



Technical Paper

Princípios de intercambialidade do gás natural - contribuição técnica para a atualização da RANP 16/2008

Natural gas interchangeability principles - technical contribution to the update of ANP Resolution no. 16/2008

Marcelo F. Mendes ¹ | Aurelito Ramos de Oliveira Filho ² | Erick Gonzales ³ | Leonardo Gama dos Santos ⁴ | Ricardo Pinto ⁵ | Jorge Paulo Delmonte ⁶ | Marcio Valdemar Santana Teixeira ⁷.

1. SHELL, ASSET INTEGRITY AND PROCESS SAFETY, . RIO DE JANEIRO - RJ - BRASIL, m.mendes@shell.com 2. REPSOL, PROCESS ENGINEER, . RIO DE JANEIRO - RJ - BRASIL, aurelito.ramos@repsolinsinopec.com 3. EQUINOR, NEGOTIATOR ASSET OPTIMIZATION, . RIO DE JANEIRO - RJ - BRASIL, erigo@equinor.com 4. PETROBRAS, ENGENHEIRO DE PROCESSAMENTO, . RIO DE JANEIRO - RJ - BRASIL, leogst@petrobras.com.br 5. PETROBRAS, DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS, . RIO DE JANEIRO - RJ - BRASIL, rcp@petrobras.com.br 6. IBP, GÁS NATURAL, . RIO DE JANEIRO - RJ - BRASIL, jorge.delmonte@ibp.org.br 7. IBP, GÁS NATURAL, . RIO DE JANEIRO - RJ - BRASIL, marcio.teixeira@ibp.org.br

Resumo

O desenvolvimento de novas fontes de fornecimento de gás natural (GN) do Pré-Sal traz composições e propriedades energéticas diferentes para o mercado, demandando critérios para avaliar eventuais impactos para os consumidores. Na década de 1950 foram desenvolvidos os parâmetros Índice de Wobbe (Iw) e os de Weaver para avaliação da equivalência das composições ou sua intercambialidade, considerando desempenho na queima, características de emissões e utilização segura por seus consumidores. O objetivo do presente artigo é apresentar, através de fundamentação teórica e experimental, a avaliação da intercambialidade entre fontes de GN doméstico e as composições definidas na Resolução ANP nº 16 de 2008 (RANP 16/08). Este artigo conclui que uma modernização, como já acontece em outros mercados de gás, da especificação brasileira do GN (RANP 16/08), utilizando os parâmetros de intercambialidade e retirando os limites individuais para hidrocarbonetos, não traria impactos negativos aos consumidores. Além disso, permite a ampliação da oferta e, conseqüentemente, maior uso do GN produzido em nossas bacias, trazendo benefícios para a balança comercial e para o meio ambiente com a substituição de combustíveis mais poluentes pelo GN, sem contar que promove aumento da arrecadação tributária.

Palavras-chave: intercambialidade. especificação. gás natural. Pré-sal

Abstract

The development of new pre-salt natural gas (NG) supply sources brings different compositions and energy properties to the market, demanding criteria to assess possible impacts for consumers. In the 1950s, the Wobbe Index (Iw) and Weaver parameters were developed to evaluate the equivalence of the compositions or their interchangeability, considering burning performance, emission characteristics and safe use by their consumers. The objective of this article is to present, through theoretical and experimental foundations, the evaluation of the interchangeability between NG sources in the current Brazilian scenario and the compositions defined in ANP Resolution nº 16 of 2008 (RANP 16/08). This article concludes that a modernization of the Brazilian NG specification (RANP 16/08), in line with other gas markets, using the interchangeability parameters and removing the individual limits for hydrocarbons, would not have negative impacts on consumers and would make it possible to expand supply and, consequently, greater use of the NG produced in our basins, benefitting the trade balance and the environment by replacing more polluting fuels, not to mention the increase in tax revenues.

Keywords: interchangeability. specification. natural gas. Pre-salt

Received: April 12, 2022 | Accepted: August 25, 2022 | Available online: September 26, 2022

Article nº: 425

Cite as: Proceedings of the Rio Oil & Gas Expo and Conference, Rio de Janeiro, RJ, Brazil, 2022.

DOI: <https://doi.org/10.48072/2525-7579.rog.2022.425>

1. Introdução

O desenvolvimento de novas fontes de fornecimento de gás natural (GN) resulta em fortalecimento da oferta, garantindo a entrega para os consumidores atuais e permitindo a inclusão de novos consumidores. Além disso, o aumento de oferta de GN traz benefícios econômicos e ambientais, sustentando a transição para energias cada vez mais limpas e renováveis.

A ampliação das fontes de GN traz composições e propriedades energéticas diferentes para o mercado, demandando critérios para avaliar eventuais impactos para os consumidores. Esse assunto tem sido discutido desde a década de 1950, quando foram desenvolvidos os parâmetros Índice de Wobbe (Iw) e os de Weaver, que permitem avaliar a equivalência das composições ou sua intercambialidade, considerando desempenho na queima, características de emissões e utilização segura por seus consumidores. São critérios internacionalmente aceitos, utilizados para avaliação da qualidade do GN, porém para verificarmos a intercambialidade de fontes de GN é fundamental o correto entendimento da aplicabilidade desses conceitos e de seus resultados.

Este artigo apresenta os fundamentos técnicos associados à avaliação da intercambialidade de fontes de GN, utilizando exemplos numéricos da realidade brasileira, assim como algumas composições definidas a partir da Resolução ANP 16/08 (RANP 16/08), no sentido de contribuir com a ANP para as ações em andamento para revisão da referida resolução.

2. Desenvolvimento

2.1. Contextualização

Atualmente, o mercado brasileiro de GN natural é suprido com as seguintes fontes de suprimento:

- Produção local – gás do pré-sal, pós sal e de campos terrestres.
- Importação por gasoduto - gás oriundo da Bolívia, transportado através do gasoduto Brasil-Bolívia (GASBOL)
- Importação de gás natural liquefeito (GNL), recebido em terminais de regaseificação.

Para que o gás proveniente de cada uma destas fontes possa ser fornecido ao consumidor final, é necessário que ele atenda às especificações da RANP 16/08, resumidas na Tabela 1:

Tabela 1 - Limites Resolução ANP 16/2008

RANP ANP 16/2008 - Norte		RANP ANP 16/2008 - Sul, Sudeste e Centro-Oeste		RANP ANP 16/2008 - Nordeste	
Metano mín.	68,0 % mol.	Metano mín.	85,0 % mol. ⁽¹⁾	Metano mín.	85,0 % mol.
Etano máx.	12,0 % mol.	Etano máx.	12,0 % mol.	Etano máx.	12,0 % mol.
Propano máx.	3,0 % mol.	Propano máx.	6,0 % mol.	Propano máx.	6,0 % mol.
Butanos e + máx.	1,5 % mol.	Butanos e + máx.	3,0 % mol.	Butanos e + máx.	3,0 % mol.
CO2 máx.	3,0 % mol.	CO2 máx.	3,0 % mol.	CO2 máx.	3,0 % mol.
Oxigênio máx.	0,8 % mol.	Oxigênio máx.	0,5 % mol.	Oxigênio máx.	0,5 % mol.
Inertes máx.	18,0 % mol.	Inertes máx.	6,0 % mol.	Inertes máx.	8,0 % mol.
Enxofre total máx.	70 mg/m ³	Enxofre total máx.	70 mg/m ³	Enxofre total máx.	70 mg/m ³
H2S máx.	10 mg/m ³	H2S máx.	10 mg/m ³	H2S máx.	13 mg/m ³
PCS	34,0 a 40,5 MJ/m ³	PCS	35,0 a 43,0 MJ/m ³	PCS	35,0 a 43,0 MJ/m ³
Índice de Wobbe	38,4 a 45 MJ/m ³	Índice de Wobbe	46,5 a 53,5 MJ/m ³	Índice de Wobbe	46,5 a 53,5 MJ/m ³
POH máx.	15 °C	POH máx.	0 °C	POH máx.	15 °C
POA máx.	-39 °C	POA	-45 °C	POA máx.	-39 °C
Número Metano mín.	-	Número Metano mín.	65	Número Metano mín.	65
(1) Autorização ANP N° 836/2020 -UTGCA					
		Metano mín.	80,0 % mol.		

Fonte: produzido pelos autores.

As novas descobertas no pré-sal têm permitido o aumento da contribuição de gás proveniente destes campos, mais do que compensando o declínio da produção de gás nacional oriundo dos campos offshore do pós-sal e dos campos terrestres, permitindo também uma redução tanto das importações da Bolívia quanto de GNL. Por sua vez, os volumes de GNL importados tendem a variar face às necessidades de curto prazo (principalmente, em função de variações do despacho termelétrico), paradas de manutenção de unidades de tratamento de gás ou interesses comerciais de grupos importadores. Isso faz com que a composição do GNL importado também varie de forma significativa.

Comparando o gás proveniente do pré-sal com as demais fontes de suprimento, nota-se que este possui características físico-químicas diferentes, com menores teores de metano (C1) e maiores teores de etano (C2) e dióxido de carbono (CO₂). Estas características demandam etapas adicionais de processamento para ajustar a composição do gás fornecido aos requisitos da especificação vigente no Brasil (RANP 16/08), especificamente no que diz respeito aos teores de C1 e C2. Estas etapas adicionais incluem:

- Para as estações atualmente em operação no Brasil que recebem o gás do pré-sal (Unidade de Tratamento de Gás de Cabiúnas – UTGCAB e Unidade de Tratamento de Gás de Caraguatatuba - UTGCA), estas etapas adicionais podem demandar a mistura com gás proveniente do pós-sal, remoção de CO₂, gás sulfídrico e umidade, além das etapas tradicionais de remoção de propano (C3), butano (C4) e compostos mais pesados (C5+);
- Para novas unidade de tratamento de gás que venham a receber este gás no futuro e onde não há disponibilidade de correntes de gás do pós-sal, como é o caso da Unidade de Tratamento de Gás de Itaboraí (UTGITB), haverá a remoção do C2, além das tradicionais remoções de C3, C4 e C5+.

Nos dois casos acima, o aumento da produção e oferta do GN do pré-sal encontra dificuldades para sua concretização, a saber:

- No caso da UTGCA, a redução natural da produção do gás do pós-sal impôs limitações na vazão do pré-sal, de forma a ajustar os teores de C1 no gás de saída. Esta limitação foi temporariamente solucionada com a emissão pela ANP da Autorização Especial (AE) 836, em 21 novembro de 2020, que permitiu que o gás na saída da UTGCA fosse entregue com teor mínimo de até 80% de C1. A AE-836 tem permitido operar com vazão do pré-sal próxima ao limite da capacidade do gasoduto de escoamento Rota 1 (10 MM m³/d), aumentando a oferta de gás ao mercado. Tomando-se como exemplo o mês de novembro de 2021, a AE-836 possibilitou um aumento médio da vazão de exportação de 4.4 MM m³/d. Ou seja, cerca de 44% da capacidade do duto foi ocupada em função desta autorização, resultando em que cerca de 5% do consumo total de GN no Brasil fosse suprido com este “gás adicional” do pré-sal em virtude desta medida da ANP.
- No caso da UTGITB, onde não se recebe gás do pós-sal, a dificuldade é o destino a ser dado ao C2 separado. Embora haja utilização local como combustível para geração de energia, há excedente na produção que não pode ser incorporado ao GN na saída, por exceder os limites atuais de 12% da RANP 16/08. Neste caso, a alternativa possível e imediata será a redução da oferta de GN ao mercado, limitada pela quantidade de C2 que pode ser adicionada a este gás e utilizada como combustível na própria Unidade, caso não haja alteração nos requisitos desta resolução.

As descobertas mais recentes do pré-sal indicam que esta situação tende a agravar-se, tanto pelo aumento da oferta como pelas características composicionais do gás produzido nestes novos campos. Ao considerarmos o declínio natural da produção do gás do pós-sal evidencia-se a necessidade de discussão imediata do problema, de forma a evitar restrição na produção nacional de GN e possível aumento na dependência do país de importações de GNL.

Com base neste cenário, o Instituto Brasileiro de Petróleo (IBP), representando os produtores de petróleo e gás natural, estudou como este problema foi equacionado e resolvido em outros países que passaram ou passam por problema semelhante. Um grupo de trabalho (GT) multidisciplinar, representando produtores com presença em vários países, foi formado e diversas alternativas foram avaliadas.

A conclusão deste GT traduziu-se em proposta de modernização da norma de especificação do GN, alinhando-a ao praticado na maioria dos países desenvolvidos, visando remover restrições à produção sem criar impactos para a segurança dos usuários, para a eficiência de equipamentos e não aumentar a emissão de gases nocivos à saúde e ao meio ambiente. Esta proposta consiste em manter as características energéticas e de queima do GN que hoje constam da RANP 16/08, porém eliminando a necessidade de atender a limites composicionais dos hidrocarbonetos.

A lógica que norteia esta proposta é o princípio de intercambialidade, que é a medida em que as características de combustão de um gás se assemelham com outro de composição distinta, segundo norma ISO 13686- “Natural Gas- Quality Designation”. A Tabela 2 resume a proposta do IBP.

Tabela 2 - Proposta IBP para evitar redução da Oferta de GN no Brasil

RANP ANP 16/2008 - Atual		Proposta IBP	
Metano mín.	85,0 % mol.	Metano	Anotar
Etano máx.	12,0 %mol.	Etano	Anotar
Propano máx.	6,0 % mol.	Propano	Anotar
Butanos e + máx.	3,0 % mol.	Butano e + pesados	Anotar
CO2 máx.	3,0 % mol.	CO2 máx.	3,0 % mol.
Oxigênio máx.	0,5 % mol.	Oxigênio máx.	0,5 % mol.
Inertes máx.	6,0 % mol.	Inertes máx.	6,0 % mol.
Enxofre total máx.	70 mg/m ³	Enxofre total máx.	70 mg/m ³
H2S máx.	10 mg/m ³	H2S máx.	10 mg/m ³
PCS	35,0 a 43,0 MJ/m ³	PCS	35,0 a 43,0 MJ/m ³
Índice de Wobbe	46,5 a 53,5	Índice de Wobbe	46,5 a 53,5
POH máx.	0 °C	POH máx.	0 °C
Número Metano mín.	65	Número Metano mín.	65

Fonte: produzido pelos autores.

Na sua essência, a proposta do GT visa manter os parâmetros físico-químicos e limites de contaminantes e inertes estabelecidos pela Resolução atual, retirando os limites de composição dos hidrocarbonetos.

Nas suas análises, o GT constatou que em mercados desenvolvidos como Inglaterra, Alemanha, França, Espanha, Itália e Holanda, não há limites para teores individuais de hidrocarbonetos em suas especificações e que nos EUA, apesar de não haver uma especificação

nacional, a grande maioria das especificações dos gasodutos de transporte regulados pela FERC (“Federal Energy Regulatory Commission”) também não apresenta limites para estes teores. Esse aspecto é extremamente importante para países importadores de GNL de forma a não restringir fontes de suprimento.

Observou-se que, em alguns países, a modificação da especificação foi mais complexa que em outros, **especialmente onde não foi possível observar o princípio de intercambialidade** mencionado acima. A proposta do IBP faz uso desta experiência e busca minimizar eventuais dificuldades ao preservar este princípio através da manutenção das propriedades energéticas do gás. Os itens a seguir apresentam com maiores detalhes este princípio e os impactos associados à sua adoção.

2.2. Fundamentos teóricos

2.2.1. Constituintes e parâmetros de qualidade do gás natural

O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos, gases inertes como nitrogênio (N₂) e dióxido de carbono (CO₂), e contaminantes como gás sulfídrico (H₂S), outros compostos de enxofre e vapor d’água (H₂O). Dentre os hidrocarbonetos, o C1 é o principal constituinte e os outros possíveis são C2, C3, C4, pentano (C5) e hexanos (C6).

Como em toda mistura de gases, suas propriedades físicas e energéticas são determinadas pela sua composição, ressaltando-se que é possível obter as mesmas propriedades com composições diferentes. A composição varia de acordo com a sua origem, normalmente demandando ajustes em estações de processamento ou tratamento, antes de o GN ser entregue ao consumidor final.

Face a esta variabilidade, é necessário estabelecer regras ou especificações que definam o produto que será entregue ao consumidor final. Em um mundo cada vez mais globalizado, uma das melhores maneiras de reduzir o custo dos equipamentos e eliminar entraves ao desenvolvimento é alinhar esta especificação às adotadas em outros países. Além disto, a experiência mostra que o uso de especificações desnecessariamente mais restritivas, ou a adoção de soluções únicas ou “criativas”, tende a gerar um ambiente protegido para os fornecedores locais de equipamentos e produtos, diminuindo a competição, privilegiando determinados grupos e gerando ineficiências e custos adicionais para a sociedade como um todo.

2.3. Parâmetros de Intercambialidade e princípios de combustão

Antes da introdução de um novo suprimento de GN em um mercado maduro, é necessário assegurar que o novo suprimento pode ser distribuído sob as mesmas condições, sem degradar a operação de aparelhos consumidores a gás existentes. Ou seja, deve-se garantir que o novo suprimento de gás é **intercambiável** com os existentes.

A Intercambialidade é definida pela American Gas Association (AGA) no “AGA Natural Gas Quality Management Manual 2013” como: “A habilidade de substituir um combustível gasoso por outro em uma aplicação de combustão sem reduzir a segurança operacional, eficiência e desempenho, ou aumentar as emissões de poluentes”. É descrita tecnicamente na forma de medidas quantitativas, através de índices que tenham demonstrado aplicação abrangente para usos como combustível; está relacionada ao processo e parâmetros de combustão.

A intercambialidade é uma questão importante desde o início da utilização do GN como fonte energética, já que na maioria dos locais o GN foi introduzido como substituto do gás

“manufaturado”. O conhecimento adquirido sobre intercambialidade nesta época foi utilizado e adaptado posteriormente para projetar especificações para o uso de misturas de gás liquefeito de petróleo (GLP) com ar para períodos de picos de demanda; e para misturas de suprimentos de gás de alto poder calorífico com gás de baixo poder calorífico. A maioria das especificações de qualidade de gás usadas hoje são baseadas em estudos de intercambialidade realizados de 1950 até o início dos anos 2000.

Os dois principais parâmetros para definição de intercambiabilidade entre gases combustíveis são o Índice de Wobbe e o método de Weaver, detalhados a seguir.

2.3.1. Índice de Wobbe (I_w)

A carga térmica de um queimador é determinada principalmente pelo projeto e ajuste do queimador e pela composição do gás. Assumindo que o projeto e o ajuste de um dado queimador sejam fixos, a única variável remanescente é a qualidade do gás. Portanto, a carga térmica pode ser escrita conforme a equação (1):

$$Q = PCS * Q_v \quad (1)$$

Onde:

PCS é o Poder Calorífico Superior do gás

Q_v é a vazão volumétrica.

À pressão constante, a vazão volumétrica (Q_v) através de um orifício é inversamente proporcional a raiz quadrada da densidade relativa do gás. Goffredo Wobbe foi o primeiro a descrever esta relação, e por isso, o Índice de Wobbe ou Número de Wobbe (I_w) foi definido conforme a equação (2):

$$I_w = \frac{PCS}{\sqrt{d}} \quad (2)$$

Onde d é a densidade relativa.

Os principais componentes do gás natural são alcanos e inertes. O PCS e a quantidade de ar requerida para queima estequiométrica aumentam com o número de carbono.

Uma propriedade dos alcanos é que a razão volumétrica entre ar estequiométrico e combustível, dividida pelo poder calorífico, é praticamente constante independente do número de carbono, dentro de uma variação de até 5% do metano para o pentano, ou seja, a vazão de ar estequiométrico é proporcional ao poder calorífico. Levando isto em conta, como o I_w é diretamente proporcional ao poder calorífico, chega-se à conclusão que I_w é diretamente proporcional à vazão de ar estequiométrico ($F_{ar,est}$).

Como $F_{ar,est}$ é proporcional a razão de equivalência (Φ), pode-se concluir que o I_w é diretamente proporcional à Φ , ou,

$$\frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \frac{I_{w1}}{I_{w2}} \quad (3)$$

Onde:

Φ_1 , I_{w1} – razão de equivalência e índice de Wobbe da queima do gás 1

Φ_2 , I_{w2} – razão de equivalência e índice de Wobbe da queima do gás 2

Através desta equação (3) pode-se concluir que a intercambialidade entre um gás de ajuste e um gás substituto, formados principalmente por alcanos e inertes, pode ser perfeitamente avaliada pela razão entre os Índices de Wobbe.

A razão de equivalência é o parâmetro mais importante para se avaliar o desempenho da combustão. A influência da composição do gás nas emissões de NO_x, de CO, na forma e estabilidade da chama de gás natural pode ser explicado com base na razão de equivalência, que é proporcional ao Índice de Wobbe e ao suprimento de ar.

Como o suprimento de ar real ($F_{ar,real}$) depende do equipamento e é independente da composição do gás queimado, o efeito da qualidade do gás na queima é determinado pelo Índice de Wobbe. Desta forma, a influência da composição do gás nas emissões de CO, de NO_x e velocidade de chama pode ser quase que totalmente avaliada pelo I_w , sem necessidade de levar em conta aspectos composicionais específicos. Portanto, o Índice de Wobbe fornece a mais eficiente e robusta maneira de medirmos e avaliarmos a intercambialidade entre 2 gases.

É interessante notar que a RANP 16/08 define uma faixa para o I_w entre 46,5MJ/m³ a 53,5 MJ/m³ (Região Sul, Sudeste e Centro-Oeste), o que permite uma certa variabilidade na energia do gás fornecido especialmente quando há injeção na malha de transporte de produto proveniente de importação de GNL. Algumas indústrias, como a de vidro e cerâmica, são mais sensíveis à variação no I_w , podendo afetar a qualidade do produto caso controles específicos não estejam disponíveis. Neste aspecto, o fornecimento a partir de uma fonte única tende a estabilizar o valor de I_w , minimizando os impactos para os consumidores.

Observa-se que existem limitações para a aplicação do I_w , como no caso da chama com ponta amarela, podendo ser requeridos parâmetros adicionais para avaliar o desempenho dos queimadores. Normalmente, isto é feito com um limite adicional no Poder Calorífico ou estabelecendo restrições composicionais.

2.3.2. Índices de “Weaver”/ “Bureau of Mines”

No início do século XX, a AGA conduziu estudos experimentais sobre intercambialidade de gás. Foram desenvolvidos vários parâmetros empíricos para avaliar chama com ponta amarela, levantamento (“lifting”) e retorno (“flashback”) de chama.

Este trabalho foi publicado em “AGA Bulletin N°36”, onde foram determinados limites para Índices de levantamento de chama (I_L), Índice de retorno de chama ou *flashback* (I_F) e Índice de chama com ponta amarela (I_Y).

Os Índices não são números absolutos, mas baseados em um gás de referência ou ajuste que seja representativo do histórico de gás de uma determinada área.

Nos anos 50, quando trabalhava no “Bureau of Mines”, E. R. Weaver expandiu o programa de testes da AGA sobre chama com ponta amarela, levantamento (lifting) e retorno de chama (flashback), adicionando parâmetros separados para combustão incompleta, carga térmica e suprimento de ar. Isto incluiu valores como velocidade de chama e combustão incompleta. Abaixo, as equações (4), (5), (6), (7), (8), e (9) utilizadas para calcular os índices de intercambialidade de Weaver, em que:

a) O índice de Weaver (J_A) para suprimento de ar é calculado por:

$$J_A = \frac{A_s \cdot \sqrt{d_a}}{A_a \cdot \sqrt{d_s}} \quad (4)$$

b) O Índice de Weaver de retorno de chama (J_F) ou flashback é calculado por:

$$J_F = \frac{S_s}{S_a} - 1,4 * J_A + 0,4 \quad (5)$$

c) O Índice de Weaver de carga térmica (J_H) é calculado por:

$$J_H = \frac{H_s \cdot \sqrt{d_a}}{H_a \cdot \sqrt{d_s}} \quad (6)$$

d) O Índice de Weaver para combustão incompleta (J_I) é calculado por:

$$J_I = J_A - 0,366 \cdot \frac{R_s}{R_a} - 0,634 \quad (7)$$

e) O Índice de Weaver de levantamento de chama (J_L) é calculado por:

$$J_L = J_A \cdot \frac{S_s}{S_a} \cdot \frac{(100 - Q_s)}{(100 - Q_a)} \quad (8)$$

f) O Índice de Weaver para chama de ponta amarela (J_Y) é calculado por:

$$J_Y = J_A - 1 + \frac{(N_s - N_a)}{100} \quad (9)$$

Nestas equações temos:

- o subscrito “a” representa o gás de “ajuste” ou de referência
- o subscrito “s” representa o gás substituto ou gás novo.
- A => volume de ar em pés cúbicos (scf) para a combustão completa de 1 pé cúbico (scf) de gás,
- d => densidade relativa do gás em relação ao ar
- S => velocidade máxima de chama em uma mistura de gás com ar, expressa como fração da velocidade de chama do hidrogênio,
- H => poder calorífico do gás em BTU/scf,
- R => razão de número de átomos de hidrogênio por número de átomos de carbono no gás combustível,
- Q => percentual de oxigênio no gás combustível,
- N => número átomos de carbono prontamente liberados por 100 moléculas de gás.

Todos os átomos de carbono de hidrocarbonetos insaturados e cíclicos e todos menos um átomo de carbono de hidrocarbonetos saturados são considerados prontamente liberados. Por isso, N representa o número de átomos de carbono em hidrocarbonetos menos o número de moléculas de hidrocarbonetos saturados.

Os limites para os Índices de Weaver para assegurar que os gases são intercambiáveis são definidos na publicação “AGA Interchangeability Program” de 1998 e de 2002, e são apresentados na Tabela 3:

Tabela 3 – Limites de intercambiabilidade para os Índices de Weaver.

Índice	Faixa onde há Intercambiabilidade
Suprimento de Ar (J_A)	NA
Retorno de Chama (J_F) ^(*)	$J_F < 1,06$
Carga Térmica (J_H)	$0,95 < J_H < 1,05$
Combustão Incompleta (J_I)	$J_I < 0,05$
Levantamento de Chama (J_L)	$J_L > 0,64$
Ponta Amarela (J_Y)	$J_Y < 0,30$

*Como não há referência para o Índice de flashback em relação ao “AGA Interchangeability Program” no “AGA Natural Gas Quality Management Manual 2013” utiliza-se como referência o limite **JF < 1,06**, para os gases do grupo H da EN 437 segundo a norma ISO 13686:2013.

Fonte: produzido pelos autores.

2.4. Análise Numérica de Intercambialidade segundo Weaver

Neste item apresentamos análise de intercambialidade entre as composições de GN provenientes das principais origens que abastecem os mercados dos estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais (Gás da Bolívia, GNL, UTGCA e UTGCAB), comparando com a composição prevista para o pré-sal com maior Índice de Wobbe entre as possíveis composições. Nesta análise utilizamos os Índices de Weaver, ressaltando que a proposta IBP considera que os demais parâmetros energéticos serão mantidos dentro das faixas atuais definidas na RANP N°16/2008.

Tabela 4 - Comparação por Weaver do gás esperado do Pré-sal como gás substituto com Gás Boliviano (GASBOL - composição média julho 2021) como gás de ajuste ou de referência.

Parâmetro	Origem		Limites AGA Intercambialidade
	GASBOL	Pré-sal	
Metano (C1)	90,6%	83,65%	
Etano (C2)	5,4%	13,8%	
Propano (C3)	1,26%	0,0%	
Butano e pesados (C4+)	0,77%	1,30%	
Nitrogênio (N ₂)	0,76%	0,85%	
Dióxido de Carbono (CO ₂)	1,21%	0,40%	
Oxigênio (O ₂)	-	-	
Índice de suprimento de ar (J_A)		1,036	
Índice de retorno de chama (J_F)		-0,022	< 1,06 (ISO 13.686)
Índice de carga térmica (J_H)		1,037	0,95 a 1,05
Índice de combustão incompleta (J_I)		0,047	< 0,05
Índice de levantamento de chama (J_L)		1,064	> 0,64
Índice chama de ponta amarela (J_V)		0,110	< 0,30

Fonte: produzido pelos autores.

Tabela 5 - Comparação por Weaver do gás esperado do Pré-sal como gás substituto com o proveniente da UTGCAB (composição média julho 2021) como gás de ajuste ou de referência.

Parâmetro	Origem		Limites AGA Intercambialidade
	UTGCAB	Pré-sal	
Metano (C1)	88,05%	83,65%	
Etano (C2)	7,08%	13,8%	
Propano (C3)	2,4%	0,0%	
Butano e pesados (C4+)	0,68%	1,30%	
Nitrogênio (N ₂)	0,69%	0,85%	
Dióxido de Carbono (CO ₂)	1,09%	0,40%	
Oxigênio (O ₂)	-	-	
Índice de suprimento de ar (J_A)		1,021	
Índice de retorno de chama (J_F)		-0,011	< 1,06 (ISO 13.686)
Índice de carga térmica (J_H)		1,022	0,95 a 1,05
Índice de combustão incompleta (J_I)		0,027	< 0,05
Índice de levantamento de chama (J_L)		1,040	> 0,64
Índice chama de ponta amarela (J_V)		0,059	< 0,30

Fonte: produzido pelos autores.

Tabela 6: Comparação por Weaver do gás esperado do Pré-sal como gás substituto com o proveniente da UTGCA (composição média julho 2021) como gás de ajuste ou de referência.

Parâmetro	Origem		Limites AGA Intercambialidade
	UTGCA	Pré-sal	
Metano (C1)	84,31%	83,65%	
Etano (C2)	8,64%	13,8%	
Propano (C3)	3,47%	0,0%	
Butano e pesados (C4+)	0,70%	1,30%	
Nitrogênio (N ₂)	0,62%	0,85%	
Dióxido de Carbono (CO ₂)	2,26%	0,40%	
Oxigênio (O ₂)	-	-	
Índice de suprimento de ar (J_A)		1,029	
Índice de retorno de chama (J_F)		-0,024	< 1,06* (*ISO 13.686)
Índice de carga térmica (J_H)		1,029	0,95 a 1,05
Índice de combustão incompleta (J_I)		0,028	< 0,05
Índice de levantamento de chama (J_L)		1,045	> 0,64
Índice chama de ponta amarela (J_Y)		0,029	< 0,30

Fonte: produzido pelo autor.

Tabela 7: Comparação por Weaver do gás esperado do Pré-sal como gás substituto com GNL do Terminal da Baía de Guanabara (composição média julho 2021) como gás de ajuste ou de referência.

Parâmetro	Origem		Limites AGA Intercambialidade
	GNL	Pré-sal	
Metano (C1)	95,93%	83,65%	
Etano (C2)	3,62%	13,8%	
Propano (C3)	0,17%	0,0%	
Butano e pesados (C4+)	0,1%	1,30%	
Nitrogênio (N ₂)	0,18%	0,85%	
Dióxido de Carbono (CO ₂)	0,0%	0,40%	
Oxigênio (O ₂)	-	-	
Índice de suprimento de ar (J_A)		1,024	
Índice de retorno de chama (J_F)		-0,003	< 1,06* (*ISO 13.686)
Índice de carga térmica (J_H)		1,026	0,95 a 1,05
Índice de combustão incompleta (J_I)		0,044	< 0,05
Índice de levantamento de chama (J_L)		1,054	> 0,64
Índice chama de ponta amarela (J_Y)		0,158	< 0,30

Fonte: produzido pelos autores.

Analisando-se os resultados provenientes da análise de intercambialidade, nota-se que é possível substituir o GN proveniente de qualquer uma das fontes que hoje abastecem os principais mercados brasileiros pelo gás do pré-sal, sem que haja impacto para os consumidores, de acordo com critérios reconhecidos internacionalmente.

2.5. Análises Complementares de Intercambialidade

De forma a comprovar os resultados obtidos da análise numérica de intercambialidade descrita no item 2.4, o IBP decidiu realizar ensaios reais com equipamentos normalmente utilizados por consumidores brasileiros. A partir de contato com associações ligadas ao consumo e fornecimento de GN no Brasil, verificou-se que os equipamentos domésticos que seriam mais sensíveis à variações nas características do GN fornecido seriam os aquecedores a gás. Os resultados destes testes são apresentados a seguir.

2.5.1. Teste de aquecedores com composição do pré-sal segundo metodologia NBR 8130

A norma NBR 8130- “Aquecedor de água a gás tipo instantâneo- Requisitos e métodos de ensaio” define os ensaios a serem realizados na homologação de modelos de aquecedores domésticos, entre eles a estabilidade da chama e a emissão de monóxido de carbono. Para

verificar de forma prática a intercambialidade do gás do pré-sal com os demais gases, o IBP solicitou um ensaio junto ao Instituto Nacional de Tecnologia (INT) com base na NBR 8130 para testar aspectos de segurança para os aquecedores residenciais. Foram selecionadas as seguintes misturas para comparação de resultados:

- **G20**, representando a composição de referência (NBR 8130)
- **G21**, representando o limite para avaliar a combustão incompleta (NBR 8130)
- Composição estimada do gás do pré-sal com maior Índice de Wobbe, denominada **Rep. Pré-sal**
- Composição hipotética no limite de etano (12%) da RANP N°16/2008, denominada **C2 Atual**
- Composição hipotética com o máximo de etano possível, sem limite para hidrocarbonetos e mantendo todos os demais limites da RANP N°16/2008, denominada **C2 Máximo**.

A Tabela 8 apresenta as composições utilizadas para cada mistura testada.

Tabela 8 - Composições teste de aquecedores.

Componente	Composições Molares (% molar)					
	G20	G21	Rep. Pré-sal	C2 Atual	C2 Máx.	RANP 16/08
Metano (C1)	90	86	83,65	85	76,2	> 85
Etano (C2)	6	6	13,8	12	20,8	< 12
Propano (C3)	2	7	0	1,2	0	< 6
Butano (C4)	0	0	1,3	1,8	0	< 3
Dióxido de Carbono (CO ₂)	0	0	0,4	0	3	< 3
Nitrogênio (N ₂)	2	1	0,85	0	0	< 6
Total	100%	100%	100%	100%	100%	NA

Fonte: produzido pelos autores.

Além dos ensaios previstos na norma, também foi realizada análise de teores de óxidos de nitrogênio (NOx) nas mesmas condições de medição de monóxido de carbono (CO). Embora não seja um requisito normativo, este teste foi solicitado ao INT para permitir comparar os resultados de estabilidade de chama, emissões de CO e NOx dos queimadores operando com as composições de referência e composições possíveis na especificação atual, com os resultados dos queimadores operando com a composição esperada do pré-sal. Assim, foi possível avaliar o impacto da introdução desta nova origem na matriz brasileira e da proposta dos produtores de revisão da Resolução ANP N°16/2008.

Adicionalmente, de forma a avaliar o impacto do teor de etano, foi incluída uma mistura com o maior teor de etano possível, que ainda se enquadrasse na proposta IBP de manutenção dos teores energéticos, de queima e de inertes dentro da faixa atual da RANP 16/08. Esta mistura hipotética e não atrelada a nenhuma das fontes atualmente conhecidas representa uma situação extrema, não só para definir o limite máximo possível de etano atrelado à proposta IBP (uma vez que atenderia os limites energéticos atuais da resolução), mas para avaliar o efeito deste hidrocarboneto no comportamento final.

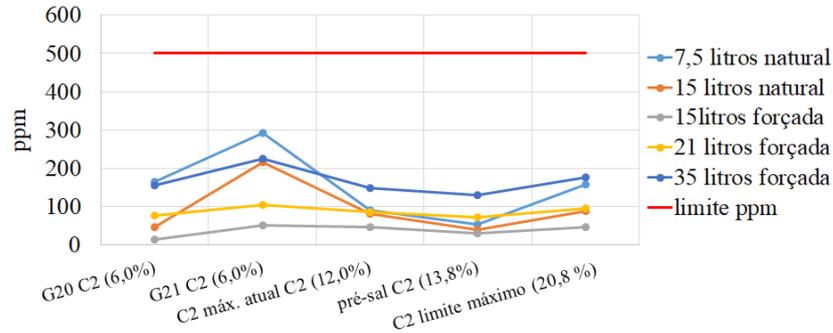
Os modelos de aquecedores utilizados nos testes foram sugeridos pela Associação Brasileira de Aquecimento a Gás (ABAGÁS) de acordo com os mais utilizados no mercado. Foram adquiridos diretamente no comércio, como qualquer consumidor normal, sem que houvesse nenhum comunicado aos fabricantes ou vendedores sobre o propósito da compra.

Os resultados dos testes do INT mostraram não haver diferenças significativas entre as composições de referência da norma e a composição do pré-sal em relação a estabilidade da chama e emissões de monóxido de carbono e NOx. Todas as composições passaram no teste de estabilidade de chama e ficaram dentro dos limites previstos para emissão de monóxido de

carbono. Em relação ao NOx, o nível das emissões não apresentou diferenças significativas, e na maioria dos aquecedores o nível de emissão de NOx com a composição do pré-sal ficou abaixo das composições de referência.

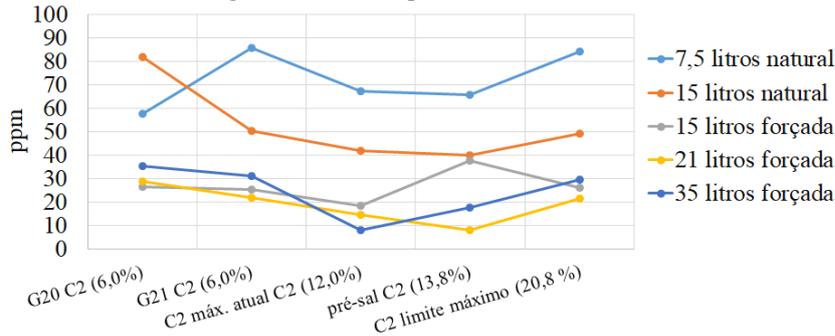
Seguem abaixo gráficos resumindo os resultados de teor de CO e NOx no gás de exaustão e no compartimento padrão onde foram instalados os aquecedores.

Figura 1 - teor de CO no gás de exaustão, pressão manométrica 250 mm de coluna d'água.



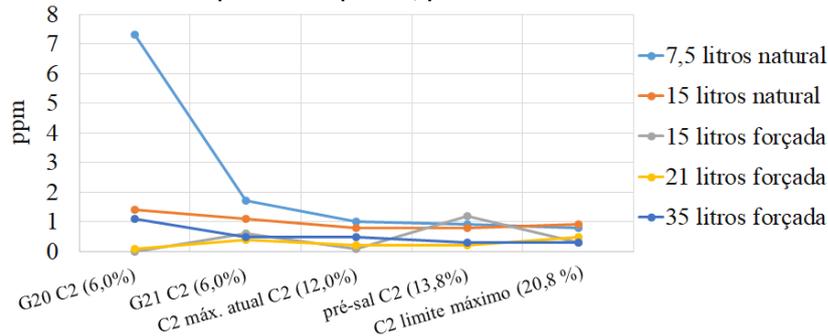
Fonte: produzido pelos autores.

Figura 2 - teor de NOx no gás de exaustão, pressão manométrica 250 mm de coluna d'água.



Fonte: produzido pelos autores.

Figura 3 - teor de NOx no compartimento padrão, pressão manométrica 250 mm de coluna d'água.



Fonte: produzido pelos autores.

2.5.2. Avaliação do Impacto Ambiental

Um aspecto cada vez mais presente nas discussões de fontes de energia refere-se ao potencial impacto ambiental e emissões associadas a cada tipo de combustível. Um dos grandes benefícios decorrentes da introdução de novas fontes de gás natural é a possibilidade de

substituição de combustíveis mais poluentes, notadamente carvão, óleo combustível ou gasolina pelo GN.

Entretanto, no que diz respeito à substituição de diferentes fontes de GN, o parâmetro ambiental não é avaliado por nenhum dos critérios apresentados, demandando análise específica. A Tabela 9 apresenta algumas características básicas de alguns dos componentes do GN.

Tabela 9 - Propriedades físico-químicas de alguns gases puros

Componente	Propriedades					
	MW (Kg/kmol)	PCI (kJ/mol)	d	LIF (% vol)	LSF (% vol)	E _{ign} (mJ)
Metano (CH ₄)	16,043	802,69	0,55	5,0	15,0	0,26
Etano (C ₂ H ₆)	30,070	1428,84	1,04	3,0	12,4	0,24
Propano (C ₃ H ₈)	44,097	2043,37	1,52	2,1	9,5	0,25
Butano (C ₄ H ₁₀)	58,123	2657,6	2,00	1,8	8,4	0,25
Dióxido de Carbono (CO ₂)	44,010	-	1,52	-	-	-
Nitrogênio (N ₂)	28,0135	-	0,97	-	-	-

Fonte: produzido pelos autores. MW(ISO 6976:1995) é a massa molar; PCI(ISO 6976:1995) é o Poder Calorífico Inferior (Tref 15°C); LIF é o limite inferior de inflamabilidade; LSF é o limite superior de inflamabilidade; e E_{ign} é a energia mínima para ignição do gás no ar.

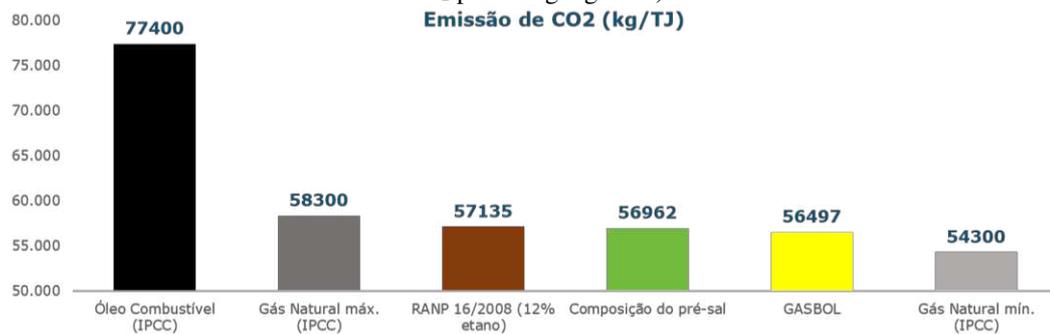
Avaliando-se estes dados, observa-se o seguinte:

- A queima de 1 kmol de C1 gera 802,69 MJ de energia e 44 kg de CO₂, ou cerca de 18,2 MJ por kg de CO₂ emitido.
- A queima de 1 kmol de C2 gera 1428,84 MJ de energia e 88 kg de CO₂, ou cerca de 16,2 MJ por kg de CO₂ emitido.
- Considerando a variação da composição do GN somente em termos de C1 e C2, observa-se que reduzir o teor de C1 na mistura de 90 para 80% e **aumentar o de C2 de 10 para 20%** resulta em acréscimo de **1%** na emissão de CO₂ para a mesma quantidade de energia gerada.

De forma a abranger esta análise, como a composição do GN apresenta outros componentes, torna-se necessário considerar os demais elementos da mistura, assim como avaliar os efeitos da substituição de outros combustíveis pelo GN.

A Figura 4 apresenta emissões típicas de algumas fontes, medida em massa de CO₂ (kg de CO₂) por quantidade de energia gerada (tera-joules – TJ). Os dados de emissão para o gás do **pré-sal**, do **GASBOL** e **limite de C2 da Resolução ANP 16/2008** foram calculados a partir da composição e do PCI e da massa molar da ISO 6976:1995, enquanto os dados de Gás Natural máx., Gás Natural mín e Óleo Combustível foram extraídos do “Intergovernmental Panel on Climate Change” (IPCC), que define duas composições para representar as emissões máximas e mínimas do GN em uso nos EUA.

Figura 4 – Comparação entre níveis de emissões estimados pelo IPCC para diferentes combustíveis (valores em CO₂ por energia gerada).



Fonte: dados do IPCC, complementado por informações produzidas pelos autores.

Com base nesta figura, nota-se que:

- A substituição de óleo combustível pelo GN proveniente do pré-sal permite a redução das emissões de CO₂ em 26% (77.400 kg CO₂/TJ x 56.962 kg CO₂/TJ). Este é o principal impacto positivo observado pelo aumento da oferta de GN, que seria ainda maior caso a comparação fosse realizada com carvão;
- Comparando-se as emissões provenientes do GN do pré-sal com a composição com 12% de C₂, nota-se que o GN do pré-sal apresenta redução de 0.3% nas emissões. A mesma comparação do GN boliviano resulta em aumento de 0.8% das emissões. Ou seja, os valores observados situam-se ao redor de 1%.

Portanto, o impacto ambiental do aumento da oferta de GN é altamente positivo quando atua substituindo combustíveis como óleo combustível, gasolina ou carvão. A substituição de outra fonte de GN não apresenta impacto significativo sob a ótica ambiental, sendo a variação de cerca de 1 % mais do que compensada pela estabilização das propriedades ao se manter uma única fonte, garantindo funcionamento mais estável dos equipamentos de combustão.

2.5.3. Avaliação do Impacto de Segurança dos Consumidores

O aspecto de segurança ao consumidor deve ser analisado considerando as emissões de produtos tóxicos nos equipamentos e o comportamento da mistura em caso de vazamento ou liberação acidental.

2.5.3.1. Emissões de produtos tóxicos

Como apresentado anteriormente, o principal produto tóxico proveniente da combustão de GN é o monóxido de carbono (CO). Sua emissão em quantidades relevantes está normalmente relacionada a problemas na queima, causados principalmente por falta de ar ou extinção da chama. O principal parâmetro a ser observado nestes casos é o Índice de Wobbe (Iw), que está diretamente relacionado à razão de equivalência, que avalia a relação entre a vazão de ar real e a estequiométrica.

Portanto, a melhor forma de evitar que haja emissão excessiva de CO é a manutenção da faixa de Iw. Esta prática resulta em observância das características do equipamento e manutenção da vazão de ar necessária para que a combustão ocorra como o equipamento foi projetado. Ou seja, mantendo-se a faixa atual de variação do Iw da RANP 16/08 o resultado é a manutenção dos níveis atuais de emissão de CO em todos os equipamentos projetados para operar nesta faixa, independe do teor individual dos hidrocarbonetos no GN fornecido.

Esta conclusão pode ser facilmente comprovada observando-se os resultados dos testes dos aquecedores para CO, onde todas as misturas testadas apresentaram valores adequados deste gás após sua combustão.

2.5.3.2. Comportamento da mistura em caso de vazamento ou liberação acidental

Vazamentos ou liberações acidentais de gases inflamáveis podem levar a cenários acidentais de severidade considerável, influenciados pelas quantidades vazadas, do local de vazamento e das características do produto liberado. Uma vez que o propósito deste documento é avaliar a substituição de um gás por outro, as variáveis associadas com intensidade da liberação e características do local do vazamento não serão consideradas para este propósito.

A Tabela 10 apresenta algumas propriedades das misturas que serão utilizadas nas considerações de segurança. Os dados foram calculados a partir das propriedades extraídas do “SPFE Handbook of Fire Protection Engineering”, e complementam os dados apresentados na Tabela 9.

Tabela 10 - Propriedades físico-químicas de GN das fontes consideradas

Componente	Propriedade				
	MW (Kg/kmol)	d	PCS (MJ/kmol)	LIF (% vol)	LSF (% vol)
GASBOL	17,9	0,62	942	4,70	14,3
GNL	16,7	0,58	918	4,83	14,6
Pré-sal	18,7	0,65	999	4,61	14,4
C2 Atual	18,8	0,65	1024	4,67	14,5
C2 Máximo	19,8	0,69	1004	4,43	14,0

Fonte: produzido pelos autores.

Ao analisarmos os riscos associados à formação de atmosferas inflamáveis, os aspectos que demandam atenção são discutidos nos próximos 4 subitens:

2.5.3.2.1. Faixa de Inflamabilidade

Este aspecto permite avaliar as concentrações de gás da mistura combustível-ar onde haveria propagação estável da frente de chama, criando condições para ocorrência de explosões e incêndios. Observando-se os dados da Tabela 9 nota-se que as faixas onde a mistura é inflamável no ar apresenta uma tendência de menores concentrações para os alcanos mais pesados, assim como formação de mistura rica em concentrações menores.

Ou seja, uma mistura metano-ar seria pobre para concentrações inferiores a 5%, e rica para valores acima de 15%. Por sua vez, a ignição do butano poderia ocorrer em concentrações mais baixas, a partir de 1,8%, porém haveria formação de mistura rica em concentrações superiores a 8,4%.

Se considerássemos um vazamento ocorrendo num ambiente fechado, sem ventilação, a liberação de metano precisaria atingir uma concentração maior para ignitar, ou mais tempo vazando até que a ignição ocorresse, se comparado aos demais alcanos listados. Por sua vez, uma mistura de butano atingiria uma condição de mistura rica, onde a chama não mais se propagaria, num tempo mais curto que os demais.

Avaliando a mistura de gases, calculam-se os valores apresentados na Tabela 10. Nota-se que os valores para os limites de inflamabilidade e densidade relativa ao ar (parâmetro importante para dispersão) são muito próximos para todas as fontes, mesmo quando se considera o gás com 20% de etano (C2 Máximo). Portanto, nota-se que há uma equivalência entre as diferentes composições, indicando que não haverá impacto ou risco adicional para os consumidores em caso do uso do gás do pré-sal ou de qualquer das misturas consideradas.

2.5.3.2.2. Probabilidade de ignição

A probabilidade de ignição de uma mistura gasosa no ambiente depende dos tipos e quantidades de fontes de ignição disponíveis, assim como das características do gás combustível. Considerando-se que o gás substituto e o original serão utilizados no mesmo ambiente, o ponto de interesse são as características do gás.

A primeira característica de interesse é a faixa de inflamabilidade, que já foi discutida no item anterior, onde se comprovou que não há diferença significativa entre as diferentes fontes. O outro ponto de atenção diz respeito à quantidade de energia requerida para dar início ao processo de combustão, denominada Energia de Ignição (E_{ign}).

Analisando-se os valores apresentados na Tabela 9 observa-se que não há diferença significativa da E_{ign} requerida para os componentes inflamáveis do GN. Ou seja, a energia requerida somente será diferente quando considerarmos o peso dos componentes inertes da mistura.

Desta forma, gases com maiores teores de CO_2 e N_2 teriam maior dificuldade em ignitar se comparados com misturas onde estes componentes não estão presentes. No caso específico do gás típico do pré-sal, nota-se a presença de teores de CO_2 de até 2% (na condição de chegada em terra).

Porém, do ponto de vista prático, considera-se que todas as misturas são equivalentes sob a ótica de probabilidade de ignição.

2.5.3.2.3. Características de dispersão

O processo de dispersão do gás na atmosfera é governado pelas condições do ambiente onde o vazamento ocorre, da vazão de vazamento e algumas propriedades do gás, como pressão, temperatura e densidade. Todas estas variáveis são comuns a todas as misturas, exceto a densidade, que será avaliada a seguir.

Normalmente, gases mais densos tendem a localizar-se mais próximo ao solo, caso a densidade relativa seja maior do que 1. Analisando-se os valores de d apresentados na Tabela 10 nota-se que não há diferença significativa entre as misturas e todas apresentam valores inferiores a 1 (todas as misturas são mais leves que o ar). Portanto, todas estas misturas se comportariam de forma semelhante no que diz respeito ao processo de dispersão.

Um ponto a ser destacado é que todos os hidrocarbonetos acima do metano apresentam densidade relativa maior do que 1. Este fato pode levar a uma dúvida sobre o que ocorreria caso houvesse uma separação dos componentes em caso de vazamento de GN para a atmosfera. É importante deixar claro que esta separação não ocorre para o GN liberado no ambiente. Seriam necessários valores de pressão muito altos ou temperaturas muito baixas para promover a separação metano-etano, razão pela qual as plantas de tratamento de gás têm processos complexos para promover esta separação.

Uma analogia que pode facilitar o entendimento deste processo é com o ar que respiramos. Ele é composto por N_2 (MW=28), O_2 (MW=32), CO_2 (MW=44) e outros componentes. Por ser uma mistura, não há zonas onde estes componentes são encontrados de forma separada, quer sejam em locais confinados ou abertos. O mesmo se aplica aos componentes do GN.

2.5.3.2.4. Energia liberada

A energia liberada em caso de combustão varia de acordo com as propriedades energéticas do GN. Estas propriedades são caracterizadas pelo Iw e pelo poder calorífico. Como a proposta IBP mantém as faixas destas grandezas da RANP-16/08, não haverá impacto aos

usuários em relação ao que é praticado hoje, independentemente dos teores individuais de hidrocarbonetos do GN.

3. Considerações finais

Como pode ser visto acima, o Índice de Wobbe fornece a melhor forma de se avaliar a intercambialidade entre diferentes composições de gases combustíveis e principal parâmetro para se estimar a influência da composição nas emissões de monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio (NO_x), estabilidade e temperatura da chama, não sendo necessário levar em conta limites composicionais. A sua única limitação seria na previsão de chama com ponta amarela, o que pode ser resolvido com um limite adicional no Poder Calorífico Superior. A maioria dos países do mundo e os mercados mais desenvolvidos controlam a intercambialidade em suas especificações limitando faixas para o Índice de Wobbe, Poder Calorífico Superior e densidade relativa. A proposta do IBP de revisão da especificação do gás natural no Brasil (Resolução ANP N° 16/2008) segue este mesmo princípio.

Para confirmar esta teoria, o Grupo de Trabalho do IBP realizou avaliações utilizando os Índices de Weaver para estudar o comportamento da combustão usando composições das fontes atuais do mercado brasileiro como gás de ajuste e a composição estimada do pré-sal com maior Índice de Wobbe como gás substituto, confirmando a intercambialidade entre elas. Também foram realizados testes práticos comparativos de acordo com a norma NBR 8130 para confirmar a segurança na substituição das fontes atuais pelo gás do pré-sal em termos de emissão de CO, NO_x e estabilidade de chama. Ao avaliarmos outros riscos e potenciais impactos em aspectos de segurança e emissões, também pode-se observar que estes são adequadamente atendidos por esta proposta, sem diferenças significativas em relação às composições de GN atualmente ofertado, provenientes de diferentes fontes. Além disto, confirma-se o benefício óbvio associado ao aumento da oferta de GN como substituto de fontes mais poluidoras, em especial o óleo combustível e a gasolina.

No caso brasileiro, uma modernização da especificação, utilizando os parâmetros de intercambialidade e retirando os limites individuais para hidrocarbonetos, permitiria flexibilidade na composição molar, viabilizaria a ampliação da oferta e, conseqüentemente, maior uso do gás natural produzido em nossas bacias, trazendo benefícios para a balança comercial, aumento de arrecadação e benefícios ao meio ambiente com a substituição de combustíveis mais poluentes. Adicionalmente, o uso da produção nacional permitirá uma estabilização da composição em relação ao uso do GNL importado e ainda servirá para viabilizar a introdução de novos energéticos futuros como o biometano.

4. Agradecimentos

Os autores agradecem as empresas Petrobras, Shell Brasil, Repsol Sinopec Brasil, Equinor, GALP, Total Energies e Exxon Mobil pela cessão dos profissionais e dos recursos para o Grupo de Trabalho de Especificação de Gás Natural do IBP, e também ao IBP pela cessão de seus profissionais e pelos recursos disponibilizados para o teste de aquecedores domésticos realizado com o INT (Instituto Nacional de Tecnologia).

Referências

- ABNT (Ed.). (2004). *NBR 8130/2004 - Aquecedor de água a gás tipo instantâneo – Requisitos e métodos de ensaio*. ABNT.
- AGA (Ed.). (2009). *Report no. 4A – Natural Gas Contract Measurement and Quality Clauses*. AGA.
- AGA (Ed.). (2013). *Natural Gas Quality Management Manual*. AGA.
- AGA (Ed.). (2002). *Research Bulletin no. 36 – Interchangeability of other fuel gases with natural gases*. AGA.
- AGA. (2001). *Gas Interchangeability Program*. AGA.
- ANP (Ed.). (2008). *Resolução ANP 16/2008*. ANP.
- EN – EUROPEAN STANDARDS (Ed.). (2021). *BS EN 437:2021 – Test gases. Test pressures. Appliance categories*. EN.
- INT. (2020). *Relatório de ensaio nº 000.002/20*. INT.
- IPCC. (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. IPCC.
- ISO (Ed.). (2016). *ISO 6976:2016 Natural gas - Calculation of calorific values, density, relative density and Wobbe indices from composition*. ISO.
- ISO. (2013). *ISO 13686:2013 Natural gas - Quality designation*. ISO.
- SPFE (Ed.). (2016). *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 5th edition*. SPFE.

