



GÁS **NATURAL:** O energético mais competitivo.



João Pedro Braga Teixeira

GÁS
NATURAL:
O energético
mais competitivo.



SECRETARIA DE
INFRAESTRUTURA



João Pedro Braga Teixeira

GÁS NATURAL: O energético mais competitivo.



2015

GÁS NATURAL:

O energético mais competitivo

Copyright © 2015, João Pedro Braga Teixeira
Todos os direitos são reservados no Brasil.

ADQUIRA O LIVRO FÍSICO AQUI

www.podeditora.com.br



O AUTOR responsabiliza-se inteiramente pela originalidade e integridade do conteúdo da sua OBRA, bem como isenta a EDITORA de qualquer obrigação judicial decorrente da violação de direitos autorais ou direitos de imagem contidos na OBRA, que declara, sob as penas da Lei, ser de sua única e exclusiva autoria.

PoD Editora

Rua Imperatriz Leopoldina, 8, sala 1110 - Pça Tiradentes
– Rio de Janeiro - RJ

Tel. 21 2236-0844 • www.podeditora.com.br
atendimento@podeditora.com.br

Diagramação: Pod Editora

Capa: Agência Única

Impressão e Acabamento: Pod Editora

Imagens: Arquivo Bahiagás

Nenhuma parte desta publicação pode ser utilizada ou reproduzida em qualquer meio ou forma, seja mecânico, fotocópia, gravação, nem apropriada ou estocada em banco de dados sem a expressa autorização do autor.

CIP-Brasil. Catalogação-na-Fonte
Sindicato Nacional dos Editores de Livros, RJ

T266g

Teixeira, João Pedro Braga

GÁS NATURAL: O energético mais competitivo / João Pedro Braga Teixeira - Rio de Janeiro: PoD, 2015.

100 p. : il. ; 24 cm.

Inclui bibliografia e ilustrações

ISBN 978-85-5589-001-7

1. Gás natural. 2. Energia - Fontes alternativas. 3. Recursos energéticos - Aspectos ambientais. 4. Indústria petrolífera - Brasil. I. Título.

15-29074

CDD: 333.790981

CDU: 620.91(81)

14.12.15

Aos meus pais, meus ídolos que permanecem vivos em meu coração e pensamento, pela minha criação, amor eterno e esforço incansável para garantir meu sucesso profissional e como ser humano.

Agradecimentos

À minha querida família, minha esposa Gabriela e nosso João Pedro Filho, pelo apoio em todos os momentos e a inspiração de continuar aprendendo.

Aos professores Alex Álisson Santos e Lílian Lefol Guarieiro, pelas orientações e contribuições valiosas indispensáveis a este trabalho.

À Bahiagás, pela confiança e infraestrutura, em especial aos diretores Luiz Raimundo Gavazza e José Eduardo Barretto, aos gerentes Luciene Lopo, Luiz Carlos Nogueira, José Carlos Bittencourt e Isis Macagnan, e à analista Nívia Cohen.

Ao deputado federal Davidson Magalhães, pelo apoio fundamental a esta obra.

Prefácio

Se este livro se ativesse apenas a uma abordagem genérica acerca do desenvolvimento da indústria do Gás Natural no Brasil, já teria sido de grande valia a sua contribuição para o tema, tendo em vista que ainda é muito escassa a bibliografia sobre o assunto no país. A obra justificaria a sua existência somente por contemplar os leitores interessados na temática, em particular, e a todo o público que a acessasse, em geral, com uma considerável atualização do estado da arte da matéria em questão. Mas o trabalho vai muito além. Irrompe os umbrais do processo descritivo e avança pelas fronteiras do analítico. Associa-se de maneira direta ao procedimento do fazer científico, ao esboçar uma proposta metodológica para análise do seu objeto.

Uma dupla contribuição, então, presta o livro do João Pedro Braga Teixeira 'Gás Natural: o energético mais competitivo'. A de cooperar com a produção de conteúdo sobre o Gás Natural, um energético em franca expansão no país, mas sem uma devida repercussão acadêmica que acompanhe a pujança do seu avanço. E a concorrência com o desenvolvimento científico, por intermédio da proposição de uma metodologia de exame da competitividade do combustível frente a outras fontes de energia.

O método proposto pelo autor pretende superar o modo comparativo habitual. Ao complexificar o processo analítico de comparação entre as vantagens e desvantagens dos energéticos, avançando sobre o binômio preço/poder calorífico, a proposta de metodologia apresentada neste texto visa à construção de uma plataforma de análise capaz de balizar as escolhas dos consumidores, inicialmente nos segmentos residencial e comercial, acerca das alternativas energéticas, levando em consideração uma gama mais ampla de fatores. Tais quais: o preço, poder calorífico, tipo de equipamento utilizado, eficiência dos equipamentos e custos de operação e manutenção.

Uma honra para a Companhia de Gás da Bahia (BahiaGás), contar com funcionários que não apenas contribuam cotidianamente com o seu desenvolvimento, como busquem, por intermédio dos seus processos de formação acadêmica, favorecer o alargamento do campo de conhecimento em torno do mercado de Gás Natural. Honradez semelhante para este escrevinhador, ora no comando desta Companhia, em poder prefaciá-la esta obra, resultado do esforço de pesquisa, do labor analítico e descritivo, e da capacidade de compreensão do autor.

Convicção de um exercício enriquecedor e capaz de agregar conteúdo para quem apreciar esta obra. Uma forte esperança se coloca, de que a reper-

cussão deste material inspire o autor a avançar sobre o tema e a brindar os leitores com mais informações, e com aprofundamentos sobre aspectos relevantes abordados pelo livro. Conhecimento. Preservação do meio ambiente. Ganhos energéticos para o país. Estes são alguns dos aspectos para os quais este material concede enorme contributo.

Votos de muito sucesso para o trabalho e de excelente leitura para quem tiver em mãos este livro.

Luiz Gavazza

Diretor Presidente da Bahiagás

Os primeiros registros relativos ao gás natural remontam à Antiguidade. A Ásia e o Oriente Médio foram as primeiras regiões a terem contato com o energético. A relação dos seres humanos com o gás passou, naquela época, por interpretações mitológicas. Os primeiros relatos de seu uso como combustível procedem da China Antiga, onde o gás natural era utilizado na secagem de pedras de sal.

Locais onde o carburante emanava espontaneamente para a atmosfera eram considerados sagrados. Ainda hoje ardem, em alguns lugares do mundo, “fogueiras de chamas naturais” como a existente em Murchison, na Nova Zelândia, onde, segundo a lenda, em 1920 caçadores jogaram ao chão um fósforo aceso, inflamando um bolsão de gás metano que emanava continuamente do subsolo.

Entre o simples descarte e alguns usos rudimentares, o gás natural fez parte de processos produtivos de distintos grupos sociais. Somente a partir do século XVIII, o combustível passa a ter um uso mais sistemático na Ásia, Europa e Estados Unidos, para iluminação e cocção de alimentos.

A Bahia é o berço da indústria petrolífera no Brasil, tendo a primeira produção de petróleo e gás associado ocorrido no histórico campo de Lobato, no Recôncavo Baiano, nos idos de 1939. Desta forma, ocorreu também na Bahia a primeira utilização do gás natural no país, atendendo, nos primeiros anos, algumas poucas indústrias do próprio Recôncavo.

A partir da década de 70, o gás natural passou a ser um importante vetor da industrialização e da própria economia baiana, contribuindo para implantação de grandes indústrias na região metropolitana de Salvador, e para a viabilização do Polo Industrial de Camaçari.

A grande expansão do energético no mercado brasileiro somente ocorreria a partir da década de 80, com o início da produção do gás natural na Bacia de Campos, suplementado, a partir da década de 90, com a importação do gás da Bolívia. Desde então, o combustível tem conquistado espaço relevante na matriz energética do país.

Antes disso, o gás canalizado utilizado em algumas cidades do Brasil, inicialmente para iluminação e depois para aquecimento e cocção, era produzido a partir do carvão e, posteriormente, a partir da nafta.

A construção de grandes gasodutos cruzando diversos países, e o advento do Gás Natural Liquefeito - GNL permitiu, nas últimas décadas, a movimentação de um enorme volume de gás natural entre os maiores produtores e consumidores mundiais deste energético. Restrições ambientais e de segurança, crises no setor de petróleo e a ampliação da demanda de energia elétrica permitiu que o gás natural ocupasse um lugar de destaque na matriz energética mundial, tendo o Brasil acompanhado esta tendência.

A despeito da antiga relação do homem com o gás natural e dos consideráveis avanços no seu suprimento, as abordagens científicas, o conhecimento e as formas de uso desse carburante ainda são insuficientes, principalmente no Brasil. Mais reduzidos ainda são os enfoques relativos a aspectos metodológicos.

Estudar o gás natural e as suas diversas formas de uso, coloca o pesquisador num locus privilegiado, tanto pela relevância intrínseca da temática, quanto pela parca produção em torno do assunto no Brasil. Estes aspectos circunscrevem a importância deste trabalho e a valia da sua leitura. Convido então a você, leitor, a se apropriar do conteúdo deste livro e a conhecer as características que fazem do gás natural, um dos mais avançados energéticos da sua categoria.

Digno de elogio, portanto, o empenho do autor na definição do tema, no modo de abordagem, no esforço analítico, na proposição da metodologia e na clareza da conclusão. O doutorando, João Pedro Braga Teixeira, presta assim um relevante aporte neste campo do seu interesse, e também de sua área de atuação profissional e acadêmica. Que a esperada repercussão positiva deste trabalho inspire o autor e outros estudiosos ao aprofundamento deste assunto, através de futuras e enriquecedoras investigações sobre tão importante tema.

José Eduardo Lima Barretto
Ex-Diretor Técnico e Comercial da Bahiagás
e atual Consultor da Lima Barretto Consult

Apresentação

Este livro traz para o leitor uma metodologia mais completa para análise da competitividade do gás natural, nos segmentos residencial e comercial, incluindo fatores até então ignorados em análises mais generalistas.

Dividido em quatro partes, o livro inicia com uma breve descrição do cenário energético para o gás natural nos segmentos abordados, seguido de uma revisão literária de toda a cadeia produtiva, que reforça e dá subsídio para o estudo da competitividade do energético.

Na terceira parte são apresentados os métodos de avaliação de competitividade entre os energéticos, iniciando pelo método tradicional de comparação do custo específico, que analisa apenas o preço e o poder calorífico. Depois, é proposto o método de comparação específica por setor, no qual é possível calcular o custo total de cada opção energética para atender a cada demanda do consumidor, considerando, além de preço e poder calorífico, outros fatores específicos, como o tipo de aplicação, a faixa de consumo, o tipo de equipamento utilizado, a eficiência energética dos equipamentos e os custos de operação e manutenção. Por fim, são apresentados os resultados encontrados, disponibilizando ao leitor uma ferramenta de comparação muito útil para a tomada de decisões.

Com esse livro, o mercado de gás natural nos segmentos residencial e comercial ganha mais um reforço para pesquisas e desenvolvimentos a serem realizados.

Luciene Lopo

Gerente Comercial Varejo da Bahiagás

Sumário

Agradecimentos	9
Prefácio	11
Apresentação	15
1. Introdução	19
2. A indústria do gás natural	25
2.1 Características e propriedades do gás natural.....	25
2.2 Aplicações do gás natural.....	30
2.3 Cadeia produtiva do gás natural.....	31
2.4 Aspectos regulatórios.....	32
2.5 Distribuição do gás natural.....	35
2.6 Comercialização do gás natural.....	37
2.7 Panorama do setor residencial.....	40
2.7.1 Estudos de caso no setor residencial.....	42
2.8 Panorama do setor comercial.....	45
2.8.1 Estudos de caso no setor comercial.....	47
2.9 Eficiência energética de equipamentos.....	51
2.10 Competitividade entre energéticos.....	55
3. Métodos de avaliação de competitividade	59
3.1 Método de avaliação tradicional.....	59
3.1.1 Energéticos avaliados.....	60
3.1.2 Poderes caloríficos superiores.....	60
3.1.3 Preços médios dos energéticos.....	61
3.2 Método de avaliação pelo custo total.....	62
3.2.1 Setor residencial.....	64
3.2.2 Setor comercial.....	66
4. Resultados das avaliações de competitividade	71
4.1 Avaliação tradicional.....	71
4.2 Avaliação pelo custo total do setor residencial.....	72
4.2.1 Cocção de alimentos.....	73
4.2.2 Aquecimento de água.....	74
4.3 Avaliação pelo custo total do setor comercial.....	75
4.3.1 Cocção de alimentos.....	75
4.3.2 Aquecimento de água.....	77
4.3.3 Climatização.....	79

4.4 Síntese das avaliações pelo custo total	79
4.4.1 Gás natural x gás liquefeito de petróleo.....	81
4.4.2 Gás natural x energia elétrica.....	82
4.4.3 Gás natural x lenha.....	83
4.4.4 Gás natural x óleo diesel e óleo combustível.....	84
5. Considerações finais	87
6. Referências	91
7. Apêndice A – Exemplos de cálculos de CTE	95
7.1 CTE do GN em fogão residencial para atender uma demanda de 120 kWh.....	95
7.2 CTE do GN em aquecedor de passagem residencial para atender uma demanda de 180 kWh. ..	95
7.3 CTE do GN em fogão industrial para atender uma demanda de 4.100 kWh.....	95
7.4 CTE da lenha em forno comercial para atender uma demanda de 6.500 kg de farinha.	95
7.5 CTE do GN em aquecedor de passagem comercial para atender uma demanda de 54.000 kWh.	95
7.6 CTE do GN em caldeira comercial para atender uma demanda de 54.000 kWh.	96
7.7 CTE do GN em chiller de absorção comercial para atender uma demanda de 211.200 kWh.	96
Lista de figuras	97
Lista de tabelas	97
Lista de abreviaturas e siglas	98
Lista de símbolos	99

1. Introdução

O aumento do consumo de energia no planeta, em detrimento às dificuldades da oferta, à previsão de declínio das reservas de petróleo em algumas décadas e aos problemas ambientais associados, obrigou muitos países a investirem em energias renováveis e não poluentes, para diversificar suas matrizes energéticas



e diminuir a forte dependência do petróleo, que ainda responde por mais de 40% do consumo mundial. Estas ações, no entanto, se apresentam insuficientes diante do crescimento populacional e econômico das últimas décadas, remetendo o planeta a uma crise energética quanto ao abastecimento das demandas atuais e futuras. Neste cenário, tais fatores têm levado ao aumento do consumo do gás natural, pois, embora seja um energético não renovável, seus reservatórios estão em abundância e sua queima polui bem menos que a dos outros combustíveis fósseis.

O Brasil é considerado um dos países com grande potencial de diversificação da matriz energética, devido aos recursos minerais disponíveis e características específicas, reunindo todas as condições de atingir a sustentabilidade. Além do vasto potencial hidráulico que já vem sendo explorado nas últimas décadas, o país pode contar com a energia solar, eólica e a biomassa, devido a sua posição geográfica e extensão territorial, em paralelo à exploração das reservas de petróleo, gás natural, carvão e urânio. Porém, essa diversificação energética necessita de grandes investimentos e intenso desenvolvimento tecnológico para se tornar efetiva, o que não ocorreu nos últimos anos, levando o país a enfrentar graves crises para atender suas demandas, racionamentos e apagões.

Nesse contexto, o Brasil também tem convergido para o gás natural (GN), cujas reservas estão em abundância e tem baixa emissão de poluentes, uma vez que a disponibilidade das energias renováveis não está atendendo a demanda nacional e persistem os problemas ambientais. Atualmente, o GN já representa mais de 11% da oferta total de energia do país, e, deste volume, 12,5% é produzido no estado da Bahia, o quarto maior do Brasil.

Em relação aos demais combustíveis fósseis, a queima do GN emite 31% menos gás carbônico, 39% menos óxidos de nitrogênio e praticamente não gera dióxido de enxofre e particulados. Estas características colocam o GN como uma energia ecologicamente correta, já que é a opção fóssil mais viável para reduzir a geração dos citados agentes poluidores e causadores das chuvas ácidas e do aquecimento global.

Desta forma, por ser o combustível fóssil mais limpo de todos e o de maior crescimento na cadeia, o GN tem se tornado o escolhido das demandas atuais de energia, sendo considerado por muitos como o “combustível de transição para as fontes limpas e renováveis”, com o declínio das reservas de petróleo no mundo. Alguns autores chegam a sugerir, inclusive, que a humanidade está no caminho de construir a chamada “civilização do gás” para os próximos 50 anos.

Assim, o GN vem aumentando sua participação nos diversos setores produtivos do país, substituindo energéticos tradicionais, como a lenha, a eletricidade, o gás liquefeito de petróleo (GLP), o óleo diesel e o óleo combustível. O maior percentual de utilização do GN está nas indústrias, devido às suas características técnicas e economia. No entanto, é uma crescente a utilização do GN no setor de transporte e também nos estabelecimentos comerciais e residenciais, para os quais a distribuição não era viável economicamente até a década de 80.

Apesar de todas as vantagens citadas, no passado recente do Brasil o GN era considerado um produto indesejável na produção do petróleo, onde a grande maioria de gás produzida era reinjetada nos poços, para aumentar a recuperação residual do óleo, ou era consumida nos locais de produção, sendo o restante vendido para as indústrias ou queimado. A partir da Constituição de 1988, quando os estados da federação passaram a ter a responsabilidade de distribuição do GN, iniciaram os investimentos em infraestrutura para atender também aos comércios e as residências, colocando de vez o GN como uma importante alternativa energética para estes setores.

Para atender as demandas das residências e dos empreendimentos comerciais, no que diz respeito à cocção de alimentos, aquecimento de água e climatização, o GN concorre principalmente com a energia elétrica e com o GLP. Verifica-se que o GN pode ser mais econômico que as outras opções, devido às suas características técnicas, poder calorífico, eficiência energética e preço. Porém, como se verifica no último Balanço Energético Nacional (BEN), para os citados setores, a energia elétrica continua sendo predominantemente o energético mais utilizado, seguida do GLP, tendo o GN um percentual ainda quase inexpressivo.

Esse cenário de incipiência do GN ainda é consequência da histórica e equivocada política de produção do petróleo. A falta de redes de distribuição de GN nas cidades inviabilizava sua comercialização, e, por isso, o GLP reinava praticamente sozinho nas residências e comércios. Além disso, devido à prática de massificação da hidroeletricidade no Brasil (pela sua disponibilidade natural), investiu-se muito em uma variedade de equipamentos que funcionam apenas com energia elétrica, inclusive para usos finais térmicos, nos quais ocorrem grandes perdas de eficiência energética global.

A utilização da eletricidade para geração de energia térmica, frio ou calor, desvia do seu uso nobre, como a iluminação, e sobrecarrega o sistema elétrico do país, contribuindo para os riscos de desabastecimento. E é justamente a eletrotermia uma das responsáveis pela maior parte do consumo doméstico e comercial, ou seja, de onde se podem obter elevadas economias substituindo-a pela queima direta de gases combustíveis.

As perdas de eficiência nos processos de eletrotermia, que envolvem geração, transmissão, distribuição e consumo, são consideráveis, comparando-se com a geração de energia térmica a partir da queima direta de um combustível no próprio aparelho de consumo. O aquecimento de água, por exemplo, a partir de um aquecedor a gás é em média 76% mais eficiente do que um chuveiro elétrico, considerando todo o processo, desde o início da geração da energia primária nas usinas ou poços até o consumo final.

Outro grande mercado em crescimento para o GN é a cogeração de energia, que é a geração descentralizada de energia elétrica e térmica (frio ou calor), a partir de um único combustível, como o GN. Com a evolução das turbinas a gás de alta eficiência, a cogeração com GN vem substituindo o uso da hidroeletricidade em muitos consumos finais, com economias consideráveis, principalmente nos horários de ponta. Além disso, com a utilização da cogeração em ciclos fechados ou combinados, é possível alcançar rendimentos superiores a 80%, ter um melhor uso para a energia e reduzidas emissões gasosas.

Outros fatores, como a forte dependência das chuvas, a iminência de racionamentos e até os recentes apagões, ajudaram a mudar a tendência da política energética brasileira, para aumentar a diversificação de sua matriz, acompanhando a cultura de países desenvolvidos. Neste cenário, além do fomento ao uso do GN pelo governo brasileiro, muitos fabricantes passaram a desenvolver novas tecnologias e equipamentos que também utilizam GN, como condicionadores de ar, geladeiras, refrigeradores, aquecedores de água, chuveiros, aquecedores de piscinas, máquina de lavar e de secar roupa, fornos, aquecedores de ambiente e de saunas, lareiras, cafeteiras e fritadeiras, entre outros.

Apesar de ser uma crescente o desenvolvimento de novos equipamentos que também consomem GN e dos visíveis benefícios técnicos e ambientais citados, a sua comercialização ainda encontra muitas barreiras à entrada nos mercados residencial e comercial, como por exemplo:

- a) Falta de tradição nos setores, devido aos fatores históricos citados, o que aumenta o receio usual da população em novidades e mudanças, mesmo que se projetem resultados viáveis (zona de conforto);
- b) Falta de uma política de incentivo aos fabricantes de equipamentos consumidores de energia, para promover maior pesquisa e desenvolvimento de aparelhos a GN com preços mais acessíveis;
- c) Necessidade de maior fiscalização das distribuidoras e instaladoras de rede e equipamentos a GLP, as quais, frequentemente, praticam vendas sem observar a adequação das normas vigentes e preços sem regulação;
- d) Necessidade de maior fiscalização das empresas de construção civil, e conscientização de seus engenheiros e arquitetos, para que adotem um padrão construtivo seguindo as exigências das normas que regulam a construção de redes de distribuição de gás;
- e) Existência de um consenso na construção civil de que os empreendimentos construídos prevendo a utilização de equipamentos a GN são mais caros;
- f) Falta de infraestrutura de rede de distribuição de GN ainda em muitas cidades, principalmente no interior dos estados.

Além das barreiras citadas, as distribuidoras ainda sentem muitas dificuldades, durante o processo de negociação inicial, em explicar e convencer tecnicamente todas as vantagens econômicas que os consumidores residenciais e comerciais terão com uso do GN. Estas dificuldades se devem principalmente aos seguintes fatores:

- a) As discussões comerciais sobre a utilização dos energéticos são dominadas por vendedores especialistas, os quais direcionam sempre a melhor solução para os produtos que representam, tornando a observação geral difusa e questionável;
- b) Há necessidade de maiores pesquisas e estudos de caso sobre consumo final de energia nos citados setores, de caráter científico e independente, de maneira que contribua para um melhor entendimento do assunto;
- c) Os estudos disponíveis sobre competitividade econômica entre energéticos não utilizam um padrão comparativo e dimensional, cru-

zando informações de outros autores e demais referências sobre o assunto;

- d) Os estudos atuais, para realizar as comparações, utilizam apenas os preços dos energéticos e o poder calorífico contido em cada um deles, deixando de analisar outros fatores que podem influenciar no custo total final para consumidor, como a eficiência dos equipamentos e os custos de operação e manutenção.
- e) Há necessidade também da divulgação de um método simples e direto, que possa auxiliar os consumidores a decidirem qual é o melhor energético que atende a cada uma de suas demandas.

Neste cenário, verifica-se grande carência de uma metodologia padronizada e completa de comparação de competitividade entre energéticos, capaz de auxiliar tanto os vendedores, no momento da comercialização dos seus produtos, quanto os consumidores, na decisão da melhor opção para atender às suas necessidades.

Assim, neste livro, é desenvolvido um método de avaliação da competitividade do gás natural em relação aos seus principais concorrentes, determinando, quantitativamente, qual a opção energética mais econômica para atender a cada uma das demandas dos setores residencial e comercial.

Inicialmente, foi realizada uma comparação econômica geral entre os energéticos que competem com o GN, através do método tradicional que considera apenas os preços e o poder calorífico de cada um, para ranquear os mais competitivos. Depois, foi proposto um método de comparação específica por setor produtivo, avaliando quantitativamente a competitividade entre energéticos, considerando todos os fatores que podem influenciar no custo total final para o consumidor, além de preço e poder calorífico. Por fim, foram determinadas as opções energéticas mais econômicas para o consumidor, para atender a cada uma de suas demandas, nos setores residencial e comercial.

2. A indústria do gás natural

O objetivo deste capítulo é apresentar os conceitos fundamentais do GN que servirão de subsídio para avaliar sua competitividade em relação aos outros energéticos concorrentes, nos setores analisados. Assim, são abordadas as características e as propriedades do GN, as principais aplicações, as etapas da cadeia



produtiva e os aspectos regulatórios. Depois, é estudada especificamente a etapa de distribuição do GN, em especial os processos de comercialização. São revisados também alguns estudos de viabilidade para o uso do GN e os métodos atuais utilizados para avaliar a competitividade entre energéticos.

2.1 Características e propriedades do gás natural

O GN, à temperatura ambiente e pressão atmosférica, é uma mistura gasosa de hidrocarbonetos parafínicos leves, que contém em maior proporção o metano (mais de 83% em média no Brasil). Nesta mistura, encontram-se também proporções bem menores de etano, propano e traços de outros hidrocarbonetos de maior peso molecular. O GN encontra-se acumulado em rochas sedimentares, frequentemente acompanhado por petróleo (gás associado), ou, às vezes, praticamente sem petróleo (gás não associado), constituindo os reservatórios naturais.

O GN, enquanto combustível, possui qualidades superiores aos demais, por ser um gás pouco poluente e apresentar baixos teores de contaminantes, como nitrogênio, dióxido de carbono, compostos de enxofre e água. A presença destes elementos no GN, assim com a proporção em que ocorrem, depende de alguns fatores, como: a localização do reservatório (se em terra ou no mar), a sua condição de estar associado ou não ao petróleo, o tipo de matéria orgânica que o originou, a geologia do solo e do tipo de rocha onde se encontra o reservatório.

A Tabela 2.1 mostra a composição do gás natural bruto em alguns países e em seis estados brasileiros produtores.

Tabela 2.1 – Composição do Gás Natural

ORIGEM	COMPOSIÇÃO EM % VOLUME					
Pais / Estado	Metano CH ₄	Etano C ₂ H ₆	Propano C ₃ H ₈	C ₄ e Maiores	CO ₂	N ₂
Estados Unidos	81,8	5,6	3,4	2,2	0,1	6,9
Rússia	97,8	0,5	0,2	0,1	0,1	1,3
Austrália	76,0	4,0	1,0	1,0	16,0	2,0
Holanda	81,2	2,9	0,4	0,2	0,9	14,4
Argélia	76,0	8,0	3,3	4,4	1,9	6,4
Venezuela	78,1	9,9	5,5	4,9	0,4	1,2
Brasil / Rio de Janeiro	89,4	6,7	2,3	0,5	0,3	0,8
Brasil / Bahia	88,6	9,2	0,4	-	0,7	1,2
Brasil / Alagoas	76,9	10,1	5,8	1,7	1,2	2,0
Brasil / Rio Grande do Norte	83,5	11,0	0,4	-	2,0	3,2
Brasil / Espírito Santo	84,8	8,9	3,0	0,9	0,3	1,6
Brasil / Ceará	76,1	8,0	7,0	4,3	1,1	1,5

Fonte: GASNET (2010)

Como o GN pode ser considerado uma mistura formada predominantemente de metano (CH₄), suas propriedades físicas e químicas podem ser determinadas tendo como base apenas este hidrocarboneto. Assim, baseando-se neste princípio e nas informações da literatura, a seguir são apresentadas algumas características e propriedades importantes do GN.

- a) **Densidade inferior a do ar:** Como apresentado na Tabela 2.2, o gás natural (metano) é o único composto que tem densidade inferior a 1,0 (densidade do ar), sendo assim mais leve que o ar. Esta característica influi diretamente nos aspectos de segurança, pois, em caso de vazamentos acidentais, o gás se dissipa rapidamente para as camadas superiores da atmosfera e não provoca acúmulos no nível do piso (bolsões de gás). Por isso, basta manter orifícios superiores de evacuação para garantir sua dissipação, evitando riscos de explosões ou asfixia.
- b) **Baixo ponto de vaporização:** O GN é o combustível que possui o menor ponto de vaporização a 1,0 atmosfera, igual a -162°C (Tabela 2.2), que é a temperatura de mudança do estado líquido para o ga-

so. Isso permite que o GN seja operado sempre no estado gasoso em temperaturas usuais.

- c) **Altos limites de inflamabilidade:** O GN possui os mais altos limites de inflamabilidade em mistura com o ar: de 5% a 15% (Tabela 2.2). Estes limites são os valores mínimos e máximos da composição gás no ar, para ocorrer inflamabilidade e continuar a combustão. Abaixo do limite inferior, não há combustão sem que haja a aplicação de uma fonte de calor. Já acima do limite superior, o GN se torna diluente do ar, fazendo com que a combustão não possa mais se autopropagar.

Tabela 2.2 – Propriedades Físicas dos Hidrocarbonetos

Composto	Ponto de Vaporização a 1 atm (°C)	Densidade do Gás a 16°C e 1 atm		Poder Calorífico (MJ/Nm³)		Limite de Inflamabilidade em mistura com o ar (%Vol)	
		Densidade Relativa (Ar = 1)	Massa Específica (kg/m³)	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Metano	-162	0,555*	0,679	40	36	5,00	15,00
Etano	-89	1,046*	1,286	71	64	3,22	12,45
Propano	-43	1,547*	1,916	102	93	2,37	9,50
n-Butano	-11	2,071*	2,534	135	124	1,86	8,41
Iso-Butano	-12	2,067*	2,534	134	123	1,80	8,44
n-Pentano	35	2,491	3,050	170	157	1,40	7,80
n-Hexano	68	2,975	3,643	211	195	1,25	6,90
n-Octano	125	3,943	-	233	216	0,84	2,20
n-Decano	173	4,912	-	289	268	0,67	2,60

Fonte: AGA (1965) - * Volumes reais de gás corrigidos para desvio - Obs.: Os números em parêntesis são estimados

- d) **Difícil explosividade:** Como o GN não se acumula em ambientes internos e se dissipa rapidamente, as condições para se atingir o limite de inflamabilidade inferior, que é o mais alto de todos (5%), são bastante reduzidas. Assim, como sua velocidade de propagação da combustão é a menor entre os outros gases, a ocorrência de explosões por escapamento é praticamente nula. Além disso, como há uma estreita faixa entre os dois limites de inflamabilidade, caso se alcance o inferior, logo se atinge o superior, quando o GN torna-se diluente do ar e a combustão não é mais autossustentada.
- e) **Qualidade de produtos e processos:** Em virtude de o GN ser um gás sem impurezas e com baixo teor de compostos de enxofre, os produtos podem ter contato direto com os gases da combustão sem serem contaminados. Além disso, as perdas de calor na exaustão dos gases são mínimas e não há formação de ácidos que causam corrosão dos equipamentos. Por outro lado, com o GN está sempre no estado gasoso (vaporização a -162°C), o controle da combustão é mais eficiente, elevando mais ainda a qualidade dos produtos e processos.
- f) **Independência e flexibilidade:** A distribuição do GN possui alta independência de espaços, distâncias e meios de transporte. As estações de GN ocupam um pequeno espaço e o fornecimento é contínuo, eliminando a necessidade de reserva de áreas para armazenamento. Os gasodutos podem ser aéreos, enterrados, sob as ruas das cidades, estradas, rios ou mares. Já os locais de consumo não se limitam às regiões próximas dos campos produtores de gás, pois já existem gasodutos em operação transpondo continentes e oceanos. Além disso, o GN pode ser distribuído na forma liquefeita, via caminhão, trem ou navio.
- g) **Origem diversificada:** Em comparação com outros energéticos, o GN apresenta alta diversificação das fontes de origem. Suas reservas são as mais distribuídas pelo mundo: 39% na ex - União Soviética, 33% no Oriente Médio, 7% na África, 6% na América Latina, 6% na Oceania e 5% na América do Norte. Isso confere ao mercado de GN maior estabilidade de preços e garantia de fornecimento, mesmo durante conflitos políticos internacionais. As reservas mundiais de petróleo, por exemplo, estão concentradas no Oriente Médio (64%), o que permite à Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) praticar controle dos preços e ameaças de desabastecimento ao redor do mundo.
- h) **Vantagens econômicas:** O GN é considerado o energético mais econômico devido as suas características de mercado, poder energé-

tico, qualidade e preço. O mercado do GN é regulado pelas esferas federais e estaduais, o que lhe propicia maior estabilidade de preços e garantias contratuais. A relação preço/energia disponível é muito inferior em relação aos outros energéticos, principalmente quando se requer maior qualidade dos produtos. Além disso, os processos a GN possuem elevado o grau de eficiências e reduzidos custos de instalação e operação.

- i) **Vantagens ambientais:** O GN pode ser considerado o combustível fóssil que proporciona o menor impacto negativo sobre o meio ambiente. Por ser gasoso nas condições normais e ter densidade menor que o ar, dissipa-se rapidamente para a atmosfera sem causar danos aos organismos vivos. Devido a baixa concentração de compostos de enxofre sua composição, a queima de GN tem reduzida emissão de dióxido de enxofre (SO₂). O GN também possui uma combustão mais completa em que os demais combustíveis, o que reduz a emissão de monóxido de carbono (CO), que é tóxico e asfixiante, e gás carbônico (CO₂), um dos vilões do aquecimento global. Além disso, por ter menores temperaturas de chama e tempo de residência, o GN tem a menor emissão de óxidos de nitrogênio (NO_x) em relação a combustíveis mais pesados, como o óleo combustível.

Um estudo realizado no Estado da Bahia, durante o período de 1994 a 2003, comprovou os benefícios ambientais do uso do GN como combustível. Partiu-se do pressuposto que a não existência do GN acarretaria no uso de outros combustíveis fósseis que emitem mais poluentes, como o óleo combustível, o diesel, a gasolina e o coque, para atender a demanda dos setores que o GN de fato abasteceu naquele período. Como pode ser observado na Tabela 2.3, o GN gerou material particulado e SO₂ em concentrações muito inferiores quando comparado com as emissões dos outros combustíveis. Já as emissões de CO₂ e NO_x foram, respectivamente, 31% e 39% menores que os demais combustíveis.

Tabela 2.3 – Comparação de Emissões dos Combustíveis

Emissões	SO ₂	NO _x	Particulados	CO ₂
Outros Combustíveis (1)	89.532	47.965	18.999	19.695.164
Gás Natural (2)	932	29.294	533	13.570.455
Diferença (1) – (2)	88.600	18.671	18.466	6.124.709

Fonte: Vieira et al. (2005) - Unidade: tonelada

2.2 Aplicações do gás natural

A aplicação tradicional do GN está nas indústrias, porém, nas últimas décadas, a sua utilização cresceu muito em outras áreas, como no uso domiciliar e comercial, no setor de transportes e na cogeração de energia, como são resumidas a seguir.

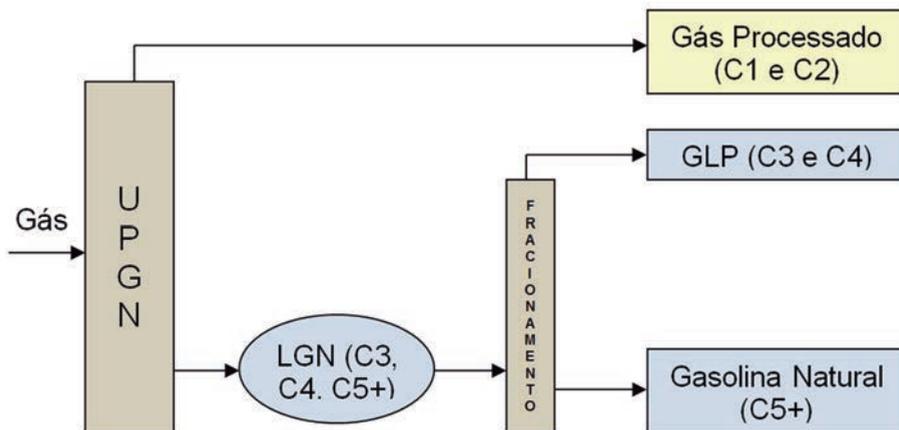
- a) **Industrial:** o GN encontra aplicações em indústrias de variados segmentos, como: ferro e aço, mineração, papel e celulose, química, têxtil, alimentos e bebidas. As indústrias utilizam o GN como combustível para gerar calor de processo, força motriz e energia elétrica, para aquecimentos diversos e climatização de ambientes. Na petroquímica, o GN também é utilizado como matéria prima para síntese do metanol, amônia e ureia, e para reinjeção em reservatórios visando aumentar a recuperação residual de petróleo. Por possuir a combustão mais limpa entre os combustíveis, o GN também é muito usado em processos que exigem a queima em contato direto com o produto final, como as indústrias de cerâmica, vidro e cimento.
- b) **Domiciliar e comercial:** nas residências e nos estabelecimentos comerciais, o GN pode ser utilizado principalmente para cocção de alimentos, aquecimento de água e climatização de ambientes, em substituição à energia elétrica e ao GLP. Além disso, o GN pode encontrar aplicações em fornos e caldeiras de restaurantes, hotéis, hospitais, panificadoras, pizzarias e lavanderias, deslocando combustíveis tradicionais, como a lenha, o diesel e o óleo combustível.
- c) **Transporte:** o GN pode ser utilizado como combustível para os veículos, em substituição ao etanol e a gasolina nos veículos leves, e ao óleo diesel em veículos pesados ou embarcações. Conhecido neste setor como gás natural veicular (GNV), o abastecimento com o GN nos postos de combustíveis ajuda na redução das emissões de resíduos de carbono, enxofre, nitrogênio e material particulado, o que melhora a qualidade do ar, reduz custos de manutenção dos veículos e aumenta a vida útil do motor.
- d) **Cogeração de energia:** a cogeração é a geração de energia elétrica e térmica (calor ou frio) a partir de um único combustível, como o gás natural. Neste processo, o GN é queimado em motores que acionam turbinas a gás. Estas turbinas se conectam a geradores e produzem a energia elétrica. Já os gases de exaustão das máquinas podem alimentar uma caldeira de recuperação para gerar vapor de processo ou climatização de ambientes através de *chillers* de absorção.

2.3 Cadeia produtiva do gás natural

A cadeia produtiva do gás natural pode ser dividida basicamente nas seguintes etapas:

- a) **Exploração:** Nesta fase inicial, são realizadas as pesquisas de campos em estruturas propícias ao acúmulo de hidrocarbonetos (gás natural, petróleo ou ambos). Estes estudos geológicos e geofísicos visam determinar a viabilidade de se explorar o campo. Depois é realizada a perfuração do poço para comprovar a viabilidade da produção comercial. Sendo viável, procede-se a completação do poço visando prepará-lo para a extração dos gases e/ou dos óleos.
- b) **Produção:** Etapa em que ocorre a elevação do gás natural bruto do poço até a superfície. Nesta fase, ocorre também o processamento primário do GN para a retirada de água líquida, partículas sólidas, gás carbônico e compostos de enxofre (dessulfurização). Outra operação feita nesta etapa é o processo de injeção do GN no próprio reservatório para aumentar a recuperação de petróleo residual (o chamado *gas lift*).
- c) **Processamento:** Esta etapa é realizada nas Unidades de Processamento de Gás Natural (UPGN). Inicialmente, é feita a desidratação para a retirada de vapor d'água. Depois, o GN é processado, separando uma mistura de metano (C1) e etano (C2) dos hidrocarbonetos mais pesados chamados de líquidos de gás natural (LGN). Os LGN ainda são fracionados em GLP (propano (C3) e butano (C4)) e nas chamadas gasolina natural (C5+). A Figura 2.1 resume estas atividades.

Figura 2.1 – Unidade de Processamento de Gás Natural



Fonte: Adaptado de IBP (2009)

- d) **Transporte:** A grande maioria do transporte de GN é feito em dutos de aço. São utilizados também cilindros de alta pressão para transportar gás natural comprimido (GNC), principalmente quando é inviável a construção de gasodutos. Já no estado líquido, o transporte do gás natural liquefeito (GNL) é feito em barcaças ou caminhões criogênicos, onde a temperatura deve ser mantida em -160°C . A etapa de transporte de GN vai desde os locais de produção até os chamados *city gates*, que são os pontos de “entrega” da custódia e venda do GN, dos produtores para as distribuidoras estaduais, começando a etapa de distribuição.
- e) **Distribuição:** Etapa da cadeia em que o GN é conduzido desde os *city gates* até os consumidores finais, que podem ser residencial, comercial, automotivo ou industrial. A distribuição é feita normalmente com o GN no estado gasoso, através de gasodutos. Também podem ser usados o GNL ou o GNC para consumidores remotos, quando a construção de dutos é inviável. A etapa de distribuição será detalhada na seção 2.5, tendo em vista o foco desta pesquisa que é direcionado para os processos de comercialização do GN, que ocorrem nas atividades de distribuição, sendo necessário, portanto, uma abordagem com maior ênfase.

2.4 Aspectos regulatórios

A regulação consiste em exercer um grau de controle, normalmente por parte do Estado, sobre certa atividade considerada de interesse público e, geralmente, quando o monopólio é a solução mais eficiente para a prestação do serviço. Porém, verifica-se que na estrutura monopólica podem ocorrer certas distorções relacionadas à fixação de preços e renda própria. Assim, a regulação se apresenta como a melhor forma de garantir o interesse público, proporcionando tarifas que remunerem os serviços, considerando os interesses dos consumidores e a qualidade dos produtos e serviços ofertados.

O marco regulatório do GN está pautado em duas referências principais: a Constituição Federal do Brasil de 1988 e a Lei do Petróleo de 1997. Desde 1988, a Carta Magna do país já estabelecia que o direito de explorar os serviços locais de gás canalizado seria dos estados da federação, cabendo-lhes também a responsabilidade de regular tais serviços. Desta forma, além do direito de explorar a distribuição de GN, diretamente ou por concessão, os estados brasileiros também criaram as agências estaduais reguladoras destas atividades.

Com o advento da Lei nº 9.478 de 1997 (Lei do Petróleo), foi criada a então Agência Nacional do Petróleo (ANP), tendo a responsabilidade, em

nível nacional, da regulação e fiscalização das atividades relativas à indústria do petróleo. Em 2005, com a Lei nº 11.097, a ANP passou a chamar-se de Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, por estes últimos energéticos também serem objetos de sua regulação.

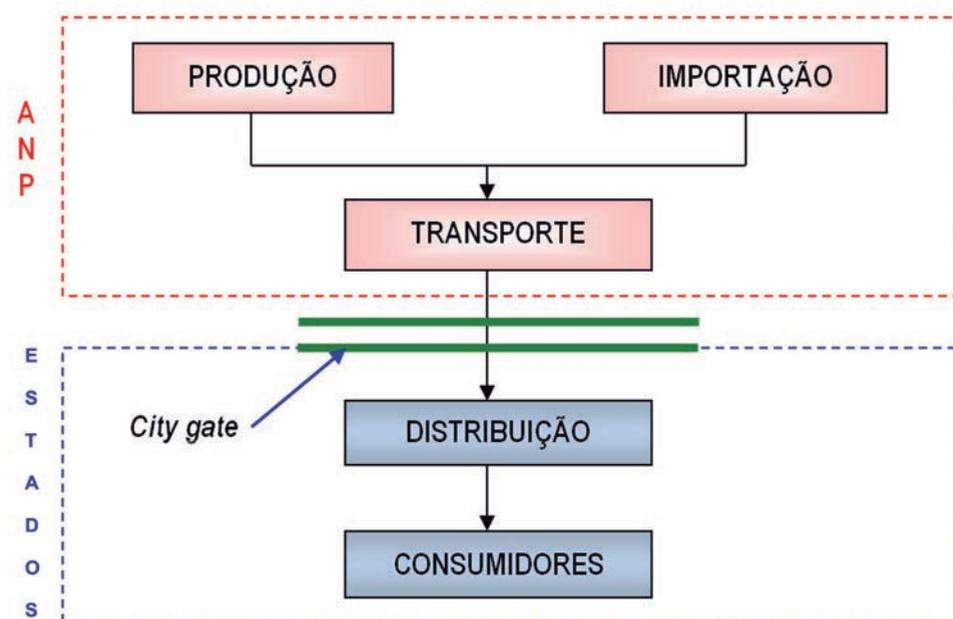
Em 2009, foi promulgada a Lei nº 11.909, denominada Lei do Gás, a qual dispõe sobre as atividades relativas ao transporte de gás natural, de que trata o art. 177 da Constituição Federal, bem como sobre as atividades de tratamento, processamento, estocagem, liquefação, regaseificação e comercialização de GN. A Lei do Gás também alterou alguns artigos da Lei do Petróleo.

Assim, após as alterações, a Lei do Petróleo e a do Gás passaram a atribuir à ANP, entre outras, as seguintes funções relativas à indústria do gás natural:

- a) Implementar, em sua esfera de atribuições, a política nacional de petróleo, gás natural e biocombustíveis, (...) com ênfase na garantia do suprimento de derivados (...), e na proteção dos interesses dos consumidores quanto a preço, qualidade e oferta dos produtos;
- b) Promover estudos visando à delimitação de blocos, para efeito de concessão ou contratação sob o regime de partilha de produção das atividades de exploração, desenvolvimento e produção; (...)
- c) Autorizar a prática das atividades de refinação, liquefação, regaseificação, carregamento, processamento, tratamento, transporte, estocagem e acondicionamento; (...)
- d) Especificar a qualidade dos derivados de petróleo, gás natural e seus derivados e dos biocombustíveis; (...)
- e) Informar a origem ou a caracterização das reservas do gás natural contratado e a ser contratado entre os agentes de mercado; (...)
- f) Elaborar os editais e promover as licitações destinadas à contratação de concessionários para a exploração das atividades de transporte e de estocagem de gás natural;
- g) Celebrar (...) os contratos de concessão para a exploração das atividades de transporte e estocagem de gás natural (...);
- h) Autorizar a prática da atividade de comercialização de gás natural, dentro da esfera de competência da União;
- i) Estabelecer critérios para a aferição da capacidade dos gasodutos de transporte e de transferência;
- j) Articular-se com órgãos reguladores estaduais e ambientais, objetivando compatibilizar e uniformizar as normas aplicáveis à indústria e aos mercados de gás natural. (BRASIL, 1997, 2009).

Desta forma, a regulação da indústria do GN no Brasil encontra-se sob a responsabilidade tanto da esfera federal quanto da estadual, como esquematizada na Figura 2.2.

Figura 2.2 – Competência Regulatória do Gás Natural



Fonte: ANP, 2012.

Observa-se então que a ANP é a responsável pela regulação das atividades que vão desde a exploração até o transporte do gás aos *city gates*, além da importação. Já a etapa de distribuição, que vai desde os *city gates* até os consumidores finais, fica sob a competência das agências reguladoras estaduais. No estado da Bahia, a regulação do GN está sob a responsabilidade da Agência Estadual de Regulação dos Serviços Públicos de Energia, Transportes e Comunicação (AGERBA).

Quanto às distribuidoras, verifica-se que a maioria tem os estados da federação como acionista majoritário e também a participação da Petrobras, a qual se mantém presente em toda a cadeia do GN. No estado da Bahia, a distribuidora de gás natural é a Companhia de Gás da Bahia (BAHIAGÁS).

A Bahiagás é uma empresa de economia mista, controlada pelo Governo do Estado da Bahia, tendo ainda como acionistas minoritários a Petrobras e a japonesa Mitsui. Desde a sua criação, em 1991, a Bahiagás tem a concessão para atuar por 50 anos na distribuição de GN em todo o estado da Bahia.

2.5 Distribuição do gás natural

As atividades da cadeia de distribuição do GN consistem na sua condução, realizada pelas empresas distribuidoras estaduais, desde os *city gates* até os consumidores finais, que podem ser residencial, comercial, automotivo ou industrial.

A diferença entre a etapa de Transporte e a de Distribuição está na responsabilidade do seu condutor, no trajeto do deslocamento e nos volumes envolvidos. Ocorre o Transporte quando se desloca grandes volumes de gás através de gasodutos de grande diâmetro, desde os campos de produção até os *city gates*. Quando o deslocamento do gás é feito em volumes menores, a partir dos *city gates* até chegar aos consumidores finais, tem-se a cadeia de Distribuição.

No que diz respeito à responsabilidade de condução do gás, o Transporte geralmente é feito no Brasil pela BR Distribuidora (subsidiária da Petrobras), que desloca o GN até os *city gates*, onde ocorre a venda e a entrega da concessão para ser distribuído. A partir daí, as distribuidoras estaduais assumem a responsabilidade de conduzir o gás até os consumidores finais.

Como exposto, devido ao estado físico sempre gasoso, o GN se adapta bem a qualquer condição de transporte, podendo ser consumido em regiões muito distantes dos locais onde foi produzido. As principais formas para o transporte e distribuição de GN são:

- No estado gasoso, através de gasodutos ou em cilindros de alta pressão (GNC);
- No estado líquido (GNL), conduzido em barcaças ou caminhões criogênicos a 160°C negativos; ou
- Sob a forma de compostos derivados, líquidos ou sólidos.

Para decidir qual a melhor forma de transporte ou distribuição de GN, é feita usualmente uma análise de custos. Para transportar por gasodutos, os custos de implantação da infraestrutura necessária são os principais. Estes dependem das dificuldades do relevo, de obras para travessias de rios e cruzamentos de rodovias, e das características da população local atingida.

Quanto ao transporte por gás natural comprimido (GNC), é necessário atingir elevadas pressões para obtê-lo, o que gera altos custos, além dos custos com transporte e com a estrutura necessária para descompressão nos locais de consumo final. Já para o gás natural liquefeito (GNL), incorrem os custos de redução da temperatura para -160°C, manutenção e transporte em navios criogênicos, além da estrutura para regaseificação nos locais receptores, sendo economicamente viáveis apenas para transporte de volumes gigantescos e distâncias oceânicas.

O transporte do GN sob a forma de compostos derivados, por sua vez, pode ser, em alguns casos, a maneira mais econômica, considerando o baixo custo de transporte dos produtos sólidos ou líquidos em que o GN é transformado, como fertilizantes e o metanol. Porém, este meio de transporte e distribuição tem sofrido restrições de saúde ocupacional, principalmente no Brasil, por apresentar toxicidade no contato com as pessoas e risco de morte no caso de ingestão.

Nesse cenário, a solução mais usualmente utilizada para o transporte e distribuição do gás natural tem sido os gasodutos. À exceção para regiões muito remotas e distantes da rede canalizada de gás, onde é utilizada a distribuição a granel nas formas de GNC ou GNL, também conhecidas como “gasodutos virtuais”.

No início dos anos 90, o governo brasileiro já previa a necessidade de reestruturação da malha de transporte de gás natural para elevar sua participação na matriz energética do país. Assim, além do advento do Gasoduto Brasil-Bolívia (GASBOL), a Petrobras interligou toda a região Nordeste, da Bahia até o Ceará, e as regiões Sudeste e Sul. Em 2010, com a construção do Gasoduto Sudeste-Nordeste (GASENE), do Espírito Santo à Bahia, foi praticamente integrada toda a região litorânea do Brasil para o transporte e distribuição do GN. Vale ressaltar também a construção dos gasodutos na região norte do país, em especial no Amazonas, que detém o segundo lugar em produção nacional de GN.

Na Bahia, após a descoberta da bacia de gás de Manati, a Bahiagás colocou em operação o gasoduto Salvador-Feira de Santana, integrando a capital e a região metropolitana com a segunda maior cidade do estado, iniciando o chamado ciclo da interiorização. Atualmente, a distribuidora continua expandindo ainda mais sua rede de distribuição, de forma a aumentar o atendimento a outros bairros da capital, para massificar o uso do GN nos setores residencial e comercial, e continuar o ciclo de expansão no interior do estado.

Quanto aos aspectos operacionais e de segurança, vale destacar os padrões rígidos de especificação que o GN deve atender em relação à presença de contaminantes que possam danificar os equipamentos dos consumidores. Exceto para algumas indústrias, também é realizada a odorização do gás, adicionando compostos de enxofre (chamados de mercaptanas), que permitem sua rápida detecção em caso de vazamentos. Além disso, são instaladas válvulas de bloqueio ao longo da rede, para conter uma eventual descompressão, e válvulas de alívio ou purga de gás para evitar que aumentos bruscos de pressões danifiquem os aparelhos à jusante.

2.6 Comercialização do gás natural

Como exposto, a distribuição do GN é de responsabilidade das companhias estaduais, que o conduzem desde os *city gates* até os consumidores finais, que podem ser industrial, automotivo, comercial ou residencial. Para isso, é necessário construir redes de distribuição de gás e ramais para interligá-las a até as estações de regulação de pressão e medição (ERPM) dos clientes consumidores. A partir da ERPM, termina a responsabilidade da distribuidora, pois inicia a rede interna do cliente, o qual assume a responsabilidade de conduzir o gás até seus equipamentos de consumo. Os custos da construção do ramal e da ERPM são da distribuidora e os custos relativos à rede interna são dos clientes.

A gerência comercial da distribuidora é a área responsável pela negociação com os futuros clientes até o início do consumo. Seus engenheiros têm a responsabilidade de prospectar os clientes, realizar estudo de viabilidade de fornecimento do gás, negociar e firmar os contratos, solicitar execução das obras de infraestrutura, e acompanhar todo o processo até a interligação final entre a rede de distribuição de gás e o cliente consumidor.

O processo de comercialização inicia-se com as atividades de prospecção de futuros clientes em implantação ou de clientes que estejam consumindo outro energético, que podem ser do segmento industrial, automotivo, comercial ou residencial. Primeiramente, são feitas visitas técnicas ao provável cliente para coletar seus dados e, em paralelo, é realizada uma análise prévia da rede de distribuição que atende a região naquele momento ou da possibilidade de construção de novas redes para o local.

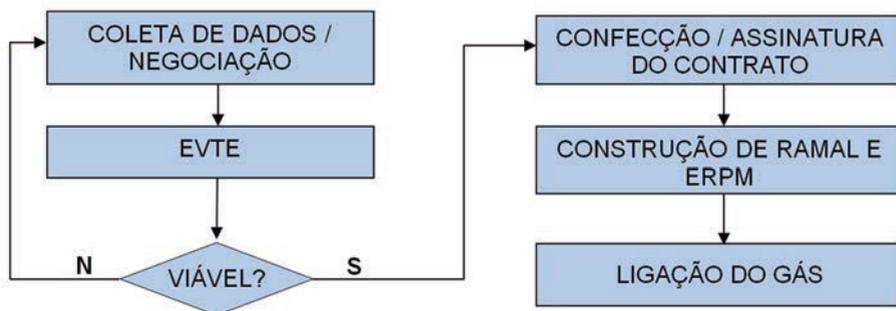
Os principais parâmetros técnicos analisados nesse levantamento prévio são: a localização do cliente, o regime de operação, o consumo, a pressão de operação e as características dos equipamentos consumidores de gás. Nesse momento, também, é apresentado ao futuro cliente todas as vantagens que o mesmo terá com uso do GN, sejam econômicas, operacionais ou ambientais. Sendo do interesse do cliente, procede-se a próxima etapa de estudo para viabilizar a infraestrutura necessária ao fornecimento do gás natural.

Após a prospecção, a distribuidora realiza um estudo de viabilidade técnica e econômica (EVTE) para fornecer gás ao provável cliente. Para isso, são cruzados os dados técnicos do cliente, como regime de operação e consumo, com os custos do investimento que a distribuidora terá com a construção do ramal de interligação e da ERPM. Para o empreendimento ser viável, geralmente são utilizados uma taxa interna de retorno (TIR) e um tempo mínimo de retorno do investimento (*PAYBACK*), definidos de acordo com a política de cada distribuidora.

Sendo o EVTE viável, é discutido e confeccionado o contrato de fornecimento GN canalizado entre a distribuidora e o cliente, e assinado por ambos. A partir de então, procede-se a construção do ramal de interligação e da ERPM, e em seguida é feita a ligação final do gás no cliente.

Caso o EVTE não seja viável, a distribuidora volta a negociar com o cliente, avaliando outros possíveis clientes na região que possam ser inseridos dentro do mesmo estudo, de forma que a demanda futura justifique o projeto. A Figura 2.3 resume todo o processo.

Figura 2.3 – Processo de Comercialização de Gás Natural



Os contratos firmados entre as distribuidoras de GN e seus clientes variam de acordo com o segmento de consumo. Para clientes industriais de grande consumo, geralmente são aplicadas cláusulas semelhantes às aquelas contidas no contrato de compra do produtor (Petrobras). Existem contratos chamados Firmes Inflexíveis, que possuem cláusulas do tipo *Take or Pay*, ou seja, fixam um consumo mínimo de longo prazo que justifique o investimento da distribuidora na infraestrutura de fornecimento, além da exigência de programação de retiradas de gás. Há também contratos do tipo Interruptíveis, nos quais pode haver a restrição total ou parcial do fornecimento de gás e penalidades por consumo abaixo ou acima do percentual definido.

Já os contratos com clientes industriais pequenos e automotivos não possuem cláusulas *Take or Pay*, porém é necessária a definição da quantidade diária contratual de consumo. Os clientes comerciais e residenciais, por sua vez, possuem contratos simplificados, sem ocorrência de penalidades por consumo mínimo.

Quanto aos preços do GN, as distribuidoras aplicam valores das tabelas tarifárias publicadas trimestralmente pelas agências reguladoras estaduais. Vale ressaltar que estas tarifas são preços máximos de venda do GN, podendo a distribuidoras aplicar preços promocionais menores, porém regulados, como os da Tabela 2.4, aplicados pela Bahiagás no estado da Bahia.

Tabela 2.4 – Tabela Tarifária de Gás Natural

Gás Natural	Faixas de consumo*		Tarifa R\$/m³ / Impostos	Tarifa R\$/m³ C/ Impostos (PIS, COFINS e ICMS)
Industrial	Faixa de consumo semanal m³			
	1	105	1,7975	2,2825
	106	350	1,0854	1,3783
	351	1.050	1,0251	1,3017
	1.051	3.500	0,9757	1,2390
	3.501	7.000	0,9744	1,2373
	7.001	42.000	0,9503	1,2067
	42.001	84.000	0,9342	1,1863
	84.001	140.000	0,9108	1,1566
	140.001	245.000	0,8947	1,1361
	245.001	420.000	0,8804	1,1180
	420.001	7.000.000	0,8697	1,1044
Acima de	7.000.001	0,8424	1,0697	
Comercial	Faixa de consumo mensal m³			
	1	450	1,5249	1,9364
	451	1.500	1,1595	1,4724
	1.501	4.500	1,0875	1,3810
	4.501	15.000	1,0285	1,3060
	15.001	30.000	1,0269	1,3040
	30.001	180.000	0,9981	1,2674
	180.001	360.000	0,9789	1,2430
	360.001	600.000	0,9509	1,2075
	600.001	1.050.000	0,9317	1,1831
	1.050.001	1.800.000	0,9147	1,1615
	1.800.001	30.000.000	0,9019	1,1453
Acima de	30.000.001	0,8693	1,1039	
Co-geração Comercial	Faixa de consumo mensal m³			
	1	450	1,0277	1,3050
	451	1.500	0,7938	1,0080
	1.501	4.500	0,7740	0,9829
	4.501	15.000	0,7578	0,9623
	15.001	30.000	0,7574	0,9618
	30.001	180.000	0,7495	0,9517
	180.001	360.000	0,7442	0,9450
	360.001	600.000	0,7365	0,9352
	600.001	1.050.000	0,7312	0,9285
	1.050.001	1.800.000	0,7265	0,9225
	1.800.001	30.000.000	0,7250	0,9206
Acima de	30.000.001	0,7237	0,9190	
Automotivo	Faixa única		0,8241	1,0465
GNC	Faixa única		0,7341	0,9322
Residencial	Faixa de consumo mensal m³			
	1	20	1,3644	1,7351
	21	100	1,3644	1,7351
	101	850	1,3644	1,7351
	851	2.500	1,3644	1,7351
	Acima de	2.501	1,3644	1,7351

Fonte: Bahiagás (2013). - * Gás nas condições de referência: 1,033 kgf/cm², 20 °C e PCS de 9.400 Kcal/m³. Alíquota de ICMS de 12%, PIS de 1,65% e COFINS de 7,6%.

Os valores da Tabela 2.4 são para o estado da Bahia e estão em vigência desde agosto de 2013. Verifica-se que o preço do GN varia de acordo com o tipo de consumidor e também com a faixa de consumo. O cálculo do valor final a ser pago é feito em “cascata”, ou seja, cada faixa de consumo tem um valor que vai diminuindo com o aumento do consumo. Vale ressaltar que os preços da Cogeração comercial também são aplicados para a Climatização comercial.

Outro fator a ser considerando é o Poder Calorífico Superior (PCS), que é a quantidade de calor produzida na combustão de 1,0 m³ de gás saturado, a 20°C e 1,033 kgf/cm², com a condensação total do vapor d’água. Para os contratos de distribuição de GN, é tomado como referência o PCS de 9.400 kcal/m³, o qual é utilizado para corrigir os valores de consumo medidos em PCS diferentes.

2.7 Panorama do setor residencial

O setor residencial compreende todos os consumidores de energia classificados como pessoa física, sejam eles localizados em casas ou prédios. Os principais energéticos utilizados neste setor são: a Energia Elétrica, a Lenha, GLP e o GN, como apresentados na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 – Principais Energéticos do Setor Residencial no Brasil

Energéticos	%
Energia Elétrica	42,6
Lenha	27,2
GLP	26,9
Gás Natural	1,2
Outros	2,1

Fonte: EPE (2013)

Como se verifica, o energético mais utilizado nas residências é a Energia Elétrica, seguida do GLP, tendo o GN um percentual inexpressivo em relação aos demais. Como exposto anteriormente, este cenário se deve à histórica política brasileira de investimentos nas hidrelétricas e a consequente massificação dos aparelhos apenas elétricos, utilizados inclusive nos processos de geração de calor, onde ocorrem elevadas perdas de eficiência energética global.

A eletrotermia, além de desviar a Energia Elétrica do seu uso nobre, como a iluminação, sobrecarrega o sistema elétrico nacional e é a responsável pela maior parte do consumo doméstico. Assim, verifica-se grande potencial

de economia, na geração de calor para residências, substituindo a eletricidade pela queima direta de combustível.

No caso do GLP, esse percentual se deve às equivocadas estratégias de produção de petróleo, até recentemente empregadas, nas quais o GN era tido como um subproduto indesejável, sendo a maioria reinjetado nos poços ou queimado no próprio local de produção e o restante vendido para as indústrias. Assim, até a década de 90, quando a distribuição do GN passou a ser de responsabilidade dos estados, o GLP reinou praticamente sozinho nas residências.

A Lenha aparece nesta lista devido à sua utilização nas casas localizadas em zonas rurais ou muito isoladas dos centros urbanos. Como neste trabalho serão avaliados apenas os consumidores que podem ser atendidos pela rede de distribuição de GN, ou seja, nas cidades, a Lenha não será considerada na análise neste setor.

Hoje, com o avanço das redes de transporte e distribuição por todo o Brasil, o GN vem ocupando cada vez seu espaço no mercado residencial, tendo em vista suas vantagens técnicas, econômicas e ambientais. Consequentemente, verifica-se maior desenvolvimento de equipamentos mais modernos a GN, porém ainda pouco comercializados devido à incipiência do mercado, ao desconhecimento generalizado do setor e à necessidade de investimento no caso das conversões.

As principais aplicações residências são: cocção de alimentos e aquecimento de água. Quanto aos equipamentos consumidores de energético, para a cocção, são usados os fogões, os *cooktops* e os fornos. Já para o aquecimento de água, podem ser utilizados aquecedores de passagem ou de acumulação e os chuveiros elétricos.

Outras aplicações que podem utilizar o GN, apesar de já usuais, são menos difundidas, como o aquecimento da água de uma piscina, para secadoras de roupa, assim como o aquecimento de ambientes, como lareiras, pisos e saunas¹.

O condicionamento de ar é outra aplicação que também ainda encontra pouca disseminação no mercado residencial. Porém, já podem ser encontrados alguns prédios que utilizam *chillers* de absorção para refrigeração, através da geração de um fluido refrigerante que circula nos aparelhos de cada apartamento. Entretanto, esta aplicação é mais amplamente utilizada no setor comercial.

¹ O uso da energia solar como fonte alternativa para o aquecimento de água também apresenta boa competitividade, principalmente quando combinada com aquecedores tradicionais. Porém, esta fonte renovável não é alvo de comparação com o GN e não será abordada neste trabalho.

Vale ressaltar que as construções, para estarem aptas a consumir o GN, devem obedecer a critérios de dimensionamento e segurança. As normas NBR 15.526 e NBR 13.103 estabelecem os requisitos para a construção de redes de distribuição de gases combustíveis em instalações residenciais e comerciais, assim como a adequação de aparelhos a gás e ambientes.

Geralmente, os prédios novos são construídos de acordo com as normas brasileiras, com a possibilidade de consumir tanto o GLP com o GN. Já os prédios antigos precisam ser adequados, devido à falta de normalização na época em foram construídos. Os custos relativos à rede interna de gás e adequação de ambientes são do consumidor, porém as distribuidoras de GN têm subsidiado esses investimentos como forma de fomento ao seu mercado.

A motivação para a utilização do GN nas residências, tanto nos empreendimentos novos como usados, depende de análise econômica por parte do consumidor e do construtor, os quais sempre observam as vantagens comparativas em relação aos demais energéticos. Assim, devem ser levados em consideração os investimentos nas obras e na aquisição dos equipamentos, os preços dos energéticos, além do atendimento às normas legais. A seguir, são apresentados alguns estudos de caso da literatura, onde se buscou avaliar a viabilidade de utilização do GN no setor residencial, em relação aos seus principais concorrentes.

2.7.1 Estudos de caso no setor residencial

Barcelos (2011) analisou a substituição do GLP por GN, para cocção de alimentos e aquecimento de água, em um condomínio residencial na cidade de Porto Alegre/RS. Para isso, foi realizada uma comparação econômica entre os dois sistemas de abastecimento, além de analisar os procedimentos necessários para a conversão e as possíveis perdas de potência dos equipamentos. Considerou-se que a distribuidora estadual de GN arcaria com os custos relativos à conversão dos equipamentos e interligação da rede de distribuição de gás à rede interna do condomínio, como ocorre na maioria dos estados.

Foi verificado nessa pesquisa que tal substituição levaria a uma economia mensal de 49,6% dos custos existentes na época. Outro resultado, obtido através de programação matemática, comprovou que não haveria perda de potência nos fogões e aquecedores após a conversão para GN. No entanto, após tomar conhecimento da intenção dos moradores, a distribuidora do GLP, para não perder o cliente, reduziu seu preço a um patamar de baixíssimo lucro e ainda assumiu alguns custos para atender a antigas solicitações do condomínio, como a medição descentralizada e a adequação da rede interna às normas vigentes. Mesmo assim, a economia mensal com o GN ainda

seria de 14,5%. Porém, além da proposta do GLP, os receios a mudanças e aos possíveis transtornos que ocorreriam com as obras, foram decisivos para o condomínio não optar pela substituição de combustível.

Este estudo evidenciou o GN como a melhor opção econômica para a cocção de alimentos e aquecimento de água, em relação ao GLP. Porém, os resultados também mostram as barreiras à entrada do GN no mercado residencial, sustentadas pela tradição conservadora, pela falta de informação e pelos usuais receios da população a mudanças. Além disso, a pesquisa expõe a carência de regulação do mercado de GLP, o qual é disputado por várias distribuidoras que praticam qualquer preço, temporários e convenientes, a depender da situação de ameaça. O que não ocorre com o GN, cuja distribuição é de responsabilidade dos estados, podendo fazê-lo diretamente ou por meio de concessão, e as tarifas são fiscalizadas pelas agências estaduais de regulação, com exposto anteriormente.

Melara (2008) realizou uma análise técnica, mercadológica e regulatória do mercado de gases combustíveis de consumo residencial na cidade de Curitiba/PR. Foram analisados 665 empreendimentos, à luz da NBR 15526 e NBR 13.103, observando seus requisitos, como: dimensionamento e estanqueidade da rede, adequação de equipamentos e acessórios, ventilação de ambientes e níveis de CO.

Entre os resultados dessa pesquisa, o autor verificou-se a existência de um abismo entre as normas técnicas vigentes e as reais condições de operação encontradas nas residências, necessárias à utilização do GN e também do próprio GLP. Das construções analisadas, apenas 12 (2%) atendiam a todos os requisitos normativos. Foi apontada uma desvantagem comercial para as distribuidoras de GN devido ao desequilíbrio regulatório do mercado, pois, enquanto para estas a responsabilidade em atender as normas se estende até instalações dos clientes, para as vendedoras de GLP termina na estação de gás, o que tem levado ao grande número de residências não adequadas. Além disso, foi constatada também uma geral falta de qualificação técnica das empresas prestadoras de serviço de instalação de rede de gás, e de fiscalização dos órgãos públicos.

Essa pesquisa, extrapolando para níveis nacionais, comprovou as dificuldades para inserção do GN no setor residencial, apesar das visíveis vantagens já enumeradas. Além disso, mostram a necessidade de uma nova regulamentação deste mercado, envolvendo ações conjuntas do poder público, dos condomínios, dos conselhos de engenharia, das construtoras e dos prestadores destes serviços, principalmente quanto à exigência e fiscalização de construções novas e antigas, no que diz respeito ao atendimento às normas e procedimentos técnicos vigentes.

Fossa *et al.* (2006) realizaram um estudo de viabilidade técnica e econômica para analisar a possibilidade de substituição da Energia Elétrica pelo GN, no processo de aquecimento de água, em instalações prediais residenciais. Foram detalhados os custos das construções, considerando três alternativas: aquecimento instantâneo elétrico (chuveiro elétrico), aquecimento a gás instantâneo individual e aquecimento a gás central. Também foram analisados os impactos da substituição em locais onde são adotadas políticas de incentivo ao uso do GN, como na cidade de São Paulo/SP, que tornou obrigatória, desde 1988, a previsão de instalações de distribuição de água quente dentro dos apartamentos, nas construções de novos empreendimentos residenciais.

Os resultados dessa pesquisa apresentaram pequenos ganhos do sistema a gás em relação ao elétrico: 2% a favor do sistema a gás individual e 6% a favor do gás central. Quando a análise foi feita considerando a pré-existência de tubulações de água quente dentro das habitações, os ganhos do sistema a gás aumentaram consideravelmente: 38% para o sistema a gás individual e 31% utilizando o sistema a gás central.

Esse estudo deixou clara a inexistência de grandes diferenças de investimentos entre os sistemas a gás e elétrico, nas construções residenciais, necessários para o projeto de aquecimento de água. Isso desmistifica a impressão ainda generalizada do mercado da construção civil de que o sistema a gás é mais oneroso. Não bastasse isso, ficou evidente a significativa vantagem econômica na utilização do GN, nos locais onde existe lei que obriga a previsão de instalações para água quente, com reduções de custos de até 38%. Assim, faz-se necessário que o exemplo de São Paulo seja estendido para o resto do país, de modo que o aumento do uso do GN para aquecimento de água desloque cada vez mais a eletricidade para seus fins nobres, como a iluminação, desafogando o sistema elétrico nacional, principalmente nos horários de pico.

Nascimento (2005) estudou o caso de um empreendimento residencial padrão da cidade de Salvador/BA, para substituir o uso de GLP e da eletricidade pelo gás natural, em alguns aparelhos domésticos. Primeiramente, foram analisados os investimentos na construção do prédio, propondo a substituição dos seguintes equipamentos elétricos: chuveiros (por aquecedores de passagem), secadoras de roupa, forno de micro-ondas, geladeiras e aparelhos de ar condicionado (por um *chiller* de absorção coletivo).

Os resultados dos custos de construção interna apresentaram valores próximos, sendo a opção pelo GN cerca de 2% mais econômica que a elétrica. Quanto aos custos coletivos de infraestrutura geral do empreendimento, observou-se uma economia considerável de 49% em favor da construção com os aparelhos a GN.

Outra análise realizada foi o comparativo do custo mensal para o consumidor. Neste caso, também foi levada em consideração a possibilidade de uso do GN em vez do GLP nos fogões. Verificou-se inicialmente que, naquela época, não era viável a substituição da geladeira elétrica pela geladeira a gás. Já os fogões a GN apresentaram-se 70,11% mais econômicos que os modelos a GLP. Por fim, considerando a substituição dos fogões a GLP e dos outros aparelhos elétricos citados, exceto a geladeira, todos por GN, a economia mensal para o consumidor foi de 20,14%.

Esses resultados mostram mais uma vez a contradição do ainda senso comum das construtoras de que os sistemas a GN são mais custosos, sendo na verdade 49% mais econômicos que os elétricos. Além disso, para o consumidor final, a economia pode ultrapassar a casa dos 20% substituindo equipamentos elétricos e a GLP por gás natural.

A partir dos estudos de casos consultados no setor residencial, pode-se constatar a real economia que pode ser obtida com a utilização de equipamentos domésticos a GN, em substituição aos elétricos e a GLP, o que corroboram as vantagens enumeradas anteriormente. Além disso, os estudos também serviram para desmistificar a ideia, ainda usual na construção civil, de que a previsão de sistemas a GN nas construções as tornam mais onerosas.

Em última análise, verifica-se que o mercado residencial do gás natural requer de maiores investimentos em pesquisas e desenvolvimento de novos produtos, além de maior regulação do setor. Neste sentido, faz-se necessário, entre outras medidas:

- Maior fiscalização das comercializadoras de GLP pela ANP;
- Maior atuação dos conselhos de engenharia e das prefeituras nas construtoras;
- Maior conscientização de engenheiros e arquitetos quanto ao atendimento à normas vigentes;
- A implantação de políticas de capacitação de mão de obra técnica especializada, principalmente para as empresas de instalação de rede de gás.

2.8 Panorama do setor comercial

O setor comercial abrange todos os estabelecimentos, classificados com pessoa jurídica, que prestam serviços diversos a terceiros e que consomem energia, como os shoppings centers, supermercados, aeroportos, hospitais, escolas, hotéis, bares, restaurantes, entre outros. Os principais energéticos consumidos neste setor são apresentados na Tabela 2.6 a seguir.

Tabela 2.6 – Principais Energéticos do Setor Comercial no Brasil

Energéticos	%
Energia Elétrica	89,0
GLP	5,7
Gás Natural	2,5
Lenha	1,2
Óleo Combustível	0,2
Óleo Diesel	0,1
Outros	1,3

Fonte: EPE (2013)

Observa-se nos comércios a mesma classificação das residências quanto aos energéticos utilizados. Mais uma vez, a Energia Elétrica é a mais consumida, devido aos mesmos motivos já mencionados, como a histórica massificação da hidroeletricidade no Brasil e a fabricação de equipamentos que utilizam apenas a eletricidade. O GLP, o GN e a Lenha mantêm, por anos, uma média próxima dos percentuais apresentados. Já o Óleo Combustível e o Óleo Diesel vêm mostrando uma tendência decrescente de consumo, sendo previsível a extinção de suas utilizações neste setor.

O consumo do GN, no entanto, tende a aumentar substancialmente com o desenvolvimento de novos equipamentos a GN e o potencial ganho de eficiência na substituição da eletricidade pela queima direta de combustível para gerar calor ou frio. Além disso, o mercado já disponibiliza equipamentos modernos e eficientes de cogeração, que, através de ciclos combinados, podem atingir rendimentos superiores a 85%.

As aplicações mais difundidas no setor comercial, nos quais o GN pode ser utilizado são: a cocção de alimentos, o aquecimento de água e a climatização. Para a cocção, são utilizados fogões e fornos industriais. Para o aquecimento de água, além dos aquecedores de passagem, de acumulação e o chuveiro elétrico, também pode ser usada uma caldeira de geração de vapor. Na climatização por sua vez, podem ser utilizados *chiller* de absorção a gás ou elétrico, bomba de calor, e os diversos aparelhos condicionadores de ar elétricos.

Podem ser citadas outras aplicações importantes em estabelecimentos comerciais que podem utilizar o GN, como a geração de energia elétrica, principalmente para suprir a demanda nos horários de ponta, e a cogeração, que, além da eletricidade, pode gerar frio ou calor, a depender da demanda.

Porém, para cada aplicação do setor comercial, assim como nas residências, é necessário avaliar qual a opção energética mais econômica e o retorno

dos investimentos. A seguir são apresentados alguns casos reais da utilização do GN nos comércios, em substituição aos seus concorrentes.

2.8.1 Estudos de caso no setor comercial

Em Bahiagás (2013), estão relatados alguns casos de substituição do GLP por GN na cidade de Salvador/BA, no setor comercial. Em 2009, um importante hotel da cidade investiu em torno R\$ 5.000,00 para adaptar suas instalações e equipamentos para a utilização do GN, entre eles: aquecedores de água, chapas de grelhar, fritadeiras, salamandras, fornos combinados e banho-maria. O hotel consumia em média 3.000 kg de GLP por mês, que custava em torno de R\$ 8.700,00. Após a conversão para o GN, este custo passou a ser de R\$ 6.000,00 por mês, gerando uma economia de 31% e menos de 02 meses para retorno do investimento (*payback*).

Em outro caso, 11 restaurantes de um shopping de médio porte de Salvador/BA também adaptaram seus equipamentos para a utilização do GN. Havia em 2009 um consumo médio de 300 kg de GLP por estabelecimento, a R\$ 2,67 o kg, que gerava em média R\$ 801,00 por mês, para cada restaurante. Quando estes passaram a utilizar o GN em 2010, o consumo mensal de combustível em regime estabilizado aumentou para 380 m³, aproximadamente, porém as faturas de gás de cada loja caíram para menos de R\$ 540,00, obtendo mais de 32% de economia.

Popli *et al.* (2012) analisaram a integração de um sistema de trigerção dentro de uma unidade processamento de gás natural (UPGN), para aumentar seu desempenho, combinando as funções de resfriamento e geração de energia ao sistema de aquecimento. A proposta foi utilizar o calor residual dos gases de escape das turbinas para gerar vapor de processo, diminuindo o desperdício de recuperação de calor. Para isso, parte do vapor gerado seria usada para a alimentação dos chillers de absorção e das turbinas a gás. Já a outra parte utilizada para atender o forno de aquecimento da carga e suplementos da geração de energia elétrica.

Os resultados indicaram que o sistema de trigerção a gás conseguiria recuperar 79,7 MW de calor residual na turbina a gás e 37,1 MW poderiam ser utilizados em três chillers de absorção para fornecer 45 MW de arrefecimento a 5°C. Isso poderia poupar cerca de 9,0 MW de energia elétrica exigida num chiller elétrico típico de compressão para oferecer a mesma quantidade de resfriamento. Além disso, o ciclo combinado geraria 22,6 MW de energia elétrica adicional para a planta, enquanto o processo de aquecimento do forno ainda reduziria 23% do consumo de óleo. No geral, o esquema de trigerção resultaria em uma economia dos custos operacionais de aproximadamente US\$ 20.900.000 com *payback* de um ano.

Este estudo ainda destacou os benefícios econômicos e ambientais significativos que poderiam ser alcançados através da implementação do sistema de cogeração integrado proposto na UPGN, particularmente em elevadas temperaturas ambientes e umidades, como as encontrados nas instalações do Oriente Médio.

Breda (2009) apresentou custos e viabilidade de implantação de sistemas de climatização e cogeração em prédios corporativos no estado de São Paulo. No primeiro caso, o autor analisou a substituição de um condicionador de ar central do tipo VRF² elétrico a água por um sistema GHP³ a GN. Com 13% (R\$ 315.000,00) do investimento no GHP sendo subsidiados pela Companhia de Gás de São Paulo (COMGÁS), os custos de implantação do sistema a GN se assemelharam aos do elétrico, gerando depois uma economia de 35% dos custos operacionais para o estabelecimento.

No segundo caso, o estudo mostrou a viabilidade de implantação de um sistema de cogeração através de um chiller de absorção a GN, em substituição ao chiller elétrico convencional. Novamente, como incentivo, a COMGÁS compartilhou o investimento para a aquisição do chiller a GN, em R\$ 1.000.000,00. Após a substituição, o estabelecimento atingiu uma economia de 30% dos custos operacionais, com payback de 4,5 anos e TIR de 33%.

Este trabalho também apresentou o caso do Shopping Praça da Moça, localizado no município de Diadema/SP, que, após implantar um sistema de ar condicionado a GN, houve uma redução de 30% do custo mensal com climatização. Os custos com energia elétrica nos horários de ponta também reduziram em 70%, pois, com a implantação de um gerador a GN, o shopping passou a gerar sua própria energia elétrica nesses horários.

Em Bahiagás (2009), é apresentado um estudo de fornecimento de GN, realizado do Hospital Geral do Estado da Bahia (HGE), para atender a demanda de uma lavanderia, que usava 800 kg/h de vapor produzido numa caldeira de 7,0 kgf/cm² a óleo combustível, e também para substituir o GLP utilizado para cocção no restaurante. A proposta foi apresentada considerando a desativação da caldeira, substituindo o vapor pela queima direta do GN nos secadores e nas calandras. A Bahiagás ainda se comprometeu em subsidiar os custos com a construção da rede interna de gás do hospital e com a adequação e conversão dos equipamentos.

² VRF (*variable refrigerant flow*), ou fluxo de refrigerante variável, é um sistema de climatização central, que pode ser elétrico ou a gás.

³ GHP (*Gas Heat Pump*) ou bomba de calor a gás é um tipo de VRF a gás.

Os resultados dessa intervenção levaram a uma redução dos custos em torno de 62% na lavanderia e 43% no restaurante. A desativação da caldeira e do parque de armazenamento do óleo também geraram grandes benefícios ambientais, tanto para o próprio hospital como para as comunidades vizinhas, que sofriam com a fuligem emitida pela chaminé da caldeira e com os constantes vazamentos de óleo. Vale acrescentar a vantagem com o espaço disponibilizado após a retirada desses equipamentos e a extinção das advertências e intimações dos órgãos públicos por conta da poluição que o hospital gerava.

Em Abegás (2008), são apresentados estudos de viabilidade para climatização de instalações comerciais, comparando várias opções de sistemas energéticos disponíveis no mercado, como *chillers*, GHP, VRF, *splits*, *selfs* e aparelhos tipo janela, para atender uma mesma quantidade de TR⁴, considerando os consumos dos equipamentos, os custos de manutenção e os valores de investimentos.

O primeiro caso estudado comparou a utilização de três sistemas de climatização - um *Split Sistem* elétrico, um VRF elétrico e um GHP a GN - para atender a uma capacidade de 300 TR ou demanda de 623.090 TRh. Os custos totais anuais foram de R\$ 578.343,00, R\$ 380.591,00 e R\$ 199.740,00, respectivamente, indicando uma economia a favor do GHP a GN de mais de 65% em relação ao *Split Sistem* e mais de 47% em relação ao VRF elétrico.

No segundo caso, foi comparado um GHP a GN com um chiller elétrico, agora para suportar uma capacidade de 120 TR. Nesta comparação, a redução de custos anuais utilizando o sistema a GN foi de R\$ 115.458,00, equivalente a uma economia de 43%.

No último caso, foi comparado um chiller de absorção a GN com um chiller elétrico, para uma capacidade de 375 TR. Verificou-se que o sistema a GN gerava um custo de R\$ 408.898,00 e o elétrico de R\$ 587.310,00, o que representa uma economia de R\$ 178.412,00 por ano ou 30% a favor do GN, além de reduzir o consumo anual de energia elétrica em mais de 952.000 kWh. Outro resultado desta análise foi a constatação de que os investimentos necessários aos dois sistemas eram praticamente iguais, sendo o sistema a GN 0,6% ainda mais barato que o elétrico.

⁴ TR ou Toneladas de Refrigeração é uma unidade de potência usada em climatização e representa o calor necessário para derreter uma tonelada de gelo em 24 horas. Já a TRh é a energia envolvida neste processo, cujo valor é equivalente a 3.024 kcal ou 12.000 BTU ou 3,52 kWh (IBP, 2009).

Barbosa *et al.* (2004) fizeram uma análise comparativa de alternativas energéticas para geração de calor em fornos de pequenas indústrias de panificação ou padarias. Para isso, foram realizadas visitas técnicas a seis empresas do ramo na cidade de Campina Grande/PB, identificando e comparando os custos mensais das diferentes opções energéticas, como lenha, eletricidade e gás natural.

Para a demanda média das padarias, foi considerado um desmanche diário de 6,0 sacos de farinha de trigo de 50,0 kg, trabalhando 26 dias por mês, ou seja, 7.800 kg/mês. Foi considerado ainda que, no caso da lenha, existia a necessidade de contratação e manutenção de mão de obra encarregada especificamente para abastecimento, descarga e limpeza do forno, o que gerava um custo mensal de R\$ 480,00 a mais. Desta forma, o custo mensal de cada opção energética, para alcançar a citada demanda, foi de: R\$ 556,91 para o GN, R\$ 1.725,43 para a eletricidade, e R\$ 2.088,50 para a lenha, ou seja, uma economia de 67,7% e 73,3% do GN em relação aos demais energéticos.

Assim, concluiu-se que o GN seria a melhor alternativa energética a ser utilizada em fornos de padarias na cidade de Campina Grande e em outras cidades com características e variáveis semelhantes. Este estudo apresentou, além das vantagens econômicas do GN no setor de panificação (setor comercial), um importante dado sobre o uso da lenha, que é o custo mensal de operação e manutenção que este combustível possui a mais do que os outros energéticos para o mesmo perfil de consumo considerado.

Szklo *et al.* (2000) apresentaram um modelo que foi desenvolvido para avaliar o potencial econômico dos empreendimentos que utilizam cogeração, na visão do investidor. Este trabalho também serviu para orientar as políticas públicas de incentivo à implantação da geração distribuída. O modelo proposto foi aplicado em dois casos no Brasil: primeiro numa fábrica de produtos químicos (setor industrial) e depois num *shopping center* (setor comercial).

Este trabalho mostrou que é nas plantas industriais onde se encontra o maior potencial econômico para a cogeração a GN no Brasil, porém confrontados com altos valores de perda de carga. Já no setor comercial, foi orientada como mais viável a adoção de medidas de reformulação da carga, como o armazenamento a frio, em vez da cogeração a gás propriamente dita. Os resultados desta pesquisa, considerando o período em que foi realizada, apontavam que a cogeração naquela época (em 2000) ainda era uma aplicação incipiente para o setor comercial.

Ademais, diante dos resultados apresentados em todos os trabalhos pesquisados, foi verificada a real economia gerada, adaptando ou substituindo

os equipamentos para a utilização do GN, seja para cocção, aquecimento, climatização ou geração de energia. Foi observado, entretanto, que, por ser um mercado em expansão, os investimentos para viabilizar tais modificações ainda requerem de subsídios, exigindo muitas vezes a participação das distribuidoras de GN.

2.9 Eficiência energética de equipamentos

Como se observou em alguns dos casos estudados, a eficiência energética de equipamentos representa um importante fator a ser levado em consideração na comparação de competitividade entre energéticos. Por isso, nesta seção, são abordadas referências de indicadores de eficiência de equipamentos, utilizados nos setores residencial e comercial, seja em termos rendimento ou produtividade.

No setor residencial, o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), com o seu Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), é a referência principal consultada para determinar os valores dos rendimentos de fogões, cooktops, fornos e aquecedores de água. Por meio deste programa, o Inmetro realiza avaliações de conformidade, com foco no desempenho, contribuindo para a racionalização do uso da energia no Brasil, através da prestação de informações sobre eficiência energética dos equipamentos disponíveis no mercado nacional.

O PBE é coordenado em parceria com o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET), da Petrobras, e o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), da Eletrobrás, que premiam os produtos mais eficientes na etiquetagem do Inmetro. Há décadas, o Inmetro divulga as tabelas de consumo e rendimento de aparelhos de variadas marcas, tendo englobado também nos últimos anos os equipamentos a GN disponíveis no mercado, os quais serão usados como referência.

Nas avaliações do Inmetro, verificam-se pequenas variações entre os rendimentos de equipamentos do mesmo tipo e que consomem o mesmo energético. Por exemplo, os fogões possuem rendimentos muito próximos, mesmo variando o fabricante, a marca, o modelo e a quantidade de bocas. O mesmo ocorre com aquecedores e demais aparelhos. Assim, a Tabela 2.7 apresenta os rendimentos médios de cada equipamento, que têm em comum a utilização do mesmo energético para a mesma função, independente do fabricante, da marca ou do modelo.

Tabela 2.7 – Rendimentos de Fogões, Cooktops, Fornos e Aquecedores

Equipamento	Energético	Rendimento
Fogão	GN	58,0%
	GLP	62,5%
Cooktop	GN	59,0%
	GLP	61,6%
Forno a gás	GN	50,7%
	GLP	51,4%
Forno elétrico	EE	65,0%
Aquecedor de passagem	GN	83,5%
	GLP	84,2%
Chuveiro elétrico	EE	95,0%
Aquecedor de acumulação	GN	79,4%
	GLP	78,9%
	EE	75,8%

Fonte: Inmetro (2013)

Vale ressaltar que esses rendimentos do PBE são relativos aos aparelhos no uso final da energia, logo, não são suficientes para analisar a eficiência energética global do processo, desde a geração primária até o consumo final. Entretanto, como o foco da pesquisa é avaliar a melhor alternativa na visão do consumidor, serão estes os dados usados para comparação dos energéticos.

No setor comercial, também são utilizadas as tabelas de eficiência do Inmetro para fogões e aquecedores de água, as quais também levam em consideração os fogões industriais.

Quanto aos rendimentos dos fornos comerciais, são usados como referência dados do Centro de Tecnologia do Gás (CTGÁS), que apresentam valores de eficiência de fornos de panificadoras, a gás e a lenha, em kg de farinha produzida (kgp) por unidade comercial de cada energético. Já para os fornos elétricos, o rendimento pode ser definido baseando-se numa pesquisa realizada em 17 padarias do Rio de Janeiro, na qual o consumo específico médio do forno elétrico foi de 1,15 kWh/kg de farinha produzida, que representa 51% do consumo médio total das padarias. Mantendo a coerência com as unidades dos outros energéticos pelo CTGÁS, em kgp por unidade comercial, o rendimento médio de um forno elétrico será de 0,87 kgp/kWh. A Tabela 2.8 apresenta todos esses valores.

Tabela 2.8 – Rendimentos de Fornos Comerciais

Equipamentos	Energético	Rendimento*
Forno a gás	GN	11,29 ¹ kg _p /m ³
	GLP	9,40 ¹ kg _p /kg
Forno a lenha	Lenha	352,11 ¹ kg _p /m ³
Forno elétrico	EE	0,87 ² kg _p /kWh

Fonte: ¹CTGÁS (2011); ²Celesc (2013) - * kg_p é a quantidade em kg de farinha produzida

Vale ressaltar que a eficiência da lenha e, conseqüentemente o preço, dependem da sua qualidade e umidade, os quais determinam seu PCS. No caso em referência, considerou-se a lenha de eucalipto com umidade média de 40% e PCS de 859.000 kcal/m³. Às vezes, na intenção de baixar o preço, alguns empresários utilizam lenha de qualidade inferior ou com maior umidade. Porém, estes fatores diminuem o rendimento deste energético e acabam aumentando o consumo e o custo final.

O aquecimento de água nos comércios também pode ser realizado por uma caldeira de geração de vapor, que alimenta um sistema central de distribuição de água quente. Para obter os rendimentos de uma caldeira, é preciso definir primeiro um padrão que usualmente é utilizada para a esta aplicação. Além disso, devido à dificuldade em encontrar dados diretos de eficiência de cada combustível numa mesma caldeira, foi necessário realizar as pesquisas e cálculos subsequentes.

Inicialmente, foi definida, como padrão, uma caldeira flamotubular da fabricante Aalborg, do tipo M3P, que opera na pressão de 10,5 kgf/cm² e produz 2.000 kg/h de vapor. Esta referência, apesar de não conter os valores diretos dos rendimentos da caldeira, apresenta dados importantes de consumos dos combustíveis utilizados, para aquela pressão e produção, que são: GN: 158 m³/h, GLP: 130 kg/h, Óleo Diesel: 144 kg/h e Óleo Combustível: 153 kg/h.

Na tabela de vapor saturado da caldeira Aalborg, para a citada pressão de 10,5 kgf/cm², observa-se que ela produz um total de calor de 664,2 kcal por kg de vapor gerado, entre calor sensível e calor latente, de 20°C a 185°C. Além disso, esta referência também apresenta os seguintes valores de PCI (Poder Calorífico Inferior) dos combustíveis utilizados na caldeira: GN: 9.065 kcal/m³, GLP: 11.025 kcal/kg, Óleo Diesel: 10.262 kcal/kg e Óleo Combustível: 9.750 kcal/kg.

De posse desses dados, para calcular os rendimentos de cada combustível na caldeira considerada, foi aplicado o balanço de energia subsequente, considerando:

- Q_f : Calor fornecido pelo combustível (kcal/h)
- Q_g : Calor total gerado pela caldeira (kcal/h)
- Q_v : Calor total do vapor (kcal/kg)
- η : Rendimento do combustível na caldeira (%)
- PCI: Poder Calorífico Inferior do combustível (kcal/kg ou kcal/m³)
- Z_c : Consumo do combustível na caldeira (kg/h ou m³/h)
- Z_v : Produção de vapor da caldeira (kg/h)
- Tem-se que: $Q_f \times \eta = Q_g$
- Onde: $Q_f = PCI \times Z_c$ e $Q_g = Q_v \times Z_v$

Logo:

- $\eta = Q_g / Q_f = (Q_v \times Z_v) / (PCI \times Z_c)$

Assim, a Tabela 2.9 foi montada e mostra os valores dos rendimentos calculados⁵.

Tabela 2.9 – Rendimentos de uma Caldeira Comercial

Tipo de combustível	Z_v ¹ (kg/h)	Q_v ² (kcal/kg)	Z_c ³ (kg/h; m ³ /h)	PCI ⁴ (kcal/kg; kcal/m ³)	η
Gás Natural	2.000	664,2	158	9.065	92,75%
GLP	2.000	664,2	130	11.025	92,68%
Óleo Diesel	2.000	664,2	144	10.262	89,89%
Óleo Combustível	2.000	664,2	152	9.750	89,64%

Fonte: ^{1,2,4}Aalborg (2013); ³CTGÁS (2011)

Quanto à climatização comercial, podem ser utilizados vários equipamentos, como *chillers*, GHP, VRF, *splits*, *selfs* e aparelhos janela. O princípio básico da climatização baseia-se no processo de reduzir a temperatura de um fluido refrigerante, para que depois ele possa trocar calor com o ambiente a ser condicionado, removendo o ar quente do seu interior.

Nos aparelhos elétricos, esta redução de temperatura ocorre pela expansão do fluido através de uma válvula, que o torna frio e de baixa pressão.

⁵ Para converter um equipamento a gás, os energéticos precisam ser intercambiáveis, ou seja, devem fornecer a mesma quantidade de energia. Isso pode ser verificado pelo cálculo do Índice de Wobbe, que equivale ao poder calorífico dividido pela raiz quadrada da densidade relativa.

Após as trocas de calor com o ambiente, o fluido passa por um compressor, voltando a ser quente e de alta pressão, condensa e segue novamente para a válvula de expansão, continuando o ciclo.

Já, nos chillers de absorção a gás, a redução da temperatura do fluido refrigerante ocorre pela remoção do seu calor quando em troca com uma solução absorvedora, geralmente de brometo de lítio. Para ocorrer esta absorção, a solução precisa de calor externo, o qual é fornecido pela queima do gás. Vale ressaltar que estes aparelhos, apesar de terem como energético principal um combustível, também precisam de eletricidade para funcionar os equipamentos auxiliares.

Esses rendimentos pesquisados serão muito importantes para auxiliar numa avaliação de competitividade energética mais ampla, como pretende a presente pesquisa. Porém, antes da proposta de um método que utilize tais fatores, na seção seguinte serão revisados os métodos tradicionais de comparação entre energéticos.

A Tabela 2.10 apresenta dados de consumo, produtividades e custos de manutenção de cada sistema de climatização em instalações comerciais.

Tabela 2.10 – Eficiências e Custos de Sistemas de Climatização

Sistema	Equipamento	Consumo*		Produtividade**		Custos Operacionais (R\$/TR.ano)	
		EE	GN	EE	GN	Tratamento químico	Manutenção
		kW _p /TR _p	m ³ /TR _{hp}	KW _p /KW _c	kWh _p /m ³ _c		
Gás Natural	Chiller Absorção água	0,03	0,24	117,33	14,67	5,00	69,00
	GHP ar	0,10	0,24	35,20	14,67	-	92,00
Elétrico	VRF ar	1,17	-	3,01	-	-	92,00
	Chiller Scroll água	0,92	-	3,83	-	5,00	115,00
	Chiller Scroll ar	1,26	-	2,79	-	-	115,00
	Self água	1,20	-	2,93	-	5,00	253,00
	Self ar	1,60	-	2,20	-	-	253,00
	Split central	1,60	-	2,20	-	-	253,00
	Split individual	1,70	-	2,07	-	-	253,00
	Janela	2,00	-	1,76	-	-	253,00

Fonte: Adaptado de Abegás (2008) - * kW_c e m³_c são os valores de kW e m³ consumidos, e TR_p e TR_{hp} são as TR e TR_{hp} produzidas - ** A Produtividade é o inverso do consumo, e kW_p e kWh_p são os valores de kW e kWh produzidos.

2.10 Competitividade entre energéticos

Os modelos tradicionais de avaliação de competitividade entre energéticos são realizados considerando apenas os preços e o poder calorífico de cada um, para ranqueá-los pelo custo específico, em R\$/kcal, R\$/kWh, R\$/MWh ou Dólar por barril de petróleo equivalente (US\$/bep). Esta metodologia é

generalizada e utiliza valores médios nacionais, sem levar em consideração fatores específicos importantes, como o setor produtivo em análise, o valor da demanda, a eficiência dos equipamentos e os custos operacionais.

Uma avaliação tradicional de competitividade é feita anualmente pelo BEN, que ranqueia os energéticos em US\$/bep. A Tabela 2.11 apresenta os resultados desta comparação entre os energéticos já mencionados como concorrentes do GN nos setores residencial e comercial, com dados do ano base de 2012.

Tabela 2.11 – Ranque Geral de Competitividade Energética pelo BEN

Energéticos	US\$/bep
Lenha	26,0
Óleo Combustível	77,7
Gás Natural	101,1
Óleo Diesel	174,5
GLP	196,9
Energia Elétrica	411,1

Fonte: EPE (2013)

Como se pode observar no ranque apresentado na Tabela 2.11, a Lenha é o energético mais competitivo, seguida do Óleo Combustível e do GN. No entanto, esta ordem de competitividade pode ser alterada, caso sejam considerados na análise, por exemplo, eficiências energéticas ou custos de manutenção.

Verifica-se que a maioria dos casos pesquisados nas seções 2.7.1 e 2.8.1, para avaliar a viabilidade de utilização do GN, também utilizam métodos tradicionais de cálculo, como o que é usado pelo BEN, que consideram apenas os preços dos energéticos e o poder calorífico de cada um. Alguns poucos levaram em consideração os rendimentos dos equipamentos e apenas dois abordaram os custos de operação e manutenção. Vale ressaltar também que cada avaliação adotou um formato diferente, dificultando sua utilização em outras comparações.

Dependendo do setor analisado, os preços podem variar bastante, o que acaba comprometendo os resultados dessas comparações gerais. A eficiência dos equipamentos, como foi visto na seção 2.9, também tem importante impacto no consumo real dos energéticos. Além disso, precisam ser considerados os custos de operação e manutenção, que implicam no aumento do custo final total.

Fica evidente então que essa avaliação tradicional e generalizada, que aborda apenas custo por energia disponível, não é suficiente para determi-

nar o energético mais competitivo. Faz-se necessário realizar uma avaliação mais ampla, de modo que as comparações levem em consideração outros itens específicos, que implicam no custo final para o consumidor, como os seguintes fatores:

- Os setores analisados e suas aplicações;
- Os equipamentos utilizados em cada aplicação;
- Os energéticos utilizados em cada equipamento;
- A eficiência de cada energético em cada equipamento;
- Os preços por setor e por faixa de consumo;
- Os custos de operação e manutenção.

Dessa forma, no intuito de preencher esta lacuna, no próximo capítulo são apresentados dois métodos de avaliação de competitividade entre energéticos. O primeiro é o método geral, que obedece ao modelo tradicional preço/energia apenas. Já o segundo, é a proposta de um método mais completo, que pode ser aplicado em qualquer setor produtivo, e que aborda todos os fatores citados como determinantes do custo total final para o consumidor.

A ideia é comparar os resultados de ambos, para avaliar a contribuição da proposta deste trabalho.

3. Métodos de avaliação de competitividade



O capítulo anterior, além de abordar o estado da arte do GN, apresentou um panorama sobre os setores residencial e comercial, estudos de viabilidade, eficiência energética de equipamentos e os atuais métodos de comparação de competitividade entre energéticos. Observou-se que a comparação tradicional, como usualmente é feita, pode trazer divergência ao apontar o energético mais econômico, pois é muito generalista e não há critérios completos de avaliação.

Assim, no presente capítulo, são apresentados dois métodos de avaliação de competitividade. Inicialmente, é abordado o método de comparação tradicional pelo custo específico, que analisa apenas os preços por energia disponível, e depois é proposto um método de comparação pelo custo total, que considera todos os fatores que podem influenciar no custo final do energético para o consumidor.

3.1 Método de avaliação tradicional

Este método de comparação geral considera apenas o preço que se paga pela unidade comercial de cada energético, para que seja calculado o denominado Custo Específico de cada um. O objetivo desta análise tradicional é determinar um ranque que mostra qual energético é o mais econômico para gerar a mesma quantidade de energia, em MWh, ou seja, o que tem o menor Custo Específico.

Para calcular o Custo Específico de cada energético, é utilizada a seguinte equação:

$$\text{CUSTO ESPECÍFICO} = (\text{PREÇO} \div \text{PCS}) \times 1.000 \quad (3.1)$$

Onde:

CUSTO ESPECÍFICO: Custo de 1,0 MWh (R\$/MWh);

u: unidade comercial do energético;

PREÇO: Preço da unidade comercial do energético (R\$/u);

PCS: Poder Calorífico Superior comercial do energético (kWh/u).

3.1.1 Energéticos avaliados

Os energéticos escolhidos nesta avaliação serão os mesmos definidos nas Tabelas 2.5 e 2.6, apontados como concorrentes do GN nos setores residencial e comercial, segundo o último BEN, ou seja: o próprio GN, o GLP, o diesel, o óleo combustível, a lenha e a energia elétrica. Definidos os energéticos, é necessário levantar os preços das unidades comerciais de cada um e os seus PCS.

3.1.2 Poderes caloríficos superiores

Os valores dos PCS serão os mesmos utilizados pelo BEN, que traz os valores de PCS e Massa Específica de cada energético, como mostra a Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Massas Específicas e Poderes Caloríficos Superiores

Energéticos	Massa Específica (kg/m ³)	PCS (kcal/kg)	Unidade Comercial (u)	PCS Comercial (kcal/u)	PCS Comercial (kWh/u)
Eletricidade	-	860*	kWh	860	1,0
GLP	552	11.750	kg	11.750	13,7
Gás natural	0,74	9.256**	m ³	9.256	10,8
Lenha	300	3.300	m ³	990.000	1.151,2
Óleo combustível	1.000	10.085	kg	10.085	11,7
Óleo diesel	840	10.750	L	9.030	10,5

Fonte: EPE (2013) - * Em kcal/kWh, equivalência energética entre as unidades kcal e kWh - ** Em kcal/m³

As unidades dos valores de PCS da tabela original do BEN estão todos em kcal/kg, porém apenas o GLP e Óleo Combustível (OC) utilizam o kg como unidade comercial. Assim, foi necessário inserir mais três colunas para ajustar os PCS para as unidades em que os energéticos são comercializados.

Os PCS do GN e da Eletricidade já estão dados em relação às suas unidades usuais, m³ e kWh, respectivamente. Vale ressaltar que o valor de 860 kcal/kWh é apenas um equivalente energético da Eletricidade em relação ao calor, e não propriamente um PCS. Porém, foi mantido termo PCS para designar a energia contida em uma unidade comercial de energético, qualquer que seja ele.

No caso da Lenha, o PCS foi multiplicado pela massa específica para convertê-lo para kcal/m³. Já para o Diesel, além da massa específica, o PCS também foi multiplicado por 1.000 para convertê-lo em kcal/l, que é sua unidade comercial.

Finalmente, os valores da penúltima coluna foram divididos por 860 para converter os PCS comerciais de kcal/u para kWh/u, obtendo a última coluna da Tabela 3.1, que mostra os valores de PCS relacionados com as unidades comerciais.

3.1.3 Preços médios dos energéticos

Para obter o preço da Lenha, foram utilizados os dados do Comprasnet, que é o portal oficial de compras do Governo Federal, vinculado ao Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. O preço médio nacional para compra de lenha de eucalipto nas últimas licitações foi de R\$ 53,21/m³ em 2012 e de R\$ 50,33/m³ em 2013.

No caso do GLP, Óleo Diesel e Óleo Combustível, foram utilizadas duas referências oficiais, a ANP e o CONFAZ (Conselho Nacional de Política Fazendária), que realizam pesquisas periódicas de preços médios de combustíveis ao consumidor final, para os estados brasileiros. Assim, a Tabela 3.2 apresenta os preços finais médios de cada energético, obtido através da média entre as duas referências.

Tabela 3.2 – Preços Médios de Combustíveis

Energéticos	Unidade comercial (u)	CONFAZ Brasil (R\$/u) ¹		ANP Brasil (R\$/u) ²		ANP Bahia (R\$/u) ²		Média Geral (R\$/u)	
		2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013
Óleo Diesel	L	2,10	2,36	2,05	2,33	1,95	2,29	2,03	2,33
GLP	kg	3,01	3,19	3,01	3,19	2,81	2,92	2,94	3,10
Óleo Combustível	kg	1,83	2,19	-	-	-	-	1,83	2,19

Fonte: ¹CONFAZ (2013); ²ANP (2013)

Quanto aos preços da Energia Elétrica, a referência oficial é a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), cujos valores são apresentados na Tabela 3.3, para os setores residencial e comercial, incluindo os impostos. Verifica-se que a média nacional geral é de R\$ 0,32/kWh em 2012 e R\$ 0,29/kWh em 2013.

Tabela 3.3 – Preços Médios de Energia Elétrica

Classe de consumo	Centro Oeste		Nordeste		Norte		Sudeste		Sul		Média no Brasil	
	2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013
Comercial	0,31	0,28	0,33	0,29	0,33	0,30	0,30	0,28	0,30	0,26	0,31	0,28

Fonte: ANEEL (2013) - * Preços médios em R\$/kWh.

Para o Gás Natural, são utilizados como referência os preços nacionais divulgados pelo Instituto Brasileiro do Petróleo, Gás e Biocombustíveis (IBP), conforme dados apresentados na Tabela 3.4. Esta tabela foi adaptada para a moeda nacional, usando valores médios do câmbio, e para a unidade comercial do GN em m³.

Tabela 3.4 – Preços Médios de Gás Natural

Região	Origem	US\$/MMBTU*		R\$/m ³ **	
		2012	2013	2012	2013
Centro Oeste	Importado	11,75	11,53	0,82	0,94
Nordeste	Nacional	12,82	13,33	0,90	1,08
Sudeste	Importado	9,87	10,22	0,69	0,83
	Nacional	12,54	13,05	0,88	1,06
Sul	Importado	10,42	10,24	0,73	0,83
Preço médio no Brasil		11,48	11,67	0,80	0,95

Fonte: IBP (2013) - * 1 MMBTU = 106 BTU = 252.200 kcal - ** US\$ = R\$ 1,91 em 2012 e US\$ 1 = R\$ 2,21 em 2013. PCS = 9.256 kcal/m³

Como se observa na Tabela 3.4, o preço médio do GN para o Brasil foi de R\$ 0,80/m³ em 2012 e de R\$ 0,95/m³ em 2013, que são os valores utilizados nessa avaliação tradicional. Já os dados da Tabela 2.4 serão utilizados apenas nas avaliações específicas por setor, no estado da Bahia, objeto do próximo método.

Os resultados desta avaliação serão apresentados na seção 4.1.

3.2 Método de avaliação pelo custo total

Este método é uma proposta apresentada pelo presente trabalho, motivada pela hipótese de que o método tradicional de avaliação é incompleto por não considerar todos os fatores que influenciam no preço final dos energéticos. Assim, o objetivo deste método é estabelecer um procedimento de cálculo do custo total de cada opção energética, considerando os seguintes fatores: setor produtivo, tipo de aplicação, valor da demanda, tipo de equipamentos e seus rendimentos, energéticos utilizados, seus preços, poderes caloríficos e os custos de operação e manutenção.

Primeiramente, foi necessário separar a análise por setor produtivo e selecionar as principais aplicações de cada setor. Em seguida, foram realizadas as seguintes etapas para cada aplicação selecionada:

- a) Listar os equipamentos possíveis de utilização e seus respectivos energéticos;

- b) Definir as demandas a serem atendidas;
- c) Determinar os rendimentos ou produtividades dos equipamentos;
- d) Levantar os preços dos energéticos, por setor, aplicação e faixa de consumo;
- e) Levantar os custos de operação e manutenção de cada opção energética;

Por fim, calcular os custos totais de cada opção energética para atender as demandas especificadas, através das seguintes equações:

$CT = DEMANDA \div PC$	(3.2)
$CR = CT \div \eta$	(3.3)
$CCE = CR \times PREÇO$	(3.4)
$CTE = CCE + COM$	(3.5)

Onde:

CTE: Custo Total do Energético (R\$);

CCE: Custo com Consumo de Energia (R\$);

COM: Custos de Operação e Manutenção (R\$);

u: unidade comercial do energético;

CR: Consumo Real (u);

PREÇO: Preço da unidade comercial do energético, por setor (R\$/u);

CT: Consumo Teórico (u);

η : Eficiência, rendimento ou produtividade (% , produção/consumo);

DEMANDA: Demanda da aplicação (kWh, produção de certo item);

PC: Poder Calorífico comercial do energético (kWh/u).

O energético mais competitivo será aquele que possuir o menor Custo Total para atender a mesma demanda definida para todos. Para facilitar a análise na visão do consumidor, estes custos são aferidos no período mensal.

Essas equações podem sofrer variações dependendo do equipamento utilizado. Para fornos industriais e sistemas de climatização, por exemplo, em vez dos rendimentos, utiliza-se a produtividade dos equipamentos, não sendo necessário o uso do PC no cálculo, e o consumo teórico se torna a própria demanda. Assim as equações 3.2 e 3.3 ficam:

$$CT = DEMANDA$$

$$CR = CT \div \eta = DEMANDA \div \eta$$

Vale ressaltar que, em princípio, todos os consumidores avaliados podem ser atendidos pelos energéticos em análise, de maneira técnica e economicamente viável para o fornecedor. Assim, considera-se que nos locais abordados existem rede de distribuição de GN disponível. Vale lembrar também que não serão considerados os custos com aquisição e instalação de equipamentos, assim como cálculos de retorno dos investimentos.

3.2.1 Setor residencial

Nesta seção, foram levantados os dados para a aplicação do método de avaliação específica no setor residencial, seguindo as etapas sugeridas na seção anterior. Assim, de acordo com a seção 2.7, as principais aplicações residências são:

- Cocção de alimentos
- Aquecimento de água

O aquecimento de água mencionado é referente a uma unidade habitacional e apenas para o banho e torneiras. Outras aplicações residenciais, apesar de já serem usuais, não serão alvo de comparação, como o aquecimento de ambientes e a climatização.

3.2.1.1 Cocção de alimentos residencial

a) Equipamentos e energéticos utilizados

A cocção de alimentos pode ser feita em fogões comuns, *cooktops* ou fornos. Tanto os fogões como os *cooktops* podem utilizar o GN ou o GLP. Os fornos a gás, acoplados ou não aos fogões, também utilizam GN ou GLP, e, no caso dos fornos elétricos, a Energia Elétrica.

b) Definição da demanda

Para a definição da demanda, foi considerado o consumo de uma família de 04 pessoas, estimado na média de um botijão de GLP de 13 kg por mês. Como o PCS do GLP é de 11.750 kcal/kg, a demanda requerida para esta aplicação, em kWh, seria de 177,6 kWh ($13 \text{ kg} \times 11.750 \text{ kcal/kg} \times 1,0 \text{ kWh}/860 \text{ kcal}$).

Este valor foi arredondado para 180 kWh, sem prejuízo para as comparações, pois o mesmo foi aplicado para todos os energéticos. Como aproximadamente 1/3 do botijão doméstico é utilizado no forno, a demanda para os fogões ou *cooktops* será de 120 kWh, e de 60 kWh para os fornos a gás (GN ou GLP) ou elétrico.

c) Rendimentos dos equipamentos

Para os rendimentos dos aparelhos de consumo, foram utilizados os

valores da Tabela 2.7, obtida das tabelas de eficiência energética do Inmetro.

d) Preços dos energéticos

Quanto ao preço do GLP, foi utilizada a Tabelas 3.2, na qual se obtêm o valor de R\$ 2,92/kg para o estado da Bahia. Para a Energia Elétrica, utilizou-se a Tabela 3.3, onde o preço relativo ao setor residencial na região nordeste é de R\$ 0,28/kWh.

Quanto ao preço do GN, foi utilizado o valor apresentada na Tabela 2.4 para o setor residencial, que tem tarifa única de R\$ 1,73/m³, independente da faixa de consumo. Outro detalhe importante é que este preço é relativo ao PCS de referência de 9.400 kcal/m³ usado nos contratos de GN, sendo necessário corrigir para o PCS médio utilizado nesta pesquisa de 9.256 kcal/m³. Assim, o preço do GN residencial na Bahia será de: R\$ 1,73 x 9.256/9.400 = R\$ 1,70/m³.

e) Custos de operação e manutenção

Estes custos não foram considerados para esta aplicação, pois seus valores mensais são irrisórios em comparação com os outros custos, na visão do consumidor, qualquer que seja o energético.

3.2.1.2 Aquecimento de água residencial

a) Equipamentos e energéticos utilizados

Os equipamentos utilizados para aquecimento água são: os aquecedores de passagem ou de acumulação e os tradicionais chuveiros elétricos. Os aquecedores de passagem aquecem a água no momento do uso e geralmente atendem a apenas um ponto de consumo. Neste grupo estão os aquecedores a gás (GN ou GLP) ou elétricos (chuveiros elétricos). Já os aquecedores de acumulação pré-aquecem a água e a mantém num reservatório para atender a vários pontos de consumo numa mesma residência (privativos) ou num conjunto delas (coletivos). Estes também podem ser a gás ou elétricos (boilers elétricos).

b) Definição da demanda

A demanda para esta aplicação foi definida considerando a energia média em kWh necessária para uma família de 04 pessoas, cada uma realizando 02 banhos de 10 minutos por dia, com um chuveiro elétrico de 4,5 kW. Desta forma, a demanda de energia a ser consumida num mês será de 180 kWh (4,5 kW x 20 min/dia/pessoa x 4 pessoas x 30 dias x 1,0 h / 60 min).

c) Rendimentos dos equipamentos

Os dados de referência para os rendimentos dos equipamentos também foram extraídos das tabelas do Inmetro, apresentados na Tabela 2.7.

d) Preços dos energéticos

Quanto aos preços, foram utilizados os mesmos valores abordados na aplicação de cocção de alimentos residencial.

e) Custos de operação e manutenção

Estes custos também não foram considerados para esta aplicação, já que apresentam para o consumidor valores mensais muito inferiores aos outros custos.

3.2.2 Setor comercial

De acordo com a seção 2.8, as aplicações principais do setor comercial são:

- Cocção de alimentos
- Aquecimento de água
- Climatização

Outras aplicações importantes como a geração de energia nos horários de ponta, e até mesmo a cogeração, não foram alvos de comparação, apesar da revisão da literatura ter mostrado alguns casos comprovados de ganhos econômicos com a utilização do GN.

3.2.2.1 Cocção de alimentos comercial

a) Equipamentos e energéticos utilizados

A cocção de alimentos nos estabelecimentos comerciais é realizada principalmente utilizando os fogões industriais, a GN ou GLP, ou em fornos, que podem consumir GN, GLP, Lenha ou Energia Elétrica.

b) Definição da demanda

A definição da demanda para o fogão industrial tomou como base o consumo médio mensal de GLP dos restaurantes de um shopping da cidade de Salvador/BA, que é em torno de 300 kg cada um. Assim, multiplicando este consumo pelo PCS do GLP de 11.750 kcal/kg e dividindo pelo equivalente elétrico de 860 kcal/kWh, a demanda será de aproximadamente 4.100 kWh.

Para os fornos, a demanda foi definida como a produção de certo item, ao invés da quantidade de energia. Para isso, foi considerada uma panificadora que consome em média 05 sacos de farinha por dia e opera 26 dias por mês. Como um saco de farinha pesa 50 kg, a demanda mensal foi de 6.500 kg de farinha (05 sacos/dia x 50 kg/saco x 26 dias).

c) Rendimentos dos equipamentos

Os rendimentos dos fogões foram os mesmos utilizados no setor residencial (Tabela 2.7), extraídos das tabelas de eficiência do Inmetro, as quais

também levam em consideração os fogões industriais.

Quanto aos rendimentos dos fornos, foi utilizada a Tabela 2.8, que apresentam valores de referência para fornos de panificadoras, em kg de farinha/unidade comercial de cada energético.

d) Preços dos energéticos

Para o preço do GN, verificou-se que a demanda do fogão de 4.100 kWh representa um consumo de 656,8 m³ de GN. Então, de acordo com a Tabela 2.4, realizando a cascata das faixas de consumo do setor comercial, se obtém uma tarifa média de R\$ 1,79/m³, já inclusos os impostos. Corrigindo para o PCS de referência, o preço do GN foi de R\$ 1,76/m³ (1,79 x 9.256 / 9.400).

Para o preço da Energia Elétrica, foi utilizada a Tabela 3.3, observando a faixa do setor comercial e da região nordeste, igual a R\$ 0,29/kWh. Para o GLP, foi utilizado o valor da Tabela 3.2, de R\$ 2,92/kg, referente ao preço para o estado da Bahia. Já no caso da Lenha, foram usados como referência dados do site Mfrural, que é um portal de negócios rurais, onde o preço médio negociado pela lenha de eucalipto para caldeiras e fornos, no estado da Bahia, foi de R\$ 55,32/m³, incluindo os impostos.

e) Custos de operação e manutenção (COM)

No caso específico da Lenha, além do custo do produto, devem ser acrescentados os custos com a operação do forno, pois há a necessidade de contratação e manutenção de mão de obra especializada para abastecer, descarregar e limpar o forno, o que gera em torno de R\$ 480,00 por mês. Esta referência é de 09 anos atrás e referente a uma produção 7.800 kg de farinha. Assim, atualizando para os dias atuais, a uma taxa de juros estimada em 7% ao ano, e para a Demanda definida de 6.500 kg, os COM da lenha por mês serão de R\$ 1.059,00 [480x7800 / 6500x(1+0,07)⁹]. É importante destacar que este custo relativo à Lenha tem valor irrisório para os demais energéticos.

3.2.2.2 Aquecimento de água comercial

a) Equipamentos e energéticos utilizados

Para o aquecimento de água no setor comercial, exclusivamente para o banho, torneiras e pias, além dos mesmos aquecedores de passagem, de acumulação e chuveiros elétricos do setor residencial, pode ser utilizada uma caldeira para a geração de vapor. Nos aquecedores de passagem, podem ser consumidos GN ou GLP. Já os aquecedores de acumulação, além do GN e do GLP, também podem ser elétricos. No caso das caldeiras, que geram vapor para aquecer a água que alimenta todo o estabelecimento, podem ser utilizados vários combustíveis, como GN, GLP, Óleo Diesel (OD) ou Óleo Combustível (OC).

b) Definição da demanda

A demanda de energia foi definida para aquecer a água de 400 apartamentos de um hotel hipotético, considerando cada unidade com um chuveiro elétrico de 4,5 kW de potência que funcionam uma hora por dia durante os 30 dias do mês. Assim, o consumo teórico de energia num mês foi de 54.000 kWh ($400 \times 4,5 \text{ kW} \times 1\text{h/dia} \times 30 \text{ dias}$).

c) Rendimentos dos equipamentos

Para os aquecedores de passagem, de acumulação e chuveiros elétricos foram utilizados os mesmos valores da Tabela 2.7. Já os rendimentos da caldeira serão extraídos da Tabela 2.9, que representa uma do tipo flamotubular da fabricante Aalborg, de 10,5 kgf/cm² e 2.000 kg/h de vapor.

d) Preços dos energéticos

Para o preço do GN, a demanda de 54.000 kWh é equivalente a um consumo de 6.008,7 m³ de GN. Então, pela cascata das faixas de consumo do setor comercial da Tabela 2.4, se obtém uma tarifa média de R\$ 1,42/m³, já inclusos os impostos. Corrigindo para o PCS de referência, o preço do GN ficou em R\$ 1,40/m³ ($1,42 \times 9.256 \div 9.400$).

Os preços para o GLP e Energia Elétrica foram os mesmos aplicados para a cocção de alimentos comercial. Já os preços do OD e OC foram extraídos da Tabela 3.2, selecionando os dados para o estado da Bahia.

e) Custos de operação e manutenção (COM)

Para os custos de operação e manutenção dos chuveiros elétricos, aquecedores a gás e aquecedores elétricos, foram definidos em torno de R\$ 200,00, R\$ 200,00 e R\$ 300,00, respectivamente, a cada 02 anos, por unidade. Assim, para o caso em análise, que é um hotel de 400 apartamentos, considerando um aparelho por unidade, estes custos mensais serão de R\$ 3.333,00 ($400 \times \text{R\$}200,00 \div 24 \text{ meses}$) para os chuveiros elétricos e aquecedores a gás, e de R\$ 5.000,00 ($400 \times \text{R\$} 300,00 \div 24 \text{ meses}$) para os aquecedores elétricos.

Para aferir os COM da caldeira, que envolvem depreciação, mão de obra, armazenamento e energia, foram utilizadas informações contidas em Bahiagás (2009) e Correa (2002). Na primeira referência, observa-se que os COM de uma caldeira que consome OC para produzir 800 kg/h de vapor foi de R\$ 15.052,92 por mês. Já em Correa (2002), usando uma caldeira de 7.000 kg/h de vapor, foram apurados COM mensais de R\$ 15.686,46 para o OC.

Assim, fazendo a média entre as duas referências citadas, atualizando os valores para 2013 a uma taxa de juros estimada em 7% ao ano, e corrigindo para a produção de 2.000 kg/h de vapor da caldeira flamotubular Aalborg, os COM da caldeira padrão em análise para utilizar OC, serão de R\$ 29.380,94

por mês $\{[15.052,92 \times (2.000 \ 800) \times (1+0,07)^4 + 15.686,46 \times (2.000 \ 7.000) \times (1+0,07)^{11}] \ 2\}$.

Ainda segundo Correa (2002), os COM de uma caldeira a GN são 33% menores que uma caldeira a OC, ou seja, R\$ 9.695,71 por mês (33% de 29.380,94). Para o OD, estimam-se COM de 80% do OC, ou seja, de R\$ 23.504,75, por se exigir praticamente as mesmas atividades de operação e manutenção. Já para o GLP, COM de 50% do OC, em torno de R\$ 14.690,47, por ter custos mais reduzidos de mão de obra e armazenamento.

3.2.2.3 Climatização comercial

a) Equipamentos e energéticos utilizados

Com exposto anteriormente, a climatização de ambientes, para o setor comercial, pode ser realizada de várias maneiras. Na maioria dos estabelecimentos comerciais, são utilizados os tradicionais condicionadores de ar elétricos, sejam eles do tipo janela ou splits, ou aparelho de grande porte, como os selfs, os VRF e os chillers. Já a opção de climatização utilizando como energético principal o GN pode ser feita através de um chiller de absorção ou um GHP.

Geralmente, para pequenos comércios, são utilizados condicionadores elétricos individuais, como os splits ou janela. Já os estabelecimentos comerciais de grande porte utilizam aparelhos coletivos, para climatizar ambientes maiores, ou sistemas centrais que distribuem o fluido refrigerante pelos aparelhos de cada unidade, como os elétricos splitão, self e VRF, ou os que utilizam gás, chiller de absorção e GHP.

b) Definição da demanda

Para definir a demanda de energia, em kWh, a ser atendida pelas opções de climatização citadas, foi utilizado como padrão o mesmo hotel de 400 apartamentos analisado no aquecimento de água. Considerando que cada unidade possua um aparelho split de 12.000 BTU/h ou 3,52 kW, a potência total será de 1.408 kW. Considerando ainda que cada aparelho funciona 05 horas por dia durante 30 dias no mês, a demanda teórica mensal foi de 211.200 kWh (1.408 kW x 5 h/dia x 30 dias).

c) Rendimentos dos equipamentos

Para os valores dos rendimentos, foi utilizada a Tabela 2.10, que apresenta as produtividades de cada equipamento, em kW produzido por kW consumido para a Energia Elétrica, e em kWh produzido por m³ consumido para o GN. Vale acrescentar que os aparelhos a GN também consomem eletricidade, logo também possuem rendimentos em kW_p/kW_c para esta parcela de consumo.

d) Preços dos energéticos

Para o GN, observa-se que a demanda de 211.200 kWh gera um consumo de 14.400 m³ de GN no chiller de absorção. Então, pela Tabela 2.4, fazendo a cascata das faixas de consumo da Cogeração comercial, que também é utilizada para Climatização comercial, se obtém uma tarifa média de R\$ 0,98/m³, já inclusos os impostos. Corrigindo para o PCS de referência, o preço do GN foi de R\$ 0,96/m³ ($0,98 \times 9.256 \div 9.400$).

Já para a Energia Elétrica, foi utilizado o mesmo preço médio das outras aplicações do setor comercial, para a região Nordeste, conforme a Tabela 3.3, de R\$ 0,29/kWh. Vale comentar que em todo o país as concessionárias de Energia Elétrica aplicam preços diferenciados que dependem do horário de consumo (se são horários de ponta ou fora de ponta) ou se ocorrem em períodos úmidos ou secos. Estes fatores aumentariam mais ainda o preço médio da eletricidade, porém não foram considerados nesta comparação.

e) Custos de operação e manutenção (COM)

Os custos de operação e manutenção dos equipamentos e sistemas de climatização também foram extraídos da Tabela 2.10. Entretanto, esta tabela apresenta valores anuais, de 05 anos atrás e em R\$/TR. Por isso, foi necessário convertê-los para R\$/kW, totalizar para a potência do hotel de 1.408 kW, atualizar para 2013 a uma taxa de juros compostos estimada em 7% ao ano, e depois transformar em valores mensais. Assim, para cada equipamento, seus COM foram determinados pelo seguinte cálculo: COM da Tabela 2.10 (em R\$/TR) x 1,0 TR/3,52 kW x 1.408 kW x $(1+0,07)^5 \div 12$ meses.

Os resultados desse levantamento para os setores residencial e comercial, aplicando o método proposto, estão apresentados na seção 4.3. Já o Apêndice A apresenta alguns exemplos dos cálculos detalhadamente.

4. Resultados das avaliações de competitividade

Neste capítulo, são apresentados os resultados das avaliações utilizando os métodos abordados no capítulo anterior. Assim, usando o método tradicional, primeiramente é feito um ranque geral dos energéticos em relação ao custo específico. Depois são apresentados os resultados das avaliações pelo método proposto do custo total, nos setores residencial e comercial do estado da Bahia, indicando as melhores opções energéticas para atender a cada demanda. Ao final, é feita uma síntese das avaliações e uma análise dos resultados da comparação entre o GN e com cada um dos seus concorrentes.



4.1 Avaliação tradicional

A partir dos valores dos preços médios e dos PCS comerciais levantados no capítulo anterior, através da Equação 3.1, foi possível calcular o Custo Específico de cada energético e ranqueá-los em R\$/MWh, como apresenta a Tabelas 4.1 e Figura 4.1.

Tabela 4.1 - Custo Específico entre Energéticos no Brasil

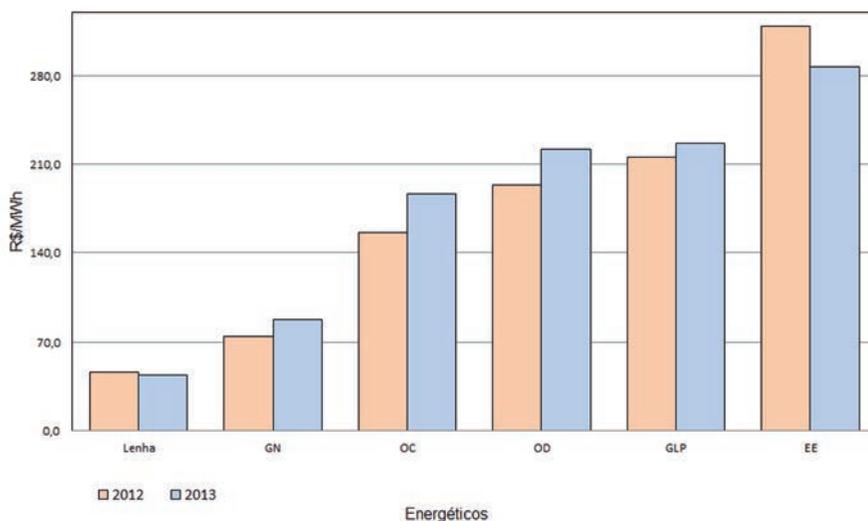
Energéticos	Unidade comercial (u)	Preço (R\$/u)		PCS ¹ (kcal/u)	PCS ¹ (kWh/u)	Custo Específico (R\$/MWh)	
		2012	2013			2012	2013
Lenha	m ³	53,21 ²	50,33 ²	990.000	1.151,2	46,22	43,72
GN	m ³	0,80 ³	0,95 ³	9.256	10,8	74,77	87,98
Óleo Combustível (OC)	kg	1,83 ⁴	2,19 ⁴	10.085	11,7	156,05	186,69
Óleo Diesel (OD)	L	2,03 ⁵	2,33 ⁵	9.030	10,5	193,65	221,56
GLP	kg	2,94 ⁵	3,10 ⁵	11.750	13,7	215,43	226,67
Energia Elétrica (EE)	kWh	0,32 ⁶	0,29 ⁶	860	1,0	318,90	286,58

Fonte: ¹EPE (2013); ²Comprasnet (2013); ³IBP (2013); ⁴Confaz (2013); ⁵ANP (2013); ⁶ANEEL (2013)

Analisando a Tabela 4.1 e a Figura 4.1, verifica-se que, tanto em 2012 como em 2013, a ordem de competitividade é a mesma, com aumento de preço para a maioria dos energéticos. A lenha é o energético que possui o menor Custo Específico, ou seja, o que tem o menor preço relativo para se produzir a mesma quantidade de energia. O GN é o segundo mais competitivo. Observa-se também uma pequena divergência do ranque apresentado pelo BEN na Tabela 2.11, ano base 2002, apenas com relação ao segundo e terceiro colocados, onde apontava o OC sendo mais competitivo que o GN. Isso se deve ao fato de que o BEN utiliza pesquisa de preços do OC apenas no estado do Rio de Janeiro, enquanto no presente método os preços são nacionais e divulgados pelo CONFAZ.

Não obstante a essas pequenas diferenças de fonte de dados, observa-se que estes ranques tradicionais são limitados para apontar a melhor opção energética, pois são generalizados e consideram apenas preço e poder calorífico, deixando de abordar fatores importantes, como eficiência energética e custos de operação e manutenção. Assim, ratifica-se a necessidade da aplicação do método proposto, que considera todos os fatores que compõem o custo total final de cada energético, e cujos resultados são apresentados nas próximas seções.

Figura 4.1 – Custo Específico entre Energéticos no Brasil



4.2 Avaliação pelo custo total do setor residencial

Nesta seção, são apresentados os resultados do método de avaliação pelo custo total específico para as aplicações do setor residencial, conforme as orientações da seção 3.2.

4.2.1 Cocção de alimentos

A partir dos dados levantados na seção 3.2.1.1 e com o auxílio das equações 3.2 a 3.5, a Tabela 4.2 e Figuras 4.2 e 4.3 foram construídas e apresentam as comparações entre os energéticos do setor residencial, para a cocção de alimentos.

O Apêndice A contém um exemplo de cálculo do CTE do GN usado em fogões, para atender a uma demanda de 120 kWh, e cujo procedimento foi o mesmo para os demais.

Tabela 4.2 – Avaliação Residencial para Cocção de Alimentos

Demanda	Equipamentos	EU	u	PC ¹ (kWh/u)	CT (u)	η^2	CR (u)	Preço (R\$/u)	CCE (R\$)	CTE (R\$)	ECO GN
120 kWh	Fogão	GN	m ³	10,8	11,1	0,58	19,2	1,70 ³	32,7	32,7	-
		GLP	kg	13,7	8,8	0,63	14,1	2,92 ⁴	41,0	41,0	20,2%
	Cooktop	GN	m ³	10,8	11,1	0,59	18,9	1,70 ³	32,2	32,2	-
		GLP	kg	13,7	8,8	0,62	14,3	2,92 ⁴	41,6	41,6	22,6%
60 kWh	Forno a gás	GN	m ³	10,8	5,6	0,51	11,0	1,70 ³	18,7	18,7	-
		GLP	kg	13,7	4,4	0,51	8,5	2,92 ⁴	24,9	24,9	24,9%
	Forno elétrico	EE	kWh	1,0	60,0	0,65	92,3	0,28 ⁵	25,7	25,7	27,2%

LEGENDA: EU: Energéticos Utilizados • GN: Gás Natural • GLP: Gás Liquefeito de Petróleo • EE: Energia Elétrica • ECO GN: Economia do GN em relação aos demais energéticos

Fonte: ¹EPE (2013); ²Inmetro (2013); ³Bahiagás (2013); ⁴ANP (2013) e Confaz (2013); ⁵ANEEL (2013)

Figura 4.2 – Custo Total de Cocção de Alimentos em Fogões e Cooktops Residenciais

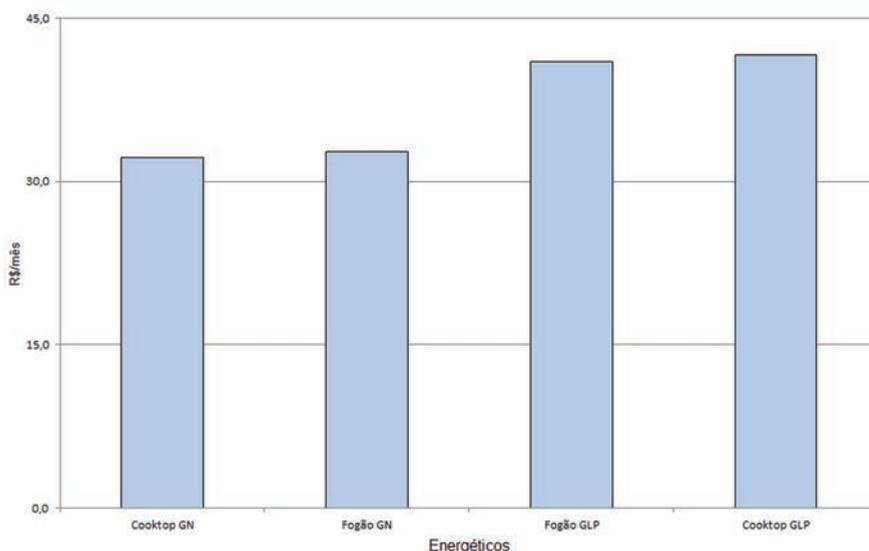
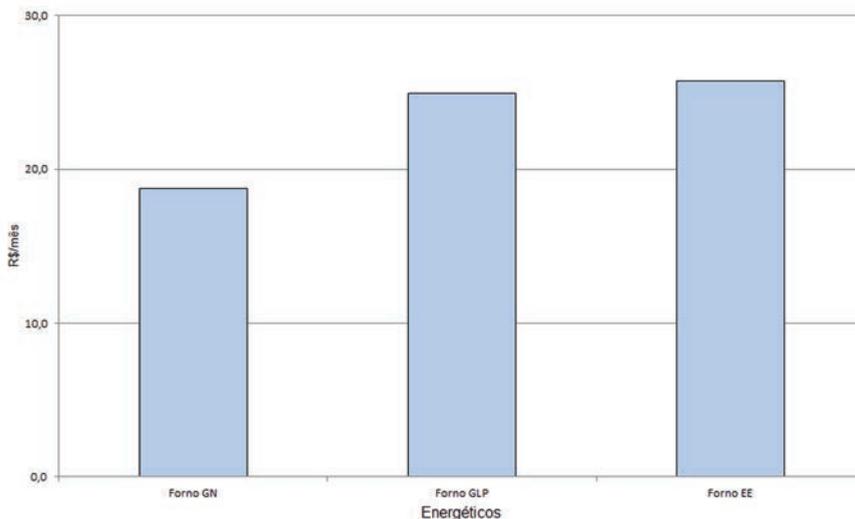


Figura 4.3 – Custo Total de Cocção de Alimentos em Fornos Residenciais



Como se pode observar, todos os equipamentos a GN são mais econômicos que os demais, para atender a cada demanda. Observa-se que os fogões a GN são 20,2% mais econômicos que os fogões a GLP. Já nos *cooktops*, a economia do GN aumenta para 22,6%. Os fornos a GN, por sua vez, mostram ser a melhor alternativa para o consumidor, pois são mais vantajosos economicamente 24,9% e 27,2% em relação aos modelos a GLP e elétricos, respectivamente.

4.2.2 Aquecimento de água

Com o auxílio das equações 3.2 a 3.5 e dos dados levantados na seção 3.2.1.2, a Tabela 4.3 e Figuras 4.4 foram montadas e apresentam as comparações entre os energéticos do setor residencial, para o aquecimento de água. O Apêndice A contém um exemplo de cálculo do CTE do GN usado em aquecedor de passagem para atender a demanda de 180 kWh, cujo procedimento foi o mesmo para os demais.

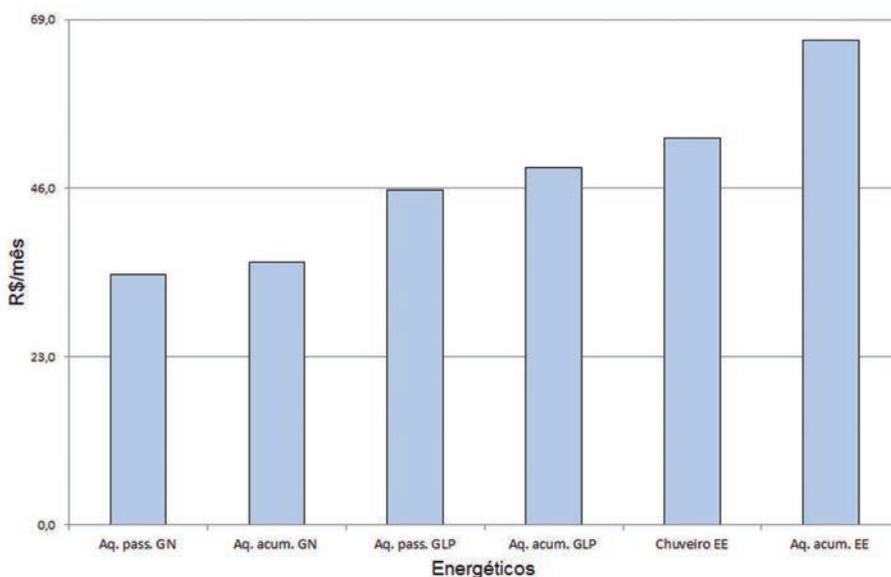
Tabela 4.3 – Avaliação Residencial para Aquecimento de Água

Demanda	Equipamentos	EU	u	PC ¹ (kWh/u)	CT (u)	η^2	CR (u)	Preço (R\$/u)	CCE (R\$)	CTE (R\$)	ECO GN
180 kWh	Aquecedor de passagem	GN	m ³	10,8	16,7	0,84	20,0	1,70 ³	34,1	34,1	-
		GLP	kg	13,7	13,2	0,84	15,6	2,92 ⁴	45,7	45,7	25,3%
	Chuveiro elétrico	EE	kWh	1,0	180,0	0,95	189,5	0,28 ⁵	52,8	52,8	35,4%
	Aquecedor de acumulação	GN	m ³	10,8	16,7	0,79	21,1	1,70 ³	35,9	35,9	-
		GLP	kg	13,7	13,2	0,79	16,7	2,92 ⁴	48,7	48,7	26,4%
		EE	kWh	1,0	180,0	0,76	237,5	0,28 ⁵	66,2	66,2	45,8%

LEGENDA: EU: Energéticos Utilizados • GN: Gás Natural • GLP: Gás Liquefeito de Petróleo • EE: Energia Elétrica • ECO GN: Economia do GN em relação aos demais energéticos

Fonte: ¹EPE (2013); ²Inmetro (2013); ³Bahiagás (2013); ⁴ANP (2013) e Confaz (2013); ⁵ANEEL (2013)

Figura 4.4 – Custo Total de Aquecimento de Água Residencial



Como se verifica, para o tipo de aquecimento instantâneo, os aquecedores de passagem a GN são 25,3% mais econômicos que os modelos a GLP e 35,4% do que os chuveiros elétricos. Se a forma de aquecimento for por acumulação, a vantagem econômica dos aquecedores a GN sobe para 26,4%, comparando com os aparelhos a GLP, e 45,8% em relação aos modelos elétricos. Desta forma, constatou-se, quantitativamente, que o Gás Natural é o energético mais econômico para todas as aplicações residenciais.

4.3 Avaliação pelo custo total do setor comercial

Nesta seção, são apresentados os resultados do método de avaliação pelo custo total específico para as aplicações do setor comercial, conforme as orientações da seção 3.2.

4.3.1 Cocção de alimentos

A partir dos dados levantados na seção 3.2.2.1 e com o auxílio das equações 3.2 a 3.5, a Tabela 4.4 e as Figuras 4.5 e 4.6 foram construídas e apresentam o comparativo entre os energéticos utilizados no setor comercial para a cocção de alimentos, em fogões e fornos.

Vale ressaltar que, para os fornos, na equação 3.2 e 3.3, o Consumo Teórico (CT) é igual à própria Demanda, já que os rendimentos são dados em produção de farinha por unidade comercial, não sendo necessário, portanto, utilizar o PC.

Tabela 4.4 – Avaliação Comercial para Cocção de Alimentos

Demanda	Equipamentos	EU	u	PC ¹ (kWh/u)	CT (u)	η^2	CR (u)	Preço (R\$/u)	CCE (R\$)	COM (R\$)	CTE (R\$)	ECO GN	
4.100 kWh	Fogão industrial	GN	m ³	10,8	380,9	0,580	656,8	1,76 ⁵	1.157,7	-	1.157,7	-	
		GLP	kg	13,7	300,1	0,625	480,1	2,92 ⁶	1.401,3	-	1.401,3	17,4%	
6.500 kg de farinha	Forno a gás	GN	m ³	-	6.500		11,29 ³	575,9	1,76 ⁵	1.015,1	-	1.015,1	-
		GLP	kg	-		9,40 ³	691,6	2,92 ⁶	2.018,4	-	2.018,4	49,7%	
	Forno a lenha	LE	m ³	-		352,1 ³	18,5	55,32 ⁷	1.021,1	1.059,0 ⁹	2.080,1	51,2%	
	Forno elétrico	EE	kWh	-		0,87 ⁴	7.478,6	0,29 ⁸	2.194,9	-	2.194,9	53,8%	

LEGENDA: EU: Energéticos Utilizados • GN: Gás Natural • GLP: Gás Liquefeito de Petróleo • EE: Energia Elétrica • LE: Lenha • ECO GN: Economia do GN em relação aos demais energéticos

Fonte: ¹EPE(2013); ²Inmetro (2013); ³Ctgás (2011); ⁴Celesc (2013); ⁵Bahiagás (2013); ⁶ANP (2013) e ⁶Confaz (2013); ⁷Mfrrural (2013); ⁸ANEEL (2013); ⁹Barbosa et al. (2004)

Figura 4.5 – Custo Total de Cocção de Alimentos em Fogões Comerciais

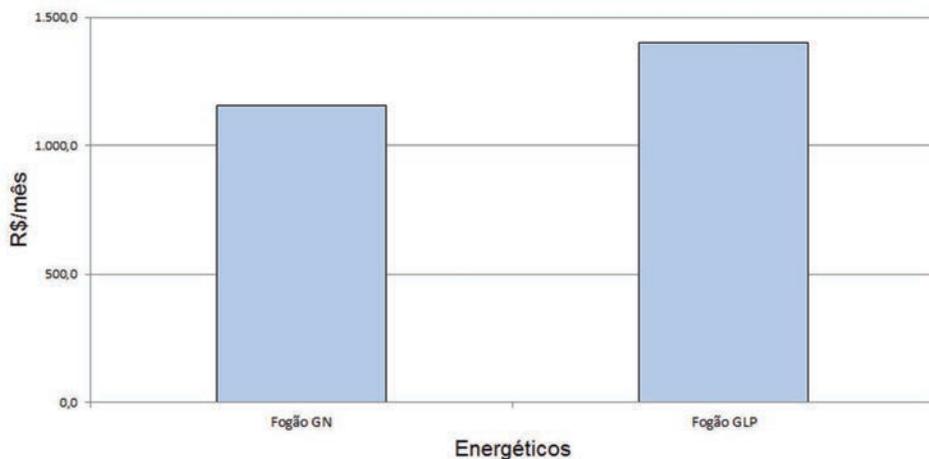
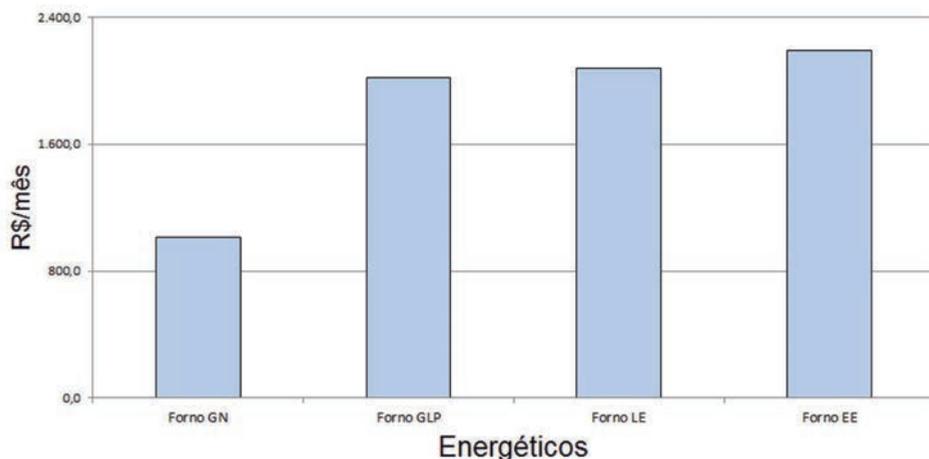


Figura 4.6 – Custo Total de Cocção de Alimentos em Fornos Comerciais



O Apêndice A contém exemplos do cálculo do CTE do GN usado em fogões e do CTE da Lenha usada nos fornos, para atender a demanda de 6.500 kg de farinha, e cujo procedimento foi o mesmo para os demais.

Assim, observa-se mais uma vez o GN como o energético mais econômico, para cocção de alimentos, em todos os equipamentos mais utilizados nos comércios. Nos fogões industriais, há uma economia de 17,4% em relação ao GLP. Já utilizando fornos, o GN é mais vantajoso economicamente 49,7% comparando com o modelo a GLP, e 51,2% em relação ao forno a Lenha, e 53,8% em relação ao forno elétrico.

4.3.2 Aquecimento de água

Utilizando as equações 3.2 a 3.5 e os dados da seção 3.2.2.2, foi possível construir a Tabela 4.5 e a Figura 4.7, que apresentam o comparativo entre os energéticos utilizados no setor comercial para o aquecimento de água, através de aquecedores de passagem, aquecedores de acumulação, chuveiros elétricos e caldeira de vapor.

Vale ressaltar que, para a caldeira, na equação 3.2, foram usados os PCI dos combustíveis, em vez dos PCS, pois neste caso não se considera o calor de condensação do vapor d'água no calor total fornecido pelo combustível.

No Apêndice A contém dois exemplos de cálculo de CTE mensal do GN sendo consumido no aquecedor de passagem e na caldeira.

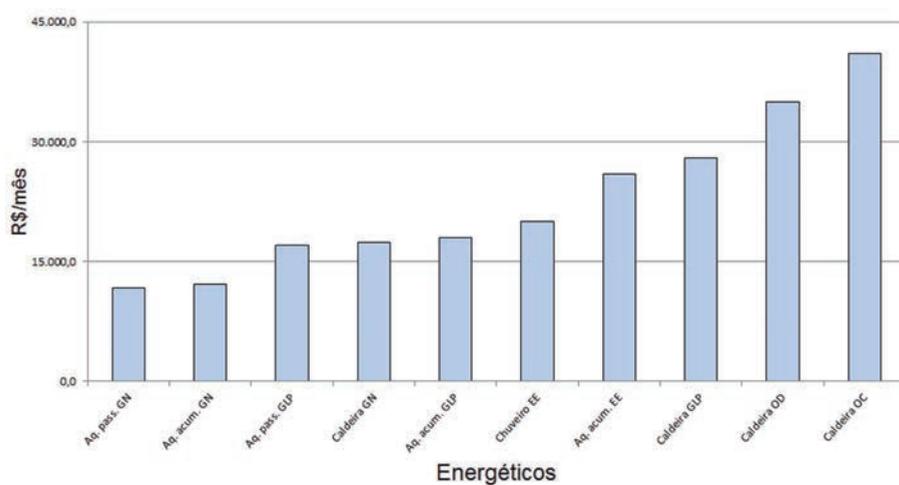
Tabela 4.5 – Avaliação Comercial para Aquecimento de Água

Demanda	Equipamentos	EU	u	PC (kWh/u)	CT (u)	η	CR (u)	Preço (R\$/u)	CCE (R\$)	COM (R\$)	CTE (R\$)	ECO GN
54.000 kWh	Aquecedor de passagem	GN	m ²	10,8 ¹	5.017,3	0,84 ³	6.008,7	1,40 ⁵	8.401,7	3.333,3 ⁹	11.735,0	-
		GLP	kg	13,7 ¹	3.952,3	0,84 ³	4.694,0	2,92 ⁶	14.536,9	3.333,3 ⁹	17.870,3	31,1%
	Chuveiro elétrico	EE	kWh	1,0 ¹	54.000,0	0,95 ³	56.842,1	0,29 ⁷	16.682,6	3.333,3 ⁹	20.015,9	41,4%
	Aquecedor de acumulação	GN	m ²	10,8 ¹	5.017,3	0,79 ³	6.319,0	1,40 ⁵	8.835,5	3.333,3 ⁹	12.168,9	-
		GLP	kg	13,7 ¹	3.952,3	0,79 ³	5.009,3	2,92 ⁶	15.513,4	3.333,3 ⁹	18.846,8	32,2%
		EE	kWh	1,0 ¹	54.000,0	0,76 ³	71.240,1	0,29 ⁷	20.908,3	5.000,0 ⁹	25.908,3	53,0%
	Caldeira	GN	m ²	10,5 ²	5.123,0	0,93 ⁴	5.523,6	1,40 ⁵	7.723,3	9.695,7 ¹⁰	17.419,0	-
		GLP	kg	12,8 ²	4.212,2	0,93 ⁴	4.544,7	2,92 ⁶	14.074,6	14.690,5 ¹⁰	28.765,1	37,7%
		OD	m ³	11,9 ²	4.525,5	0,90 ⁴	5.034,1	2,29 ⁶	11.711,5	23.504,8 ¹⁰	35.216,3	50,2%
		OC	kg	11,3 ²	4.763,1	0,90 ⁴	5.313,8	2,19 ⁶	11.633,4	29.380,9 ¹⁰	41.014,3	57,5%

LEGENDA: EU: Energéticos Utilizados • GN: Gás Natural • GLP: Gás Liquefeito de Petróleo • EE: Energia Elétrica • OD: Óleo Diesel • OC: Óleo Combustível • ECO GN: Economia do GN em relação aos demais energéticos

Fonte: ¹EPE (2013); ^{2,4}Alborg (2013); ³Inmetro (2013); ⁴Ctgás (2011); ⁵Bahiagás (2013); ⁶ANP (2013); ^{8,9}Confaz (2013); ⁷ANEEL (2013); ⁹Maldonado (2013); ¹⁰Bahiagás (2009); ¹⁰Correa (2004)

Figura 4.7 – Custo Total de Aquecimento de Água Comercial



Verifica-se que, também para o aquecimento de água, o GN é o energético mais competitivo. No aquecimento através de processos instantâneos, os aquecedores de passagem a GN são 31,1% mais econômicos que os modelos a GLP e 41,4% do que os chuveiros elétricos. Se a forma de aquecimento for por acumulação, as vantagens econômicas dos aquecedores a GN passam a ser, respectivamente, de 32,2% e 53,0% em relação aos aparelhos a GLP e elétricos. Caso seja utilizada uma caldeira a vapor, o GN também mostra ser superior economicamente, em relação aos outros energéticos, de 37,7% a 57,5%. Por fim, verifica-se que a queima direta do GN é também 32,6% mais econômica que a sua utilização na caldeira de vapor (R\$ 11.735,00 do melhor aquecedor contra R\$ 17.419,00 da caldeira).

4.3.3 Climatização

Utilizando as equações 3.2 a 3.5 e os dados da seção 3.2.2.3, foram montadas a Tabela 4.6 e a Figura 4.8, as quais apresentam o custo total dos energéticos utilizados no setor comercial para a climatização. Nas equações 3.2 e 3.3, o Consumo Teórico (CT) é igual à própria Demanda, já que os rendimentos são dados em produtividades, não sendo necessário o uso do PC. No Apêndice A, consta o cálculo do CTE do chiller de absorção a GN que também consome uma pequena quantidade de Energia Elétrica.

Analisando a Tabela 4.6 e a Figura 4.8, que apresentam os custos de variadas opções de sistemas de climatização para o setor comercial, verifica-se mais uma vez que o GN é o mais competitivo. Para atender a mesma demanda de 211.200 kWh, o chiller de absorção a GN mostrou ser a opção mais econômica de todas, seguida do GHP, também a GN, 10,4% mais custosa que a primeira. Quando a comparação é feita com os equipamentos totalmente elétricos, a vantagem econômica do chiller de absorção a GN aumenta mais ainda, variando de 28,2% até 62,0%.

Desta forma, após as avaliações pelo custo total das aplicações cocção de alimentos, aquecimento de água e climatização, verifica-se que o GN apresenta maior competitividade energética em comparação com as outras fontes, para atender todas as demandas do setor comercial.

4.4 Síntese das avaliações pelo custo total

A Tabela 4.7 apresenta um resumo das comparações realizadas pelo Custo Total entre as opções energéticas, para as aplicações dos setores residencial e comercial.

Tabela 4.6 – Avaliação Comercial para Climatização

Demanda	Equipamentos	EU	u	CT (u)	η^1	CR (u)	Preço (R\$/u)	CCE (R\$)	COM ⁴ (R\$)	CTE (R\$)	ECO GN
211.200 kWh	Chiller absorção	GN	m ³	211.200	14,67	14.400,0	0,96 ²	13.895,8	3.459,6	17.883,7	-
		EE	kWh		117,33	1.800,0	0,29 ³	528,3			
	GHP	GN	m ³		14,67	14.400,0	0,96 ²	13.895,8	4.301,2	19.957,9	10,4%
		EE	kWh		35,20	6.000,0	0,29 ³	1.760,9			
	VRF elétrico	EE	kWh		3,01	70.200,0	0,29 ³	20.603,0	4.301,2	24.904,2	28,2%
	Chiller elétrico água	EE	kWh		3,83	55.200,0	0,29 ³	16.200,6	5.610,2	21.810,9	18,0%
	Chiller elétrico ar	EE	kWh		2,79	75.600,0	0,29 ³	22.187,8	5.376,4	27.564,3	35,1%
	Self água	EE	kWh		2,93	72.000,0	0,29 ³	21.131,3	12.061,9	33.193,2	46,1%
	Self ar	EE	kWh		2,20	96.000,0	0,29 ³	28.175,0	11.828,2	40.003,2	55,3%
	Split central	EE	kWh		2,20	96.000,0	0,29 ³	28.175,0	11.828,2	40.003,2	55,3%
	Split individual	EE	kWh		2,07	102.000,0	0,29 ³	29.936,0	11.828,2	41.764,2	57,2%
	Aparelhos janela	EE	kWh		1,76	120.000,0	0,29 ³	35.218,8	11.828,2	47.047,0	62,0%

LEGENDA: EU: Energéticos Utilizados • GN: Gás Natural • EE: Energia Elétrica • ECO GN: Economia do GN em relação aos demais energéticos.

Fonte: ¹Abegás (2008); ²Bahiagás (2013); ³ANEEL (2013)

Figura 4.8 – Custo Total para Climatização Comercial

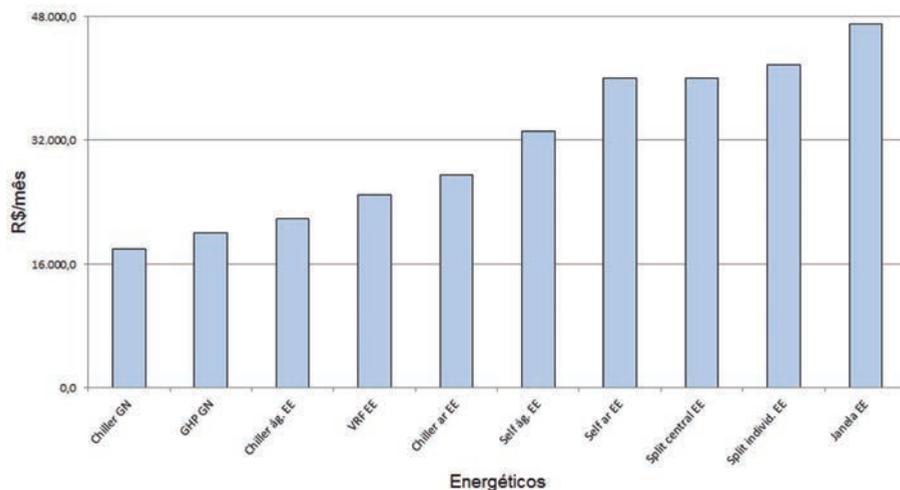


Tabela 4.7 – Síntese das Avaliações dos Setores Residencial e Comercial

Setor	Aplicação	Demanda	Equipamentos	EU	u	PC (kWh/u)	CT(u)	η	CR (u)	Preço (R\$/u)	CCE (R\$)	COM (R\$)	CTE (R\$)	ECO GN			
RESIDENCIAL	Coção de alimentos	120 kWh	Fogão	GN	m²	10,8	11	0,58	19	1,70	32,7	-	32,7	-			
				GLP	kg	13,7	9	0,63	14	2,92	41,0	-	41,0	20,2%			
			Cooktop	GN	m²	10,8	11	0,59	19	1,70	32,2	-	32,2	-			
		60 kWh	Forno a gás	GN	m²	10,8	6	0,51	11	1,70	18,7	-	18,7	-	-		
				GLP	kg	13,7	4	0,51	9	2,92	24,9	-	24,9	24,9%			
				Forno elétrico	EE	kWh	1,0	60	0,65	92	0,28	25,7	-	25,7	27,2%		
	180 kWh		Aquecedor de passagem	GN	m²	10,8	17	0,84	20	1,70	34,1	-	34,1	-			
				GLP	kg	13,7	13	0,84	16	2,92	45,7	-	45,7	25,3%			
				Chuveiro elétr.	EE	kWh	1,0	180	0,95	189	0,28	52,8	-	52,8	35,4%		
	Aquecedor de acumulação	GN	m²	10,8	17	0,79	21	1,70	35,9	-	35,9	-					
		GLP	kg	13,7	13	0,79	17	2,92	48,7	-	48,7	26,4%					
		EE	kWh	1,0	180	0,76	237	0,28	66,2	-	66,2	45,8%					
COMERCIAL	Coção de alimentos	4.100 kWh	Fogão industrial	GN	m²	381	5,58	657	1,76	1.157,7	-	1.157,7	-				
				GLP	kg	13,7	300	0,63	480	2,92	1.401,3	-	1.401,3	17,4%			
			6.500 kg de farinha	Forno a gás	GN	m²	-	-	-	11,29	576	1,76	1.015,1	-	1.015,1	-	
		GLP		kg	-	-	-	6.500	9,40	692	2,92	2.018,4	-	2.018,4	49,7%		
		Forno a lenha		LE	m²	-	-	-	352,11	18	55,32	1.021,1	1.059	2.080,1	51,2%		
		Aquecimento de água	54.000 kWh	Aquecedor de passagem	GN	m²	10,8	5.017	0,84	6.009	1,40	8.401,7	3.333	11.735,0	-		
	GLP				kg	13,7	3.952	0,84	4.694	2,92	14.536,9	3.333	17.870,3	31,1%			
	EE				kWh	1,0	54.000	0,95	56.842	0,29	16.682,6	3.333	20.015,9	41,4%			
	Caldeira		GN	m²	10,8	5.017	0,79	6.319	1,40	8.835,5	3.333	12.168,9	-				
			GLP	kg	13,7	3.952	0,79	5.009	2,92	15.513,4	3.333	18.846,8	32,2%				
			EE	kWh	1,0	54.000	0,76	71.240	0,29	20.908,3	5.000	25.908,3	53,0%				
	Climatização		211.200 kWh	Chiller absorção	GN	m²	-	-	-	14,67	14.400	0,96	13.895,8	3.460	17.883,7	-	
					EE	kWh	-	-	-	117,33	1.800	0,29	528,3	-	-		
					GHP	GN	m²	-	-	-	14,67	14.400	0,96	13.895,8	4.301	19.957,9	10,4%
				VRV elétrico	EE	kWh	-	-	-	-	35,20	6.000	0,29	1.760,94	-	-	
					EE	kWh	-	-	-	-	3,01	70.200	0,29	20.603,0	4.301	24.904,2	28,2
					EE	kWh	-	-	-	-	3,83	55.200	0,29	16.200,6	5.610	21.810,9	18,0
	Chiller elétr. ág.	EE	kWh	-	-	-	-	2,79	75.600	0,29	22.187,8	5.376	27.564,3	35,1			
EE		kWh	-	-	-	-	2,93	72.000	0,29	21.131,3	12.062	33.193,2	46,1				
EE		kWh	-	-	-	-	2,20	96.000	0,29	28.175,0	11.828	40.003,2	55,3				
Self ar	EE	kWh	-	-	-	-	2,20	96.000	0,29	28.175,0	11.828	40.003,2	55,3				
	EE	kWh	-	-	-	-	2,07	102.000	0,29	29.936,0	11.828	41.764,2	57,2				
	EE	kWh	-	-	-	-	1,76	120.000	0,29	35.218,8	11.828	47.047,0	62,0				

LEGENDA: EU: Energéticos Utilizados • GN: Gás Natural • GLP: Gás Liquefeito de Petróleo • EE: Energia Elétrica • LE: Lenha • OD: Óleo Diesel • OC: Óleo Combustível • ECO GN: Economia do GN em relação aos demais energéticos

A Tabela 4.7 representa o resumo do alcance dos objetivos do presente trabalho, que era comparar quantitativamente, num único modelo, os energéticos dos setores residencial e comercial e determinar o mais competitivo para cada aplicação. A discussão dos resultados obtidos pode ser feita separadamente entre o GN e cada um dos seus concorrentes, como é detalhada nas seções subsequentes.

4.4.1 Gás natural x gás liquefeito de petróleo

Comparando o GN com o GLP, pode-se concluir que, apesar do GN ter um PCS um pouco menor, a grande vantagem econômica de sua aplicação está no preço, já que os rendimentos médios entre os equipamentos não diferenciam muito e as características técnicas dos dois energéticos são semelhantes.

Além dos ganhos econômicos, o GN também leva várias outras vantagens em relação ao GLP, com as seguintes:

- **Segurança:** por ser mais leve que o ar (densidade inferior a 1,0), em caso de vazamento, o GN dissipa-se rapidamente para a atmosfera. O que não ocorre com o GLP, que é mais pesado que o ar, e cria bolsões de gás concentrados no piso e grande risco de explosão. O GN também possui o maior limite inferior de inflamabilidade, diminuindo ainda mais este risco;
- **Qualidade da queima:** por ser formado por praticamente um só hidrocarboneto, o metano, a combustão do GN é a mais completa, gerando menos subprodutos, como o CO, que é tóxico e asfíxiante;
- **Meio ambiente:** o GN é o combustível fóssil mais limpo de todos, tem a menor emissão de CO₂ e NO_x e quase não gera SO₂ e nem particulados, que poluem, formam as chuvas ácidas e aumentam o aquecimento global;
- **Operação:** o fornecimento do GN é ininterrupto e realizado através de gasodutos que compõe a rede de distribuição. Por isso, não há necessidade de reposição e nem de espaços para armazenamento, evitando os tradicionais transtornos causados com a logística do GLP.

4.4.2 Gás natural x energia elétrica

Quanto à Energia Elétrica, a vantagem maior do GN está nos processos térmicos, que são inerentes aos combustíveis. Analisando o PCS do GN, de 10,8 kWh/m³, verifica-se em princípio que para gerar 10,8 kWh de Energia Elétrica é necessário de apenas 1,0 m³ de GN. Assim, apesar das diferenças de rendimentos, preços e custos operacionais, a diferença maior entre os equivalentes energéticos provoca a exigência de um consumo relativo teórico de GN quase 11 vezes menor para atender a mesma demanda.

Vale ressaltar ainda que foram usados os rendimentos médios dos aparelhos de consumo, nos quais os elétricos têm rendimentos acima de 95%, e mesmo assim o GN ainda mostrou ser superior economicamente. Caso fosse avaliada a eficiência energética global dos processos, desde a geração até o consumo final, a economia do GN seria ainda maior, devido às perdas de eficiência da eletrotermia durante as transformações energéticas.

Além da economia em relação à Energia Elétrica, a substituição da eletrotermia pela queima direta com GN, para o aquecimento de água, gera as seguintes vantagens:

- **Qualidade e durabilidade:** os aparelhos a GN possuem maior controle da temperatura do banho e os aquecedores a gás têm maior vida útil que as resistências elétricas;

- Segurança: os aquecedores a GN possuem ignição automática, sensor de chama que corta o gás na ausência da mesma, e termostato que desliga o aparelho em caso de superaquecimento. Além disso, não há risco de choque elétrico;
- Manutenção: os fabricantes de equipamentos a GN disponibilizam assistência técnica permanente, mesmo estes aparelhos tendo pouca necessidade de manutenção, já que o GN é um energético limpo, não gera resíduos e, por ser formado por praticamente um só componente, tem sua queima mais uniforme;
- Eficiência e incentivos: apesar dos equipamentos elétricos terem rendimentos superiores a 95%, o uso da eletrotermia para fins térmicos é um processo de baixa eficiência energética global, que gera grandes perdas desde a geração nas usinas, transmissão, até o consumo final, e ainda sobrecarrega o sistema elétrico nacional (principalmente nos horários de ponta), comprometendo o abastecimento para fins nobres (iluminação e trabalho). Por isso, este processo tende a ser substituído pela queima direta de combustível, incentivando cada vez mais o desenvolvimento de equipamentos modernos e eficientes a gás natural.

Para climatização, os resultados comprovam a elevada eficiência dos sistemas a GN. Os chillers de absorção e o GHP têm sido os equipamentos mais instalados pelos estabelecimentos comerciais atendidos pela rede de GN canalizado, por possuírem baixo consumo de gás e quase nenhum consumo de eletricidade. A economia cresce mais ainda nos horários de ponta, quando o preço da Energia Elétrica é bem maior que o normal. Além disso, estas ações contribuem para desafogar o sistema elétrico nacional, evitando os temidos e recentes apagões, deslocando o uso da eletricidade para suas funções específicas e essenciais, como a iluminação e a geração de força motriz.

4.4.3 Gás natural x lenha

Como observado nos resultados da avaliação tradicional (seção 4.1), a Lenha ocupava o primeiro lugar do ranque de competitividade econômica, seguida do GN. Porém, esta análise considerava apenas o PCS e os preços dos energéticos. Quando foram realizadas as avaliações setoriais pelo custo total, computando também custos de operação e manutenção e fatores de eficiência energética, a Lenha perdeu sua competitividade. Ou seja, a principal vantagem econômica do GN sobre a Lenha está no perfil de operação e manutenção dos processos, onde os custos associados para a Lenha são muito maiores.

Além da economia, o GN também possui outras vantagens em relação lenha, com as seguintes:

- Meio ambiente: o GN, apesar de não ser renovável, é o combustível fóssil que tem a queima mais limpa. A Lenha, apesar de ser renovável e recapturar o CO₂ da atmosfera no replantio, emite grande quantidade de fuligem na queima, o que acaba poluindo o ambiente ao redor. Além disso, nem toda Lenha é proveniente de áreas de reflorestamento, observando-se muitas vezes a comercialização de produtos ilegais oriundos de desmatamento de floresta virgem ou de preservação permanente;
- Operação: o fornecimento do GN é ininterrupto e realizado através de gasodutos, sem necessidade de reposição e nem de espaços para armazenamento, o que, para os estabelecimentos comerciais, é uma grande economia tendo em vista os altos preços do metro quadrado nas cidades. No caso da Lenha, a logística de transporte é complicada, precisa de grandes áreas para armazenamento, necessita de mão de obra capacitada para o enchimento de caldeiras e fornos, esvaziamento, limpeza e reposição, incorrendo em altos custos de operação e manutenção, além do desconforto para os funcionários.
- Segurança e saúde: a operação e manutenção das atividades que utilizam Lenha geram vários problemas de segurança e saúde, tanto para os funcionários envolvidos como para a população vizinha, como a infestação de insetos e pragas nas áreas de armazenamentos, o que não existe com o GN;
- Qualidade do produto: o GN é ideal para processos que exigem contato direto de seus produtos com a queima do combustível, tal é sua qualidade. No caso da Lenha, o mercado não tem uma regulação rígida, o que gera, em nome do baixo preço, a comercialização constante de produtos sem especificação, com alto teor de umidade, baixo poder calorífico e, muitas vezes, oriundos de mata nativa.

4.4.4 Gás natural x óleo diesel e óleo combustível

O Óleo Diesel e o Óleo Combustível concorrem com o GN na utilização da caldeira para o aquecimento de água. Os resultados mostram que a principal vantagem econômica do GN, assim como na Lenha, são as diferenças dos custos de operação e manutenção, já que os três energéticos possuem PCS e preços muito próximos.

Outras vantagens do GN, além das econômicas, em relação ao Óleo Diesel e ao Óleo Combustível, são citadas a seguir:

- Meio ambiente: o GN é o combustível fóssil mais limpo de todos, tem a menor emissão de CO₂ e NOX e quase não gera SO₂ e nem particulados. Já o Óleo Diesel e o Óleo Combustível, por serem hidrocarbonetos pesados, são grandes responsáveis pelas citadas emissões, principalmente o Óleo Combustível, que gera enormes quantidades de fuligem onde atua, causando diversos problemas ambientais e de saúde pública. Vale ressaltar também a poluição causada pelos constantes derramamentos de óleo nas áreas produtivas;
- Qualidade do produto: devido à composição, o GN é muito utilizado nos processos que exigem contato direto de seus produtos com a queima do combustível (cerâmicas brancas, por exemplo). No caso do o Óleo Diesel e o Óleo Combustível, isso não é possível, devido a grande quantidade de impurezas e contaminantes. Além disso, vale destacar a grande variação de especificação dos óleos comercializados;
- Operação e manutenção: como o fornecimento do GN é realizado em sua grande maioria através de gasodutos, não há necessidade de reposição e nem de espaços para armazenamento. No caso do o Óleo Diesel e o Óleo Combustível, é necessário espaços para armazenamento e implantação de um sistema de pré-aquecimento antes da queima, mão de obra capacitada para carga, limpeza e recarga da caldeira, além dos transtornos causados com a logística e o transporte;
- Segurança e saúde: diferente do GN, as operações das atividades que utilizam Óleo Diesel e o Óleo Combustível estão associadas a vários problemas de segurança e saúde, tanto para os funcionários envolvidos como para a população vizinha.

5. Considerações finais

Para realizar as avaliações pretendidas neste trabalho, foram apresentados dois métodos de avaliação de competitividade para determinar quantitativamente o energético mais econômico na visão do consumidor. Inicialmente, foi abordado um método



de comparação tradicional, que considera apenas o preço e o poder calorífico de cada energético, para obter um ranque geral pelo Custo Específico, ou seja, o custo para gerar a mesma quantidade de energia. Depois, foi proposto um método de comparação pelo Custo Total, específica por setor, na intenção de apontar o energético que tivesse o menor custo final para atender a cada demanda do consumidor, considerando, além de preço e poder calorífico, outros fatores específicos como: o tipo de aplicação, o valor da demanda, o tipo de equipamento utilizado, os rendimentos dos equipamentos e os custos de operação e manutenção.

O primeiro método tradicional apontou a Lenha como mais competitiva, ficando o GN em segundo lugar. Porém, quando foi utilizado segundo método, propondo a comparação pelo custo total, o GN foi o energético mais competitivo em todas as aplicações dos setores residencial e comercial. Os equipamentos que utilizaram o GN foram os que obtiveram os menores custos totais para o consumidor, para atender cada uma de suas demandas nos setores avaliados, com mais de 40%, em média, de economia em relação aos outros energéticos. Para a cocção de alimentos, a economia do GN variou de 17,4% a 53,8%; para o aquecimento de água, de 25,3% a 57,5%; e para a climatização, de 28,2% a 62,0%.

Com relação ao GLP, identificou-se que a vantagem econômica do GN foi devido à diferença de preço, já que os rendimentos médios entre os equipamentos e os PCS não diferenciam muito. Quanto à Energia Elétrica, a vantagem foi verificada nos processos térmicos, inerentes aos combustíveis, pois o GN tem um PCS muito maior que o equivalente energético da eletricidade, exigindo um consumo relativo bem menor de sua unidade comercial.

No caso da Lenha, a principal vantagem econômica do GN foi devido à diferença nos perfis de operação e manutenção dos processos, onde os custos associados para a Lenha são muito maiores que os do GN. Este mesmo moti-

vo também explica a economia do GN em relação ao Diesel e ao Óleo Combustível, já que os três energéticos possuem PCS e preços muito próximos.

Além da economia nessas comparações, foram pontuadas outras vantagens qualitativas, como a qualidade dos produtos e processos, o conforto operacional, os aspectos de segurança e saúde e os impactos ambientais.

O método proposto e desenvolvido pelo presente trabalho mostrou ser a melhor forma de avaliação de competitividade entre energéticos, em relação aos métodos tradicionais, pois realiza a avaliação pelo custo total, específica por setor produtivo, tipo de aplicação e demanda a ser atendida. Além disso, o método proposto acrescenta novos critérios de comparação, como o tipo de equipamento utilizado, eficiência energética e custos de operação e manutenção. Outro diferencial do método é a possibilidade de a comparação ser feita na visão do consumidor final, ou seja, o custo total calculado indica qual é a melhor opção energética para atender as suas necessidades.

Entre as contribuições desta pesquisa, podem ser citadas as seguintes:

- A realização de uma comparação econômica geral entre os energéticos que competem com o GN, através do método tradicional do custo específico, ranqueando os mais competitivos nessa avaliação, para avaliar sua eficácia e comparar com o método proposto;
- A proposta de um método de comparação capaz de avaliar quantitativamente a competitividade entre energéticos, considerando todos os fatores que podem influenciar no custo total final para o consumidor, além de preço e poder calorífico, como o tipo de equipamento, a eficiência energética e os custos de operação e manutenção.
- A constatação de que o método proposto pelo custo total é o mais indicado para realizar tais avaliações, já que é mais completo e abrangente que o tradicional, e que o GN é o energético mais competitivo para todas as demandas dos setores residencial e comercial;
- A identificação de gargalos de cada opção energética avaliada, que influencia diretamente na falta de competitividade.

Tanto na proposição do método com na sua aplicação, foi necessário fazer algumas considerações para reduzir a amplitude de abrangência do trabalho. Além disso, as demandas foram definidas através de pesquisas e pela experiência do autor. Por isso, faz-se necessário a ampliação deste método e a sua aplicação em estudos de casos. Assim, esta posposta pode ser considerada como o início de uma discussão para preencher uma lacuna existente na literatura sobre comparação de competitividade entre energéticos.

A proposta apresentada neste trabalho e os seus resultados encontrados requerem, para sua validação, a apreciação de outros especialistas na área de Gás Natural e Competitividade Energética, e também serem testados através de estudos de casos específicos. Além disso, considera-se que as discussões sobre energia representam uma linha de pesquisa muito ampla que ainda precisa ser aprofundada. Por isso, são apresentadas a seguir sugestões para continuidade dos estudos:

- Realizar estudos de casos reais, aplicando o método proposto, testando a sua aderência e comparando os resultados com os que foram obtidos no presente trabalho;
- Aplicar o método proposto em outros setores produtivos, como o industrial e o automotivo, e comparar os resultados com os que foram observados nos setores residencial e comercial;
- Ampliar o método proposto, de maneira que possa considerar também a influência quantitativa dos aspectos de segurança e saúde e dos impactos ambientais de cada opção energética;
- Ampliar o método proposto, considerando também uma análise exergética dos processos, na fase de levantamento dos valores de eficiência energética dos equipamentos;
- Ampliar o método proposto com pesquisas sobre investimentos em construções, aquisição de equipamentos, conversão, substituição ou adequação de equipamentos para a utilização de outros energéticos, assim como cálculos de taxa de retorno e *payback*.

Finalmente, espera-se que este trabalho possa contribuir para ampliar os estudos referentes ao Gás Natural, assim como as discussões sobre avaliação e comparação de competitividade entre energéticos, em especial para os setores residencial e comercial.

6. Referências

- AALBORG. ALFA LAVAL AALBORG BRASIL. **Tabelas Técnicas**. Disponível em: <<http://www.aalbog-industries.com.br>>. Acesso em: 02 fev. 2013.
- ABEGÁS. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE GÁS CANALIZADO. **Workshop de Climatização e Cogeração**. Disponível em: <<http://www.abegas.org.br>>. Acesso em: 13 nov. 2008.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724** – Informação e documentação – Trabalhos Acadêmicos – Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2011. 15p.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023** – Informação e documentação – Referências – Elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2002. 24p.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15520** – Informação e documentação – Citações em documentos – Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2002. 7p.
- AGA. AMERICAN GAS ASSOCIATION. **Gas Engineers Handbook**. 5 ed. New York: Industrial Press Inc, 1965. 1550p.
- ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Tarifa Média por Classe de Consumo e por Região**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 21 set. 2013.
- ANP. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Sistema de Levantamento de Preços**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso em: 21 set. 2013.
- BAHIAGÁS. COMPANHIA DE GÁS DA BAHIA. **Procedimentos Gerais e Instruções de Trabalho**. Salvador: Bahiagás, 2013. 532p.
- BAHIAGÁS. COMPANHIA DE GÁS DA BAHIA. **Relatório sobre o Uso do Gás Natural no Hospital Geral do Estado**. Salvador: Bahiagás, 2009. 96p.
- BARBOSA, E. A.; AZEVEDO, L. G.; SANTOS, M. B. G. Gestão Econômica: Análise Comparativa de Alternativas Energéticas utilizadas em Fornos de Indústrias de Panificação. In: XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 14., Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ENEGEP, 2004.
- BARCELOS, Bernardo da Rocha. **Análise da Substituição do Gás Liquefeito de Petróleo por Gás Natural em um Condomínio Residencial**. 2011. 17f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- BRASIL. **Lei nº 11.909, de 04 de março de 2009**. Dispõe sobre as atividades relativas ao transporte de gás natural, de que trata o art. 177 da Constituição Federal, bem como sobre as atividades de tratamento, processamento, estocagem, liquefação, regaseificação e comercialização de gás natural; altera a Lei no 9.478,

- de 6 de agosto de 1997, e dá outras providências. Brasília, 2009.
- BRASIL. **Lei nº 9.478, de 06 de agosto de 1997**. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. Brasília, 1997.
- BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado, 1988.
- BREDA, Alexandre. Ar Condicionado e Cogeração a Gás Natural. In: VI Seminário Tecnologia de Sistemas Prediais: Qualidade e Inovação, 6., São Paulo. **Anais...** São Paulo: COMGAS, 2009.
- CELESC. CENTRAIS ELÉTRICAS DE SANTA CATARINA S.A. **Programa de Eficiência Energética**. Disponível em: <<http://proceleeficiencia.celesc.com.br>>. Acesso em: 16 mar. 2013.
- COMPASNET. PORTAL DE COMPRAS DO GOVERNO FEDERAL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Atas de Registro de Preço**. Disponível em: <<http://www.comprasnet.gov.br>>. Acesso em: 21 set. 2013.
- CONFAZ. CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA FAZENDÁRIA. Ministério da Fazenda. **Ato COTEPE/PMPF nº 11, de 11 de junho de 2012**. Preço médio ponderado a consumidor final (PMPF) de combustíveis. Disponível em: <<http://www.fazenda.gov.br/confaz>>. Acesso em: 21 set. 2013.
- CORREA, Edison Luis. **A Viabilidade Econômica do Gás Natural**. 2002. 82f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- CTGÁS. CENTRO DE TECNOLOGIAS DO GÁS. **Dados de Unidades de Conversão**. Natal: CTGÁS, 2011. 15p.
- EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (BRASIL). **Balço Energético Nacional 2013**: Ano base 2012. Rio de Janeiro: EPE, 2013. 288p.
- FERNANDES, Flavio. **Substituição da Eletrotermia por Gases Combustíveis no Setor Industrial**. 2008. 208f. Tese (Doutorado em Energia) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- FOSSA, A. J.; CHAGURI, J. J.; SANTOS, E. M. Utilização de Gás para Aquecimento de Água em Instalações Prediais – Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica. In: V Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 5., Brasília. **Anais...** Brasília: CBPE, 2006.
- GARCIA, Roberto. **Combustíveis e Combustão Industrial**. Rio de Janeiro: Interciência, 2002. 202p.
- GASNET. **Gás Natural**. Disponível em: <<http://www.gasnet.com.br>>. Acesso em: 28 set. 2010.
- IBP. INSTITUTO BRASILEIRO DO PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Preço do Gás Natural**. Disponível em: <<http://www.ibp.org.br>>. Acesso em: 21 set. 2013.

- IBP. INSTITUTO BRASILEIRO DO PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Curso de Gás Natural**. Rio de Janeiro: IBP, 2009. 435p.
- INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Programa Brasileiro de Etiquetagem**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/pbe>>. Acesso em: 20 jan. 2013.
- KHALILPOUR, R.; KARIMI, I. A. Evaluation of Utilization Alternatives for Stranded Natural Gas. **Energy**, v. 40, p. 317-328, apr. 2012.
- LUBISCO, N. M. L.; VIEIRA, S. C. SANTANA, I. V. **Manual de Estilo Acadêmico: Monografias, Dissertações e Teses**. 4. ed. rev. e ampl. Salvador: EDUFBA, 2008. 145p.
- MALDONADO, Helder. Conforto Comparado: Conheça as Vantagens e Desvantagens dos Aquecedores Centrais Elétricos, Solares e a Gás. **Revista Casa e Construção**. Disponível em: <<http://revistacasaconstrucao.uol.com.br>>. Acesso em: 12 fev. 2013.
- MELARA, Mauro. **Análise Técnica, Mercadológica e Regulatória do Mercado de Gases Combustíveis de Consumo Residencial na Cidade de Curitiba/PR**. 2008. 92f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Tecnologia e Meio Ambiente) – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Instituto de Engenharia do Paraná, Curitiba, 2008.
- MFRURAL. **O Agronegócio passa por aqui**. Disponível em: <<http://www.mfrural.com.br>>. Acesso em: 21 set. 2013.
- NASCIMENTO, Maurício Andrade. **Gás Natural na Matriz Energética da Bahia: Utilização em Empreendimentos Residenciais**. 2005. 178f. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2005.
- PETROBRAS. PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. **Principais Operações**. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br>>. Acesso em: 02 mai. 2012.
- POPLI, S.; RODGERS, P.; EVELOY, V. Trigeneration Scheme for Energy Efficiency Enhancement in a Natural Gas Processing Plant Through Turbine Exhaust Gas Waste Heat Utilization. **Applied Energy**, v. 93, p. 624-636, may. 2012.
- SANTOS, Alex Álisson Bandeira. Investigação do Uso da Combustão Enriquecida com O₂ em Chamas Confinadas de Gás Natural. 2010. 247f. Tese (Doutorado em Energia e Ambiente) – Programa de Pós-Graduação em Energia e Ambiente. Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.
- SANTOS, E. M.; FAGÁ, M. T. W.; BARUFI, C. B.; POULALLION, P. L. Natural Gas -The Construction of a New Civilization. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p. 67-90, 2007.
- STRAPASSON, Alexandre Bertinardi. **A Energia Térmica e o Paradoxo da Eficiência Energética: Desafios para um novo Modelo de Planejamento Energético**. 2004. 134f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- SZKLO, A. S.; SOARES, J. B.; TOLMASQUIM, M. T. Economic Potential of Natu-

- ral Gas-Fired Cogeneration in Brazil: Two Case Studies. **Applied Energy**, v. 67, p. 245-263, nov. 2000.
- THOMAS, José Eduardo (Org.). **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2001. 271p.
- TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz Energética Brasileira: Uma Prospectiva. **Novos estudos - CEBRAP**, n. 79, p. 47-69, 2007.
- VELASCO, J. A. LOPEZ, L.; VELÁSQUEZ, M.; BOUTONNET, M.; CABRERA, S.; JÄRÅS, S. Gas to Liquids: A Technology for Natural Gas Industrialization in Bolivia. **Journal of Natural Gas Science and Engineering**, v. 2, p. 222-228, nov. 2010.
- VIEIRA, P. L.; GARCIA C. B.; GUIMARÃES, H. B.; TORRES, E. A.; PEREIRA, O. L. S. **Gás Natural: Benefícios Ambientais no Estado da Bahia**. Salvador: Solisluna Design e Editora, 2005. 132p.: il. - (Bahia gás documenta).

7. Apêndice A – Exemplos de cálculos de CTE

7.1 CTE do GN em fogão residencial para atender uma demanda de 120 kWh.

$$CT = \text{DEMANDA} \div \text{PCS} = 120 \text{ kWh} \div 10,8 \text{ kWh/m}^3 = 11,1 \text{ m}^3$$

$$CR = CT \div \eta = 11,1 \text{ m}^3 \div 0,58 = 19,2 \text{ m}^3$$

$$\text{CCE} = CR \times \text{PREÇO} = 19,2 \text{ m}^3 \times \text{R\$ } 1,70/\text{m}^3 = \text{R\$ } 32,7$$

$$\text{CTE} = \text{CCE} + \text{COM} = \text{R\$ } 32,7 + 0 = \text{R\$ } 32,7$$

7.2 CTE do GN em aquecedor de passagem residencial para atender uma demanda de 180 kWh.

$$CT = \text{DEMANDA} \div \text{PCS} = 180 \text{ kWh} \div 10,8 \text{ kWh/m}^3 = 16,7 \text{ m}^3$$

$$CR = CT \div \eta = 16,7 \text{ m}^3 \div 0,84 = 20,0 \text{ m}^3$$

$$\text{CCE} = CR \times \text{PREÇO} = 20,0 \text{ m}^3 \times \text{R\$ } 1,70/\text{m}^3 = \text{R\$ } 34,1$$

$$\text{CTE} = \text{CCE} + \text{COM} = \text{R\$ } 34,1 + 0 = \text{R\$ } 34,1$$

7.3 CTE do GN em fogão industrial para atender uma demanda de 4.100 kWh.

$$CT = \text{DEMANDA} \div \text{PCS} = 4.100 \text{ kWh} \div 10,8 \text{ kWh/m}^3 = 380,9 \text{ m}^3$$

$$CR = CT \div \eta = 380,9 \text{ m}^3 \div 0,58 = 656,8 \text{ m}^3$$

$$\text{CCE} = CR \times \text{PREÇO} = 656,8 \text{ m}^3 \times \text{R\$ } 1,76/\text{m}^3 = \text{R\$ } 1.157,7$$

$$\text{CTE} = \text{CCE} + \text{COM} = \text{R\$ } 1.157,7 + 0 = \text{R\$ } 1.157,7$$

7.4 CTE da lenha em forno comercial para atender uma demanda de 6.500 kg de farinha.

$$CT = \text{DEMANDA}$$

$$CR = CT \div \eta$$

$$CR = \text{DEMANDA} \div \eta$$

$$CR = 6.500 \text{ kg de farinha} \div 352,1 \text{ m}^3/\text{kg de farinha} = 18,5 \text{ m}^3$$

$$\text{CCE} = CR \times \text{PREÇO} = 18,5 \text{ m}^3 \times \text{R\$ } 55,32/\text{m}^3 = \text{R\$ } 1.021,1$$

$$\text{CTE} = \text{CCE} + \text{COM} = \text{R\$ } 1.021,1 + 1.059,0 = \text{R\$ } 2.080,1$$

7.5 CTE do GN em aquecedor de passagem comercial para atender uma demanda de 54.000 kWh.

$$CT = \text{DEMANDA} \div \text{PCS} = 54.000 \text{ kWh} \div 10,8 \text{ kWh/m}^3 = 5.017,3 \text{ m}^3$$

$$CR = CT \div \eta = 5.017,3 \text{ m}^3 \div 0,84 = 6.008,7 \text{ m}^3$$

$$\text{CCE} = CR \times \text{PREÇO} = 6.008,7 \text{ m}^3 \times \text{R\$ } 1,40/\text{m}^3 = \text{R\$ } 8.401,7$$

$$\text{CTE} = \text{CCE} + \text{COM} = \text{R\$ } 8.401,7 + 3.333,3 = \text{R\$ } 11.735,0$$

7.6 CTE do GN em caldeira comercial para atender uma demanda de 54.000 kWh.

$$CT = \text{DEMANDA} \div \text{PCI} = 54.000 \text{ kWh} \div 10,5 \text{ kWh/m}^3 = 5.123,0 \text{ m}^3$$

$$CR = CT \div \eta = 5.123,0 \text{ m}^3 \div 0,93 = 5.523,6 \text{ m}^3$$

$$\text{CCE} = CR \times \text{PREÇO} = 5.523,6 \text{ m}^3 \times \text{R\$ } 1,40/\text{m}^3 = \text{R\$ } 7.723,3$$

$$\text{CTE} = \text{CCE} + \text{COM} = \text{R\$ } 7.723,3 + \text{R\$ } 9.695,7 = \text{R\$ } 17.419,0$$

7.7 CTE do GN em chiller de absorção comercial para atender uma demanda de 211.200 kWh.

$$CT = \text{DEMANDA}; \eta = \text{COP}$$

$$CR = CT \div \eta$$

$$CR = \text{DEMANDA} \div \text{COP}$$

CCE do GN:

$$CR = 211.200 \text{ kWh} \div 14,67 \text{ kWh/m}^3 = 14.400 \text{ m}^3$$

$$\text{CCE} = CR \times \text{PREÇO} = 14.400 \text{ m}^3 \times \text{R\$ } 0,96/\text{m}^3 = \text{R\$ } 13.895,8$$

CCE da EE:

$$CR = 211.200 \text{ kWh} \div 117,33 \text{ kWp/kWc} = 1.800 \text{ kWh}$$

$$\text{CCE} = CR \times \text{PREÇO} = 1.800 \text{ kWh} \times \text{R\$ } 0,29/\text{kWh} = \text{R\$ } 528,3$$

$$\text{CTE} = \text{CCE total} + \text{COM} = 13.895,8 + 528,3 + 3.459,6 = \text{R\$ } 17.883,7$$

Lista de figuras

Figura 2.1 – Unidade de Processamento de Gás Natural	31
Figura 2.2 – Competência Regulatória do Gás Natural	34
Figura 2.3 – Processo de Comercialização de Gás Natural.....	38
Figura 4.1 – Custo Específico entre Energéticos no Brasil.....	72
Figura 4.2 – Custo Total de Cocção de Alimentos em Fogões e Cooktops Residenciais	73
Figura 4.3 – Custo Total de Cocção de Alimentos em Fornos Residenciais	74
Figura 4.4 – Custo Total de Aquecimento de Água Residencial.....	75
Figura 4.5 – Custo Total de Cocção de Alimentos em Fogões Comerciais	76
Figura 4.6 – Custo Total de Cocção de Alimentos em Fornos Comerciais	77
Figura 4.7 – Custo Total de Aquecimento de Água Comercial	78
Figura 4.8 – Custo Total para Climatização Comercial	80

Lista de tabelas

Tabela 2.1 – Composição do Gás Natural	26
Tabela 2.2 – Propriedades Físicas dos Hidrocarbonetos.....	27
Tabela 2.3 – Comparação de Emissões dos Combustíveis	29
Tabela 2.4 – Tabela Tarifária de Gás Natural.....	39
Tabela 2.5 – Principais Energéticos do Setor Residencial no Brasil	40
Tabela 2.6 – Principais Energéticos do Setor Comercial no Brasil.....	46
Tabela 2.7 – Rendimentos de Fogões, Cooktops, Fornos e Aquecedores.....	52
Tabela 2.8 – Rendimentos de Fornos Comerciais	53
Tabela 2.9 – Rendimentos de uma Caldeira Comercial.....	54
Tabela 2.10 – Eficiências e Custos de Sistemas de Climatização.....	55
Tabela 2.11 – Ranque Geral de Competitividade Energética pelo BEN.....	56
Tabela 3.1 – Massas Específicas e Poderes Caloríficos Superiores	60
Tabela 3.2 – Preços Médios de Combustíveis	61
Tabela 3.3 – Preços Médios de Energia Elétrica	61
Tabela 3.4 – Preços Médios de Gás Natural.....	62

Tabela 4.1 – Custo Específico entre Energéticos no Brasil.....	71
Tabela 4.2 – Avaliação Residencial para Cocção de Alimentos.....	73
Tabela 4.3 – Avaliação Residencial para Aquecimento de Água	74
Tabela 4.4 – Avaliação Comercial para Cocção de Alimentos.....	76
Tabela 4.5 – Avaliação Comercial para Aquecimento de Água.....	78
Tabela 4.6 – Avaliação Comercial para Climatização	80
Tabela 4.7 – Síntese das Avaliações dos Setores Residencial e Comercial	81

Lista de abreviaturas e siglas

ABEGÁS	Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Gás Canalizado
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGA	American Gas Association
AGERBA	Agência Estadual de Regulação de Serviços Públicos de Energia, Transportes e Comunicações da Bahia
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
BAHIAGÁS	Companhia de Gás da Bahia
BEN	Balanco Energético Nacional
COMGÁS	Companhia de Gás de São Paulo
CONFAZ	Conselho Nacional de Política Fazendária
CONPET	Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
CTGÁS	Centro de Tecnologia do Gás
EE	Energia Elétrica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ERPM	Estação de Regulagem de Pressão e Medição
EVTE	Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica
GHP	Gas Heat Pump
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GN	Gás Natural

GNC	Gás Natural Comprimido
GNL	Gás Natural Liquefeito
GNV	Gás Natural Veicular
IBP	Instituto Brasileiro do Petróleo, Gás e Biocombustíveis
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
LGN	Líquidos de Gás Natural
NBR	Norma Brasileira
OC	Óleo Combustível
OD	Óleo Diesel
OPEP	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
PETROBRAS	Petróleo Brasileiro S.A.
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
UPGN	Unidade de Processamento de Gás Natural
VRF	Variable Refrigerant Flow

Lista de símbolos

CH_4	Metano
CO	Monóxido de carbono
CO_2	Dióxido de carbono ou gás carbônico
NO _x	Óxidos de nitrogênio
Q _f	Calor fornecido por um combustível
Q _g	Calor total gerado por uma caldeira
Q _v	Calor total contido no vapor
Z _c	Consumo de um combustível numa caldeira
Z _v	Produção de vapor de uma caldeira
η	Eficiência, rendimento ou produtividade



A PoDEditora garante, através do selo FSC de seus fornecedores, que a madeira extraída das árvores utilizadas na fabricação do papel usado neste livro, é oriunda de florestas gerenciadas, observando-se rigorosos critérios sociais e ambientais e de sustentabilidade.

www.podeditora.com.br
atendimento@podeditora.com.br

2016

Composto e Impresso no Brasil
Impressão Sob Demanda

21 2236-0844

A atual crise energética mundial, quanto à forte dependência do petróleo e aos insatisfatórios investimentos em fontes renováveis e não poluentes, tem levado ao aumento significativo do consumo do Gás Natural (GN), pois seus reservatórios estão em abundância e é o combustível fóssil de menor impacto ambiental. Porém, no Brasil, o GN ainda encontra dificuldades de inserção nos setores residencial e comercial, devido, entre outros motivos, à falta de estudos científicos sobre comparação econômica entre energéticos, considerando todos os fatores que podem influenciar no custo final para o consumidor. Neste trabalho, além de uma ampla revisão da literatura do gás natural e dos seus processos de distribuição, foi desenvolvido um método de avaliação da competitividade entre energéticos, comparando o GN com os principais concorrentes nos citados setores. Através do cálculo do custo total de cada opção energética, foi possível determinar o energético mais competitivo para atender as demandas do consumidor, considerando fatores como: preço, poder calorífico, tipo de equipamento utilizado, eficiência dos equipamentos e custos de operação e manutenção.



SECRETARIA DE
INFRAESTRUTURA

BAHIA
GOVERNO DO ESTADO

