39
12	-R\$72.789,81	-R\$103.570,99

Fonte: [AUTOR]

A Figura 41 demonstra o prejuízo financeiro cumulativo durante o período analisado. A TIR não pôde ser calculada neste cenário.

Figura 41 - Análise Gráfico do VPL – 12 meses [Prédio 03]



Fonte: [AUTOR]

A análise foi realizada contemplando um período de 10 anos, os resultados desta análise são demonstrados na Tabela 26. Ao final de 10 anos, o Prédio 03 gastará R\$ 36.583,82 a mais se optar pelo modelo com geração própria.

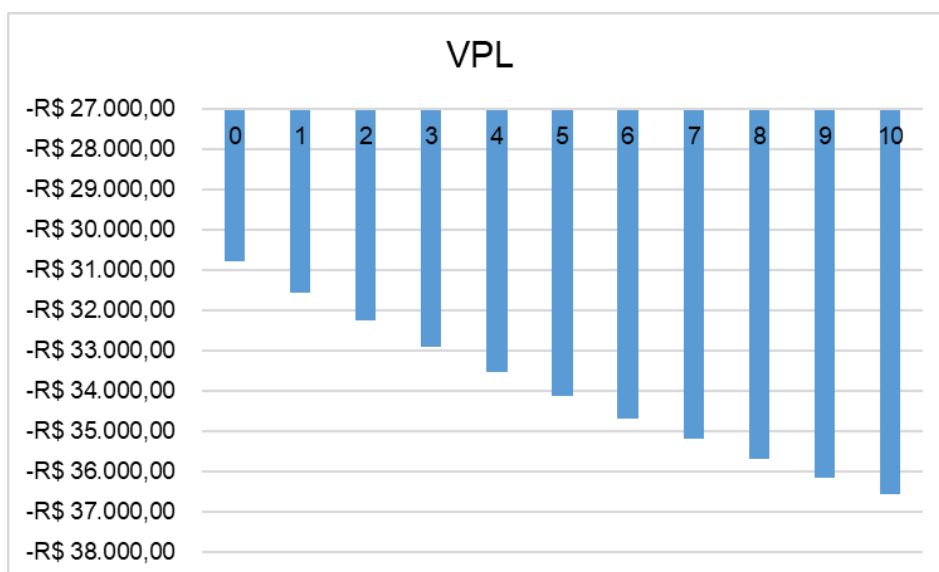
Tabela 26 – Análise de VPL Aplicada ao Prédio 03 [12 meses]

Prédio 03		
Período	Sem Geração Própria	Com Geração Própria
0	-R\$74.920,37	-R\$105.724,37
1	-R\$145.268,14	-R\$176.827,06
2	-R\$211.322,37	-R\$243.590,16
3	-R\$273.345,14	-R\$306.278,51
4	-R\$331.582,47	-R\$365.140,81
5	-R\$386.265,41	-R\$420.410,58
6	-R\$437.610,90	-R\$472.307,07
7	-R\$485.822,62	-R\$521.036,17
8	-R\$531.091,84	-R\$566.791,20
9	-R\$573.598,16	-R\$609.753,67
10	-R\$613.510,19	-R\$650.094,01

Fonte: [AUTOR]

A Figura 42 apresenta a análise gráfica do VPL, o prejuízo cumulativo com o investimento é demonstrado. Neste cenário não foi possível calcular IL.

Figura 42 - Análise Gráfico do VPL – 10 anos [Prédio 03]



Fonte: [AUTOR]

5 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou um estudo sobre o uso do gás natural para geração de energia elétrica, com foco em prédios comerciais. O trabalho abordou a estrutura do mercado de gás natural, as perspectivas para os próximos anos e o faturamento do combustível.

Em seguida foi abordado os modelos tarifários vigentes no mercado, os quais foram utilizados para composição da metodologia e análises de cenários. Os estudos foram realizados com um cliente do grupo A e um cliente do grupo B, para que se pudesse verificar a aplicabilidade do modelo para cada um.

Após as simulações, foi escolhido a modalidade tarifária verde com inserção da operação bicomcombustível no horário de ponta para o prédio 01, e modalidade tarifária branca com inserção de operação bicomcombustível no horário de ponta para o prédio 03. Utilizando os indicadores de viabilidade, somente o prédio 01 teria vantagem se optasse por geração própria.

Com os resultados obtidos é notável que o gás natural é uma alternativa interessante para operação em complemento ao óleo diesel no horário de ponta. Além do ponto de vista financeiro, como apresentado no trabalho, os aspectos ambientais, eficiência e performance tornam o gás natural atrativo para operação no modelo proposto no trabalho.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros é interessante que se estude uma quantidade maior de clientes, sendo possível levantar a demanda potencial de consumidores de gás natural. Também é interessante que sejam avaliados cenários de cogeração, dado a eficiência térmica que a operação bicomcombustível apresenta.

Além disso, fica como recomendação, a realização de um estudo que possa analisar a curva de geração de um gerador bicomcombustível em termos de eficiência volumétrica, de forma que se possa determinar de forma mais assertiva a razão entre os combustíveis na operação composta.

6 BIBLIOGRAFIA

- EPE, “Matriz Energética e Elétrica,” [Online]. Available:
1] <http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>.
[Acesso em 14 Julho 2018].
- ABEGÁS, “O combustível - Composição Gás Natural,” [Online]. Available:
2] <https://www.abegas.org.br/portal/o-combustivel/>. [Acesso em 14 Julho
2018].
- R. ALMEIDA, “Entenda porque o Metano é um combustível limpo,” Folha
3] de S. Paulo, 17 Fevereiro 2005. [Online]. Available:
<https://educacao.uol.com.br/vestibular>. [Acesso em 16 Dezembro 2018].
- S. L. RAGA e R. H. PEREIRA, “O Gás Natural como substituto do Óleo
4] Diesel,” [Online]. Available:
<http://www.nuca.ie.ufrj.br/bgn/bv/tnpetroleo.htm>. [Acesso em 15 Julho
2018].
- ANP, “Dados Estatísticos,” ANP, 05 Outubro 2016. [Online]. Available:
5] <http://ww.anp.gov.br/dados-estatisticos>. [Acesso em 14 Julho 2018].
- R. H. PEREIRA, S. L. BRAGA e C. V. M. BRAGA, “Microsoft Word -
6] EBPMG_PUC-Rio.doc,” [Online]. Available:
[http://www.workoutenergy.com.br/publicacao_vencontro/trabalhos_tecnic
os/download/ricardo_hernandez.pdf](http://www.workoutenergy.com.br/publicacao_vencontro/trabalhos_tecnicos/download/ricardo_hernandez.pdf). [Acesso em 15 Julho 2018].
- CPOWER, “Central Power Systems & Services,” 2015. [Online]. Available:
7] <https://cpower.com/PDF/InfoSheets/40.pdf>. [Acesso em 8 Novembro
2018].
- EPE, “Balanço Energético Nacional 2018: Ano base 2017,” Empresa, Rio
8] de Janeiro, 2018.

- 9] K. THEINNOI, P. SUKSOMPONG e W. TEMWUTTHIKUN, "Engine Performance of Dual Fuel Operation with In-cylinder Injected Diesels Fuels and In-Port Injected DME," *Energy Procedia*, vol. I, nº 142, pp. 461-467, 2017.
- 10] F. B. OLIVEIRA e M. V. M. PEREIRA, "Desenvolvimento de kit para conversão de motores diesel estacionários de geradores para operar com mistura diesel-gás natural," *Caderno de Publicações Acadêmicas*, p. 61, 30 Novembro 2011.
- 11] M. MOHAMMAD e M. EHSANI, "arXiv.org," 6 Novembro 2015. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1512.01421>. [Acesso em 6 Dezembro 2018].
- 12] L. WEI e P. GENG, "A review on natural gas/diesel dual fuel combustion, emissions and performance," *Fuel Processing Technology*, pp. 264-278, 26 Outubro 2015.
- 13] GASNET, "GasNet - O Site do Gás Natural e GNV," GasNet, 2013. [Online]. Available: <http://www.gasnet.com.br/index.asp>. [Acesso em 24 10 2018].
- 14] A. A. OCHOA, H. DINIZ, W. SANTANA, P. SILVA e L. OCHOA, "Aplicação de uma Fonte Alternativa de Energia Termelétrica a Gás Natural Visando Reduzir o Custo com Energia Elétrica em um Edifício Comercial," *Redalyc*, vol. I, pp. 72-86, 2015.
- 15] FGV, "Gás Natural," *Cadernos FGV Energia*, p. 80, Novembro 2014.
- 16] CTGÁS, "Conceito de Gás Natural," em *Cromatografia e Qualidade do Gás Natural*, 2010, pp. 1-27.
- 17] AVATA, "Oil & Gas Supply Chain Integration | AVATA Cloud Integration," Avata, 2018. [Online]. Available: <https://avata.com/oil-gas>. [Acesso em 06 Dezembro 2018].

- 18] ANP, “Boletim de Recursos e Reservas de Petróleo e Gás Natural 2017,” 2018.
- 19] OECD/IEA, “Gas 2018,” OECD/IEA, 2018. [Online]. Available: <https://www.iea.org/>. [Acesso em 24 10 2018].
- 20] PETROBRAS, “Gás Natural Industrial: Combustão Limpa e Eficiente,” [Online]. Available: <http://www.petrobras.com.br/pt/produtos-e-servicos/produtos/industriais/gas-natural-industrial/>. [Acesso em 16 Dezembro 2018].
- 21] R. Andreos, “Abinee tec 2017,” 07 Julho 2017. [Online]. Available: <http://www.tec.abinee.org.br/2017/>. [Acesso em 15 Dezembro 2018].
- 22] FIRJAN, Dezembro 2011. [Online]. Available: <http://www.firjan.com.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=2C908A8F4EBC426A014EC144CB142B50>. [Acesso em 27 Outubro 2018].
- 23] GASBRASILIANO, “guia-de-cogeracao-formatado.pdf,” Abril 2016. [Online]. Available: <http://www.gasbrasiliano.com.br/media/upload/informacoes-tecnicas/arquivo/guia-de-cogeracao-formatado.pdf>. [Acesso em 29 Outubro 2018].
- 24] W. BRANCO, “Slide 1,” 19 Dezembro 2011. [Online]. Available: http://www.gasescombustiveis.com.br/encontroglp/PALESTRAS/WAGNER_BRANCO/EFICIENCIA_PROC_COMBUSTAO_GAS_WAGNER_BRANCO.pdf. [Acesso em 31 Outubro 2018].
- 25] Comgas, “Geração de energia a gás natural,” Comgas, 2018. [Online]. Available: <https://www.comgas.com.br/para-industria/geracao-de-energia-a-gas-natural/>. [Acesso em 17 Dezembro 2018].

- 26] C. MANSOUR, A. BOUNIF, A. ARIS e F. GAILLARD, "Gas-Diesel (dual-fuel) modeling in diesel engine environment," *International Journal of Thermal Sciences*, pp. 409-424, 7 Julho 2000.
- 27] S. IMRAN, D. R. EMBERSON, A. DIEZ, D. S. WEN, R. J. CROOKES e T. KORAKIANITIS, "Natural gas fueled compression ignition engine performance and emissions maps with diesel and RME pilot fuels," *Applied Energy*, pp. 354-365, 4 Abril 2014.
- 28] R. H. PEREIRA, "Avaliação Experimental e Previsão do Desempenho de Motores Diesel Consumindo Gás Natural," PUC-RIO, Rio de Janeiro, 2006.
- 29] ABRADEE, "Tarifas de Energia - Abradee - Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica," [Online]. Available: <http://www.abradee.com.br/setor-de-distribuicao/tarifas-de-energia/tarifas-de-energia>. [Acesso em 13 Outubro 2018].
- 30] ANEEL, "Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL," 3 Abril 2012. [Online]. Available: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012479.pdf>. [Acesso em 12 Outubro 2018].
- 31] TRADENER, "Tarifa binômia de fornecimento: o que é e quais suas vantagens?," TRADENER, 17 04 2018. [Online]. Available: http://www.tradener.com.br/atualidades_detalhes/tarifa-binomia-de-fornecimento:-o-que-e-e-quais-suas-vantagens. [Acesso em 18 10 2018].
- 32] EPE, "Anuário Estatístico de Energia Elétrica," Rio de Janeiro, 2018.
- 33] CEMAR, "HOME | CEMAR - Agência WEB," CEMAR, 23 10 2018. [Online]. Available: <http://www.cemar116.com.br/home>.
- 34] MME, "Minas e Energia," Ministério de Minas e Energia, 2018. [Online]. Available: <http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-combustiveis-renovaveis/publicacoes/boletim-mensal-de>

acompanhamento-da-industria-de-gas-natural/2018. [Acesso em 05 Dezembro 2018].

35] tecnogera, "Gerador a diesel ou a gás? Saiba a diferença!," Tecnogera, 1 Junho 2017. [Online]. Available: <https://www.tecnogera.com.br/blog/gerador-a-gas-ou-a-diesel-saiba-a-diferenca>. [Acesso em 13 Dezembro 2018].

36] SULGIPE, "Sulgipe | Início," Companhia Sul Sergipana de Eletricidade - SULGIPE, 2018. [Online]. Available: <http://www.sulgipe.com.br/>. [Acesso em 24 Novembro 2018].

37] CÉGAS, "Equivalência Energética - Cégas," Cégas Gás Natural, 2018. [Online]. Available: <http://www.cegas.com.br/gas-natural/equivalencia-energetica/>. [Acesso em 05 Dezembro 2018].