

**DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO EM
QUEIMADORES DE FOGÕES
DOMÉSTICOS**



ENG. FLÁVIO FERNANDES

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Antônio Moreira dos Santos

São Carlos

1999

Class.	TESE - EESC
Ext.	2097
Tombo	006199

S/S 10 30 156

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

F363d Fernandes, Flávio
Desenvolvimento tecnológico em queimadores de
fogões domésticos / Flávio Fernandes. -- São Carlos,
1999.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de
São Carlos-Universidade de São Paulo, 1999.
Área: Engenharia Mecânica.
Orientador: Prof. Dr. Antônio Moreira dos Santos.

1. Combustão. 2. Queimadores. 3. Fogão. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Engenheiro **FLÁVIO FERNANDES**

Dissertação defendida e aprovada em 05.03.1999
pela Comissão Julgadora:



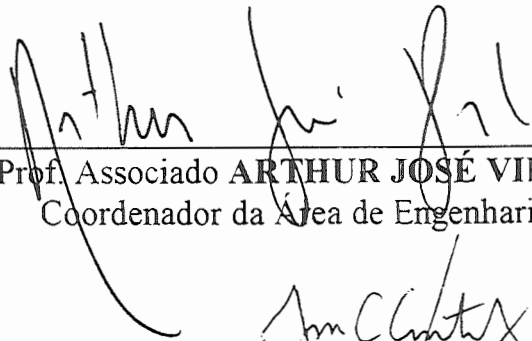
Prof. Dr. **ANTONIO MOREIRA DOS SANTOS (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Prof. Dr. **FERNANDO EDUARDO MILIOLI**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Prof. Dr. **JOÃO MARIA DOS SANTOS**
(UNESP – Campus de Guaratinguetá)



Prof. Associado **ARTHUR JOSÉ VIEIRA PORTO**
Coordenador da Área de Engenharia Mecânica



JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

DEDICATÓRIA:

À minha amada esposa,
que sempre esteve do meu lado, auxiliando e compreendendo o tempo dedicado para que
este trabalho fosse possível de ser realizado.

AGRADECIMENTOS:

À Deus.

Ao meu orientador, Professor Dr. Antônio Moreira dos Santos, pela orientação e incentivo.
Mais que meu orientador, meu amigo.

À GE DAKO S.A, especificamente ao Sr. Wilson Cordebello Júnior, pela chance de poder realizar este trabalho. A você o meu respeito, meu carinho e dedicação.

À todas as pessoas do RHAÉ que confiaram em nossa proposta e viabilizaram o projeto.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	iii
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	iv
RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
1 – INTRODUÇÃO.....	1
2 – HISTÓRICO.....	3
2.1 – PRIMÓRDIOS.....	3
2.2 – EVOLUÇÃO.....	4
2.3 – GASES DISPONÍVEIS NO BRASIL.....	6
2.4 – TENDÊNCIAS.....	8
3 – TEORIA	10
3.1 – COMBUSTÃO: CONCEITOS BÁSICOS.....	10
3.1.1 - DESENHO DO QUEIMADOR E DO CIRCUITO DA COMBUSTÃO.....	10
3.1.2 - COMBUSTÃO	12
3.1.3 – COMBURENTE.....	14
3.1.4 – COMBUSTÍVEL.....	15
3.1.5 – PRODUTOS DA COMBUSTÃO.....	16
3.1.6 – POLUENTES.....	17
3.2 –EQUAÇÕES BÁSICAS.....	18
3.2.1 – AS LEIS DOS GASES IDEAIS.....	18
3.2.2 – MECÂNICA DOS FLUÍDOS.....	24
3.2.3 - TERMODINÂMICA.....	27
3.3 – ANÁLISE DA CHAMA.....	31
3.3.1 – CONCENTRAÇÃO DA MISTURA AR MAIS COMBUSTÍVEL.....	32
3.3.2 – TIPO DE LIGAÇÃO QUÍMICA E ESTRUTURA MOLECULAR DO COMBUSTÍVEL.....	33
3.3.3 – ADITIVOS.....	35
3.3.4 – TEMPERATURA INICIAL DOS REAGENTES	36
3.3.5 – TEMPERATURA DA CHAMA.....	36
3.3.6 - PRESSÃO.....	36

4 – METODOLOGIA	44
4.1- METODOLOGIA DE PROJETO.....	44
4.1.1 - FLUXO DE GÁS (INJETOR E REGISTRO).....	45
4.1.2 - CAPITAÇÃO DO AR PRIMÁRIO (TUBO VENTURI).....	48
4.1.3 - CAPITAÇÃO DO AR SECUNDÁRIO: DISTÂNCIA ENTRE CHAMA E PANELA.....	50
4.1.4 - COMBUSTÃO (QUEIMADOR).....	51
4.2 – METODOLOGIA DE ENSAIOS E AVALIAÇÕES.....	53
4.2.1 – POTÊNCIA DOS QUEIMADORES (NOMINAL E MÍNIMA).....	54
4.2.2 - RESISTÊNCIA AO SUPERAQUECIMENTO.....	56
4.2.3 – ESCAPE DE GASES NÃO QUEIMADOS.....	56
4.2.4 – VAZÃO TOTAL DO APARELHO.....	57
4.2.5 – SEGURANÇA DE OPERAÇÃO: IGNIÇÃO , PROPAGAÇÃO E ESTABILIDADE DA CHAMA.....	57
4.2.6 - COMBUSTÃO.....	58
4.2.7– RENDIMENTO.....	59
4.3 - EQUIPAMENTOS UTILIZADOS.....	61
5 - RESULTADOS.....	63
6 – CONCLUSÕES.....	70
6.1 – CONCLUSÕES DESTE TRABALHO.....	70
6.2 - SUGESTÕES PARA NOVAS PESQUISAS.....	72
7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74
8- BIBLIOGRAFIA.....	76
ANEXOS.....	80
ANEXO 1: EQUAÇÕES DA COMBUSTÃO PARA VÁRIOS GASES.....	80
ANEXO 2: ITENS DA NORMA REFERENTES A QUEIMADORES DE MESA DESCOBERTOS.....	80
ANEXO 3: CLASSIFICAÇÃO DOS QUEIMADORES E OUTROS.....	104
ANEXO 4: ARTIGO SOBRE ENSAIOS DE CO EM FOGÕES.....	107
ANEXO 5: UNID. DAS GRANDEZAS BÁSICAS, DERIV. E CONVERSÕES..	114
APÊNDICES:	116

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Distribuição entre diferentes combustíveis utilizados em fogões e iluminação em regiões rural, urbana e metropolitana (por renda familiar).....	5
FIGURA 2: Queimador do Fogão.....	10
FIGURA 3: Circuito de gás em um fogão.....	10
FIGURA 4: Detalhe de um queimador em funcionamento (ar secundário).....	11
FIGURA 5: Detalhe completo de um queimador.....	12
FIGURA 6: Gráfico de tempo de exposição e %CO no sangue, para curvas de %CO no ar.....	17
FIGURA 7: Regiões de uma chama.....	31
FIGURA 8: % de excesso de ar & resultado na combustão.....	32
FIGURA 9: Gráfico de velocidade de queima & % excesso de ar no gás natural.....	32
FIGURA 10: A variação da velocidade da chama com a concentração de vários combustíveis.....	33
FIGURA 11: Variação da velocidade da chama com relação ao número de radicais metil na molécula.....	34
FIGURA 12: Efeito do número de átomos de carbono na velocidade da chama.....	34
FIGURA 13: Limites de Flamabilidade do Metano com várias adições de inertes no comburente.....	35
FIGURA 14: Efeito da temperatura inicial na velocidade da chama.....	36
FIGURA 15: Velocidade do fluxo de ar-gás e velocidade da chama em uma porta de queimador.....	37
FIGURA 16: Chama com excesso de ar primário (soprando).....	38
FIGURA 17: Detalhes de chamas & ar primário: a) adequado, b) reduzido e c) cerrado.....	39

FIGURA 18: Formato do Venturi.....	49
FIGURA 19: Detalhes da chama & ar secundário: a) adequado, b) reduzido e c) reduzido ainda mais.....	50
FIGURA 20: Rendimento em função da distância da panela e do tamanho do queimador.....	51
FIGURA 21: Equacionamento do circuito de gás.....	53
FIGURA 22: Ensaio para avaliar o circuito de gás.....	60
FIGURA 23: Ensaio para avaliar o Queimador e Trempe.....	60

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Capacidade de Porta de Queimador.....	52
TABELA 2: Verificação da razão dos registros com vários injetores.....	63
TABELA 3: Resultados de ensaios com venturis calculados.....	65
TABELA 4: Efeitos da variação da distância entre panela e queimador.....	66
TABELA 5: Resumo das especificações.....	71
TABELA 6: Propriedade dos gases puros.....	83
TABELA 7: Quantidade de (CO)_n nos produtos da combustão.....	86
TABELA 8: Características dos gases de ensaio.....	87
TABELA 9: Pressões de ensaio.....	87
TABELA 10: Diâmetro dos recipientes e massa da água.....	91
TABELA 11: Porcentagem de (CO₂)_n.....	101
TABELA 12: Dimensões dos recipientes para ensaio para queimadores a gás.....	101
TABELA 13: Diâmetro do recipiente e massa de água em função da potência do queimador.....	103

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

μ :	Viscosidade
ρ :	Densidade
γ :	Peso específico
A :	Proporção de moles de reagentes para moles de produto
A :	Área da superfície do interior do cone
A :	Área do orifício do injetor
Ab :	Área da seção transversal do queimador
Af :	Área da superfície da chama
ANP:	Agencia Nacional de Petróleo
A_t :	Área total das portas de um queimador
c :	velocidade local do som
C :	fração molar
C_d :	Coefficiente de perda de carga
COMGAS:	Compania de Gás do Estado de São Paulo
COMPET:	Programa de racionalização do uso de derivados de petróleo e gás natural
C_p :	Calor específico à pressão constante
C_v :	Calor específico à volume constante
D :	Diâmetro
D :	Diâmetro do bico
DC:	Queimador dianteiro central
DD	Queimador dianteiro direito
DE:	Queimador dianteiro esquerdo
DFv:	Diâmetro do furo virtual
D_i :	Diâmetro interno da garganta do venturi
F :	Fugacidade
g :	Função de Gibbs
H :	PCS
HP:	Entalpia de formação dos produtos
HR:	Entalpia de formação dos reagentes
I :	Intensidade específica da chama
I :	Comprimento de entrada do venturi à garganta
k :	Razão dos calores específicos
L :	Comprimento visível da chama
L :	Comprimento total do venturi
M :	Número de Mach
M :	Peso molecular
n. WOBBE:	número de Wobbe MJ/m ³
n :	Número de moles
NFv:	Número de furos virtuais do queimador
P :	Pressão
P_a :	Passo
PCI:	Poder Calorífico Inferior
PCS:	Poder Calorífico Superior MJ / m ³
P_e :	Perímetro do queimador
P_m :	Potência nominal do queimador
PROCEL:	Programa de racionalização do uso de energia elétrica
Q_m :	Vazão mássica

Qv:	Vazão volumétrica
R:	Conteúdo de calor/volume de gás
Rey	Número e Reynolds
RR:	Taxa de reação
SI:	Velocidade de queima
SP:	Entropia de formação dos produtos
SR:	Entropia de formação dos reagentes
T:	Temperatura
TC:	Queimador traseiro central
TD:	Queimador traseiro direito
TE:	Queimador traseiro esquerdo
<i>Tf</i> :	Temperatura da chama adiabática
<i>Tm</i> :	Temperatura do fluido do bico
V:	Volume
v:	Velocidade do fluido
<i>V</i> :	Vazão voluntária do gás e ar primário
<i>Va</i> :	Média da velocidade da mistura através do queimador
<i>Vb</i> :	Velocidade da combustão
X:	Fração molar
x:	Fração molar na fase líquida
y:	Fração molar na fase gasosa
Z:	Constante ou função de correção de gases reais
z:	Dimensão vertical
τ :	Tensão de Cisalhamento

RESUMO

O homem utiliza o fogo para cozinhar à muito tempo. O fogão a gás faz parte de sua vida desde pequeno. Existe uma tendência de crescimento do consumo de gás liquefeito de petróleo e gás natural, substituindo a energia elétrica. Há portanto a necessidade de se economizar combustíveis gasosos. Uma das maneiras é aprimorando os aparelhos que utilizam gás para aumentar sua eficiência. Porém não existem muitos trabalhos de pesquisa nesta área. Propõem-se, neste trabalho, fazer um levantamento da teoria que envolve a combustão de hidrocarbonetos, analisar os itens responsáveis pela combustão em queimadores de mesa de fogões domésticos, analisar a metodologia conhecida no mercado para análise de queimadores de fogões, equacionar o funcionamento destes itens e propor orientações e equacionamentos para projeto de queimador de mesa para fogões

Palavra Chave: Combustão, Queimador, Fogão

ABSTRACT

The mankind has used the fire for a long time to cook . The gas range (gas stove) takes part on his life since he was a child. There is a tendence to increase the use of liquefied petroleum gas and natural gas, using them to substitute the electrical energy. Then there is the necessity to preserve the gasous fuels. One way to do this is to develop the appliances that use gas to increase their efficiency. But there is not much research on this area. it is proposed, in this research, to study the teory about the combustion of hidrocarbons., to analyse the items affecting combustion in a cook top burner of gas ranges, to analyse the known methodology to test burners of gas ranges, to develop equations to explain the functioning of these items, and to make suggestions and propouse equations to develop a cook top burner of gas ranges.

Key Words: Combustion, Burner, Range (Stove)

1 – INTRODUÇÃO

Com a descoberta do fogo o homem mudou seu comportamento e hábitos. A energia proveniente da combustão invadiu sua vida e o impulsionou a outros avanços. Dentre estes avanços encontra-se a descoberta e utilização de outras formas de energia, como a energia elétrica, solar, atômica, entre outras.

Não sabemos o que o homem irá descobrir. Se utilizaremos outra forma de energia que traga uma revolução na sociedade como trouxe a obtida pela combustão ou a energia elétrica.

Ao analisar o panorama atual, constatamos que existe uma demanda sempre crescente de energia, principalmente a energia elétrica. Infelizmente, as fontes não podem ser ampliadas ao infinito. Existe um limite físico. Deste modo, o uso indiscriminado da energia elétrica está sendo repensado. Dentro do que existe hoje como bens de consumo e que fazem parte intrínseca da vida do homem, tudo pode ser movido por energia elétrica. O inverso não é verdadeiro para todas as situações, quando pensamos em energia obtida pela combustão. Segundo MODELL (1983), a energia elétrica é considerada uma energia nobre, devido à sua capacidade de se converter em outras formas de energia, com perdas mínimas nestas conversões. Existe portanto, uma tendência mundial em utilizar a energia térmica obtida pela combustão de combustíveis fósseis ou de fontes renováveis para obter calor, como forma de preservar a energia elétrica para fins mais nobres.

Por outro lado, os combustíveis fósseis também não são fontes ilimitadas, e os combustíveis que podem ser produzidos pelo homem ainda não se tornaram economicamente viáveis, como por exemplo o gás metano proveniente do lixo. Temos também os problemas ecológicos produzidos pela formação do dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxido de nitrogênio, etc. Isto não muda a tendência de se utilizar cada vez mais a combustão, mas fomenta o desenvolvimento de produtos mais eficientes e que não agredam tanto o meio ambiente.

No Brasil encontramos o uso predominante do gás liquefeito de petróleo (GLP) nos fogões. Este fato é facilmente explicado pela facilidade de armazenagem, baixo custo e facilidade de transporte. É com certeza o combustível que pode chegar mais facilmente a qualquer parte do Brasil, do Oiapoque ao Chuí. Desta forma o GLP terá um destaque especial neste trabalho.

Considerando que o homem cozinha alimentos desde tempos imemoriais, mesmo com o progresso tecnológico alcançado em outros setores, o estudo e a tecnologia em queimadores de fogões domésticos a gás pouco cresceram desde que a tecnologia de liquefazer os gases alcançou o grande público. Muito se pesquisa sobre queimadores industriais, porém quase nada com relação a queimadores de fogões domésticos, mesmo sendo estes os maiores responsáveis pelo consumo de GLP no Brasil.

O Brasil importa cerca de 40 % do que consome de GLP. O GLP importado contém ou gás propano ou gás butano com pureza acima de 80 %. É necessário que estes gases sejam transportados em separado, pois a pressão de liquefação destes são distintas, resultando em reservatórios mais resistentes para o propano do que para o butano. Porém estes gases não são misturados antes de serem distribuídos para o consumidor. Já a parte produzida no Brasil é fruto da destilação fracionada do petróleo e sua composição varia segundo o petróleo destilado. As especificações para o GLP no Brasil, que são feitas pelo Departamento Nacional de Combustíveis (DNC), hoje englobado pela Agência Nacional de Petróleo (ANP), são precárias, permitindo que exista uma heterogeneidade muito grande na composição do GLP distribuído no mercado brasileiro.

OBJETIVO DESTES TRABALHOS:

Fazer um desenvolvimento de queimadores de fogões domésticos e avaliar todos os fatores envolvidos na sua combustão. Para tal, as principais etapas realizadas foram:

- Um estudo preliminar da combustão de hidrocarbonetos e das características dos gases existentes no seu estado puro, com o intuito de compreendermos as diferenças existentes entre os gases utilizados no Brasil.
- Um levantamento de teorias em várias disciplinas, necessárias para a compreensão das diferenças de concentração de uma mistura de gases na fase líquida e gasosa, do transporte dos gases no interior de um fogão e da combustão destes gases.
- Um estudo teórico da chama laminar e dos agentes externos que influenciam seu comportamento.
- Um equacionamento dos itens responsáveis pela combustão em um fogão.
- Uma análise teórica dos requisitos de normas de fogões referentes a segurança e funcionamento de queimadores.
- A verificação da aplicação dos equacionamentos e recomendações em projetos através de ensaios realizados.

Este trabalho foi possível pela iniciativa e colaboração da GE DAKO S.A. e através do RHAE, que viabilizou o projeto.

2 – HISTÓRICO

2.1 – PRIMÓRDIOS:

Desde que o homem descobriu a arte de como fazer o fogo ele o tem utilizado no preparo de sua alimentação.

Com a técnica de produzir o fogo dominada, passou a utilizá-lo em seu proveito como aquecer sua caverna, iluminar o ambiente e afugentar os predadores.

As fogueiras reuniam os componentes de cada grupo ao anoitecer. Então alguém colocou seu alimento sobre as chamas e constatou os benefícios que elas provocavam neste alimento: sementes duras se tornavam tenras; raízes eram digeridas mais facilmente; as carnes tinham seu sabor forte amenizado, além de aumentar a durabilidade de alguns alimentos.

Nas primeiras fogueiras eram utilizadas madeiras e palhas; materiais que o homem conhecia como inflamáveis mediante suas observações sobre a natureza, pois era comum o fogo em árvores e campos quando as tormentas traziam os raios.

Logo após, o homem passou a utilizar utensílios de pedra para suportar os alimentos. No início eram pedras planas. Depois, com o uso de ferramentas, o homem escavou a pedra e nasceu a primeira panela. O homem passou a utilizá-la para armazenar água e em decorrência da água estar em uma panela, levá-la ao fogo foi o segundo passo. Começou então a utilizar a água como meio de cozer os alimentos. Foi então construído o primeiro dispositivo para suportar os utensílios, e com isto, nasceu os primórdios de um fogão, que provavelmente utilizava lenha como combustível. Com o passar do tempo, estes fogões foram desenvolvidos para facilitar o manuseio dos utensílios, o arranjo da lenha e o aproveitamento da energia gerada pelo fogo. O uso da madeira, ou lenha, se estende até os dias de hoje, principalmente entre pessoas que moram no campo e pessoas de baixa renda.

Na sua observação da natureza, o homem passou a utilizar outros materiais inflamáveis. Diz uma lenda, descrita por SEARS (1977), que foram os chineses, a mais de 2000 anos A.C., os primeiros que utilizaram o gás como combustível. No caso, um gás obtido naturalmente de poços rasos que existiam em determinados lugares e que eram canalizados por tubos de bambu. Este gás, conhecido hoje como gás natural (GN), era utilizado para evaporar a água do mar e com isto os chineses obtinham o sal.

2.2 – EVOLUÇÃO:

O uso da lenha em larga escala nos grandes centros passou a ficar cada vez mais difícil pelo volume físico necessário, sem contar que a lenha utilizada é fruto da devastação do meio ambiente, na maioria dos casos.

O primeiro combustível alternativo foi então o carvão vegetal, obtido da própria lenha e que tinha a vantagem de ocupar um espaço físico menor, mas não foi difundido nos lares devido a sujeira que este gerava em seu manuseio. Porém, obteve maior aceitação no uso de fornos comerciais.

O segundo combustível alternativo foi o querosene, cuja vantagem em relação ao anterior é a facilidade de armazenagem. Os fogões que o utilizavam possuíam um reservatório elevado, onde através de válvulas tipo agulha ocorria o gotejamento em tubos que conduziam o querosene até o queimador, por gravidade. A inconveniência, entretanto, era que o odor produzido não era nada agradável, sem contar o fator segurança, pois o querosene era vendido em recipientes metálicos, onde uma vez violados exponham o combustível a acidentes..

Com a popularização da energia elétrica, foram fabricados os primeiros fogões elétricos, cujas principais vantagens eram e continuam sendo: ausência de armazenagem de combustível, funcionamento sem produção de sujeiras ou odores e até hoje é o que possui o melhor rendimento energético. Porém era, e continua sendo, mais caro, além de exigir uma instalação elétrica que suporte sua alta demanda de energia, o que não é usual em nosso país.

Quando o desenvolvimento tecnológico propiciou o engarrafamento do gás liquefeito de petróleo (GLP) em vasilhames de aço, surgiram os primeiros fogões a gás. Como o preço do gás era inferior ao da energia elétrica, e considerando que a energia elétrica estava presente na época somente nos grandes centros, o fogão a gás GLP conquistou rapidamente todo o Brasil. Sua armazenagem é simples e a autonomia dos vasilhames existentes é razoável: um botijão de 13 quilos dura em média um mês para uma família de quatro pessoas, segundo MORO (1997)*. Sua queima não produz cheiro ou sujeira se for bem feita.

Pode-se observar na figura 1 o panorama de 1974, no Estado do Rio de Janeiro, quanto ao gasto anual de energia para cocção em função do tipo de combustível e da renda familiar, por região.

* Comunicação pessoal de Edson Kitahara Moro - Laboratório da COMGAS.

Constata-se o grande uso de lenha e querosene na região rural. Este uso foi reduzido nos dias atuais pela ampliação da malha de distribuição da energia elétrica e pelas restrições à devastação do meio ambiente.

Mesmo no meio urbano a lenha e o querosene eram utilizados. No panorama atual existe um aumento considerável no uso do gás, pelo crescimento da distribuição em todo o território brasileiro. O uso de lenha se mantém nas cidades devido ao consumo da população de baixa renda e fornos comerciais (pizzarias, padarias, etc), apesar das leis restritivas. O querosene é hoje muito pouco usado para a cocção de alimentos, ficando seu uso somente para a iluminação em regiões onde ainda não existem energia elétrica.

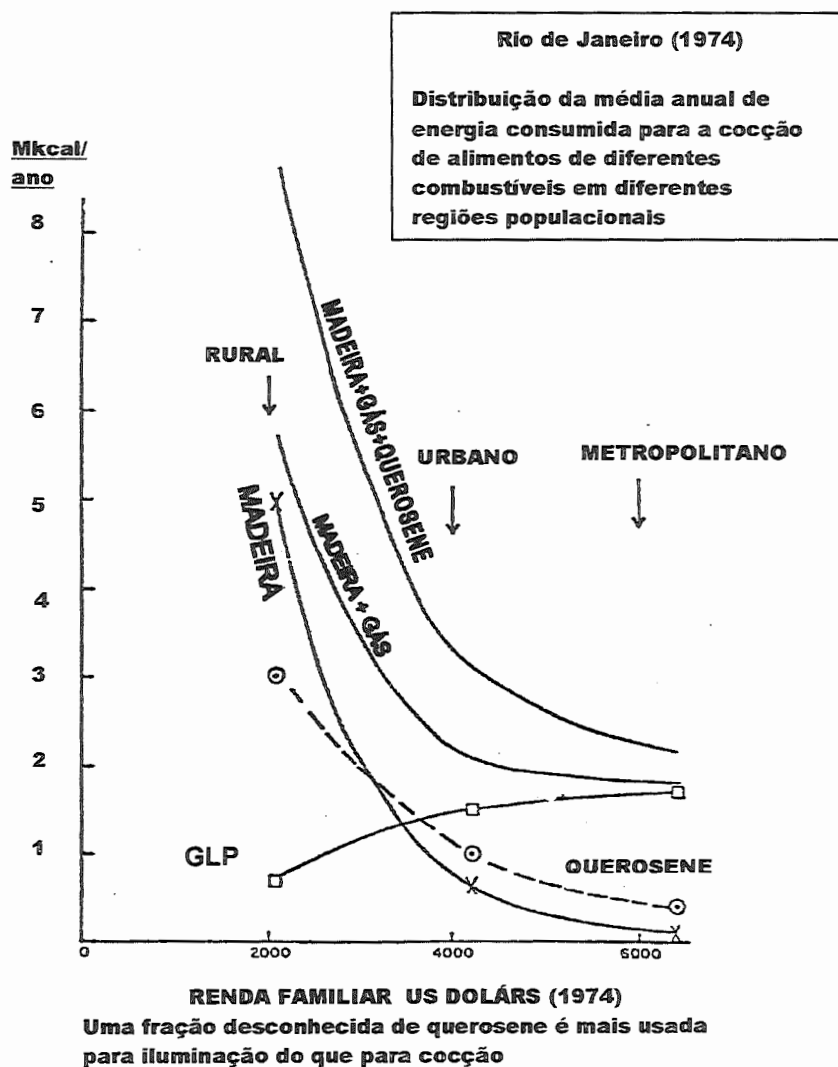


Figura 1: Distribuição entre diferentes combustíveis utilizados em fogões e iluminação em regiões rural, urbana e metropolitana (por renda familiar), GOLDEMBERG (1974).

Nosso país é uma das exceções mundiais quando falamos de fogões, pois cerca de 99,5 % dos fogões utilizam GLP. Este fato se deu no Brasil porque o GLP era subsidiado pela gasolina, além de ter uma armazenagem fácil e segura. Além disso, pelo fato do GLP se liquefazer à pressões relativamente baixas na temperatura ambiente, grandes quantidades deste combustível podem ser armazenadas em pequenos volumes (botijões). O sistema de válvula de segurança existente nos botijões possibilita uma utilização segura e caso ocorra vazamento, este é facilmente percebido, pois utiliza-se odorizantes para esta finalidade.

Segundo GOLDEMBERG (1974) o fogão a gás permite um melhor aproveitamento de energia, que pode ser de quatro a seis vezes maior quando comparam-se os queimadores de mesa de fogões a gás e a lenha.

2.3 – GASES DISPONÍVEIS NO BRASIL:

No Brasil encontram-se basicamente três tipos de gases combustíveis de baixo custo e de uso residencial, comercial ou industrial:

- GLP encontrado em todo o território nacional;
- GN, ou seja, gás natural; presente hoje principalmente nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro;
- GM, ou seja, gás manufaturado; presente hoje apenas na cidade do Rio de Janeiro.

O GLP é proveniente da destilação fracionada do petróleo. No Brasil parte deste gás (90%) é importado dos países do Oriente Médio, África, Argentina e Venezuela. É composto principalmente pelos gases butano e propano, porém no Brasil as especificações existentes no momento permitem que uma vasta gama de concentrações diferentes existam no GLP utilizado. As especificações atuais para o GLP são, segundo catálogo da Petrobras:

- 1) corrosividade: n.:1 máxima;
- 2) enxofre volátil: máximo de 0,36 g/cm³;
- 3) ponto de ebulição de 95% a 760 mmHg: máximo de 2°C;
- 4) pressão de vapor a 37,8°C: máximo de 15,0 kgf/cm²;
- 5) umidade: o produto não deverá conter água livre ou dispersa.

Nos botijões de gás existentes no mercado, pode-se encontrar misturas que contêm desde o gás metano até o butano e traços de combustíveis líquidos. No Apêndice 1 pode-se ter uma idéia das variações de concentração dos hidrocarbonetos que podem ser encontradas no mercado. Neste trabalho, não se pesquisa a fundo estas diferenças.

O GLP é uma mistura de gases mais pesados que o ar e por conseguinte em caso de vazamento este irá se acumular no solo.

Com o GLP é possível armazenar uma grande quantidade de gás a uma pressão de poucas atmosferas sem ocupar um grande espaço físico, devido a sua liquefação. Os botijões de GLP tem pressões de 7 a 10 atmosferas.

Dos três tipos de gás mencionados, o GLP é o que produz a chama mais visível, devido a presença dos gases hidrocarbonetos com cadeias carbônicas maiores. O GLP tende a produzir maior quantidade de monóxido de carbono na sua queima em fogões.

Segundo BIERI (1986) o GN aparece na natureza, associado ou não ao petróleo. Os componentes principais são os gases metano e etano, os quais constituem cerca de 85 a 90% do volume. Em sua forma natural é denominado gás úmido devido à presença de hidrocarbonetos pesados, que se liquefazem à baixas pressões. Quando processado, elimina-se os componentes pesados e tem-se uma composição de cerca de 88 a 91 % de metano e 8 a 9 % de etano. O gás natural que é distribuído por encanamentos até as residências, casas comerciais e indústrias é o úmido. O gás natural seco é submetido à pressões de 200 kgf/cm² e armazenado em botijões especiais reforçados e então utilizado em carros e ônibus como combustível alternativo à gasolina e ao diesel.

Pode ser produzido pela decomposição de material orgânico, como vegetais e excrementos de animais. É denominado biogás e consiste, de acordo com AGENCE (1986) de uma mistura de gases, produzidos por processos de biodegradação anaeróbia, contendo metano CH₄ (50 a 70%), dióxido de carbono CO₂ (em média 30%) e gás sulfídrico H₂S (0,2 a 0,3%). Em contato com a umidade o gás sulfídrico gera o ácido sulfúrico, que é corrosivo. Para a maioria dos usos o biogás deve ser purificado. Como o gás carbônico e o sulfídrico são muito solúveis em água, normalmente o processo de purificação envolve a água que depois é recirculada após a remoção dos gases por precipitação química. O custo para produção do biogás é viável. Porém o custo de purificação é muito alto. Este é o motivo que ainda impede a geração de gás natural apartir do lixo, excrementos de animais ou rejeitos orgânicos em grande escala. É um gás mais leve que o ar e em caso de vazamento irá subir. A chama do GN é visualmente um pouco mais rarefeita comparada ao GLP e tende a apresentar descolamento de chama.

O GM já foi produzido a partir do craqueamento da nafta e foi conhecido como gás de nafta. Hoje é produzido pelo craqueamento do gás natural. Sua distribuição é feita por tubulações até o ponto de consumo, pois não se liquefaz com pressão relativamente baixas. É um gás em extinção em todo o mundo, pois além de

ser mais caro, é também um gás perigoso, pois no processo de craqueamento ocorre a formação de monóxido de carbono (CO), e um vazamento deste gás pode provocar a morte por intoxicação. É um gás mais leve que o ar. Contém grandes concentrações de hidrogênio, o que torna difícil a visualização da chama, além de ser o gás com maior velocidade de queima, portanto, é o gás com maior tendência a apresentar retorno de chama.

2.4 – TENDÊNCIAS:

ENERGIA ELÉTRICA

Se falarmos de eficiência energética, com certeza os fogões elétricos são superiores aos que utilizam gás. Contudo, a energia elétrica é uma energia nobre e sua demanda só tende a aumentar. Além disso, sua produção é limitada por diversos fatores tais como: limitação física das hidroelétricas, capital necessário para a construção de hidro e termoelétricas, impacto ambiental pelo alagamento de áreas ou produção de poluentes nas termoelétricas, etc. Existe também uma dificuldade cultural no Brasil com relação as instalações elétricas residenciais, pois elas não estão adequadas para suprir a demanda necessária para fogões elétricos. Deste modo, existe uma tendência de que aparelhos destinados a produção de calor utilizarem a combustão como forma de produzir esta energia.

A exceção a esta regra é o uso da energia elétrica convertida para microondas. O uso de fornos microondas tende a aumentar, devido a sua praticidade e rapidez no aquecimento e cocção de alimentos. Fornos incorporando o microondas de baixa potência (cerca de 350 W) e o sistema de combustão convencional já existe na Europa (fabricante de fogões STOVE) com a finalidade de reduzir o tempo dos assados. Este tipo de aparelho combinado tende a crescer.

A energia elétrica também será cada vez mais utilizada em acessórios dos fogões como relógios, programadores de tempo para um assado, e outros que visem facilitar a vida do usuário.

GÁS NATURAL

O combustível do futuro será o gás natural segundo várias fontes: JARVIS (1993), GÁS (1986), O (1986). Este fato é compreensível, pois além de existirem reservas mundiais significativas, o GN pode ser produzido a partir da decomposição de compostos orgânicos.

O uso de GN já se dá em larga escala em muitos países. No Brasil ele é encontrado na cidade de São Paulo e no Rio de Janeiro, e em breve, com o gasoduto Brasil-Bolívia, em várias outras cidades. O único inconveniente do GN é que ele é muito difícil de se liquefazer, tendo que ser canalizado até o ponto de consumo. Pode ser utilizado em automóveis de passeio, transporte urbano, máquinas agrícolas, etc. Porém os vasilhames têm que ser reforçados, pois é comum utilizarem pressões de 200 kgf/cm^2 , enquanto nos vasilhames de GLP utiliza-se no máximo 10 kgf/cm^2 . Esta alta pressão é necessária para poder acumular uma quantidade razoável de gás. O uso residencial do gás natural em vasilhame é inviável, pois numa comparação

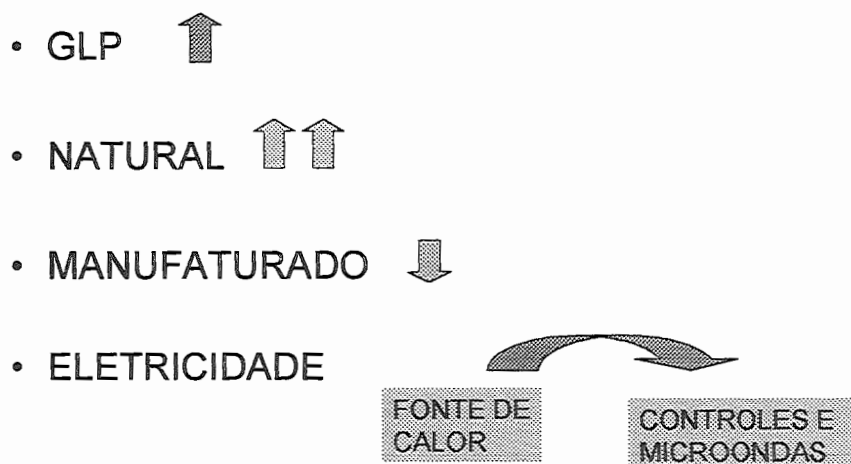
grosseira de CLIFFORD (1973), com um volume de 1000 galões de gás natural se cozinha 1 semana e com 1000 galões de propano liquefeito se cozinha 9,6 anos, considerando-se ambos na mesma pressão.

GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO

Com o uso cada vez maior do petróleo, principalmente para produção de gasolina e diesel, e com as estimativas de duração das reservas petrolíferas, a demanda de GLP tende a aumentar e certamente a próxima geração ainda o utilizará em larga escala.

RESUMO

A utilização de combustíveis fósseis e de fontes renováveis irá continuar e aumentará ainda mais. Como estes combustíveis não são renováveis (GLP) ou seu processo de fabricação ainda não é viável (GN), existe a necessidade de racionalizar sua utilização. No Brasil existe o Programa de Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e Gás Natural: CONPET, similar ao Programa de Racionalização do Uso de Energia Elétrica: PROCEL. O objetivo básico do Governo é estimular a competição entre os produtos do mercado, premiando o de melhor eficiência, fomentando então o aprimoramento do estado da arte.



3 – TEORIA

3.1 - CONCEITOS BÁSICOS:

3.1.1 - DESENHO DO QUEIMADOR E DO CIRCUITO DA COMBUSTÃO:

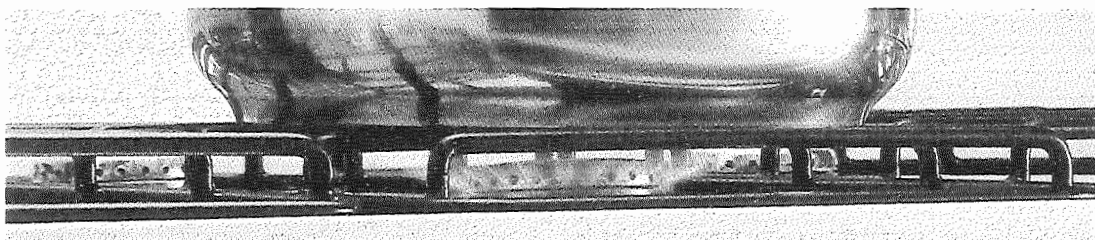


Figura 2: Queimador de Fogão

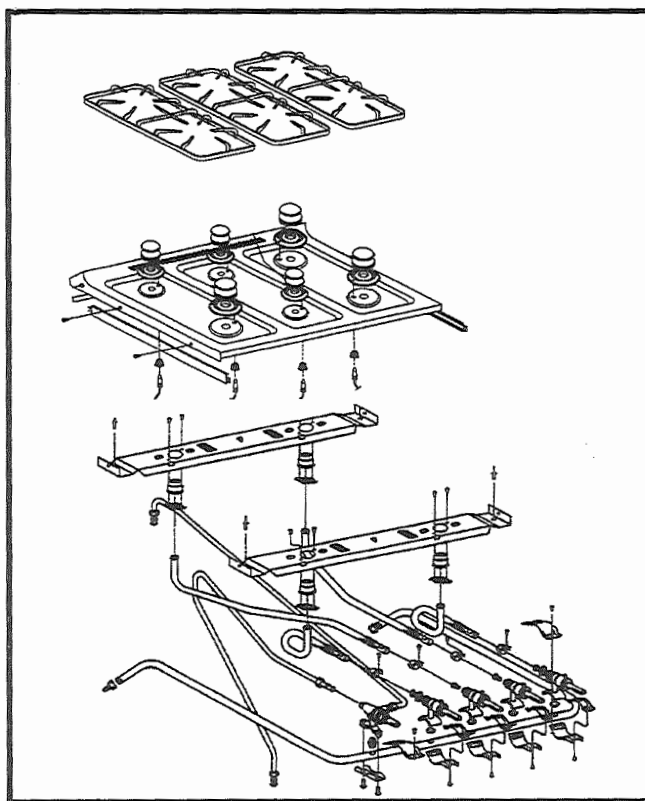


Figura 3: Circuito do gás em um fogão.

Um queimador de fogão doméstico de mesa (vide figura 2), funciona da seguinte forma:

- O gás a ser queimado chega até o fogão com uma pressão manométrica muito pequena, de 2,80 kPa no caso do GLP; 2,00 kPa no GN e 1,00 kPa no GM. Entra através de uma tubulação que geralmente é de aço, chega até uma válvula que controla o fluxo (essa válvula é denominada registro) fazendo a restrição necessária segundo a utilização ou interrompendo o fluxo. O fluxo de gás sai do registro e entra em um orifício calibrado (denominado injetor). Pode existir um tubo que faça a ligação entre o registro e o injetor ou o injetor pode estar fixado no próprio registro. Este furo calibrado do injetor determina a quantidade máxima de gás que chegará ao queimador, quando o registro estiver totalmente aberto, determinando assim sua potência nominal.
- O gás sai do injetor e entra em uma tubulação aberta ao ambiente, um tubo venturi, com o intuito de captar ar por indução, ou seja, o fluxo de gás arrasta um fluxo de ar para dentro do tubo. O ar que é captado na entrada deste tubo é chamado de ar primário (figura 3).
- A mistura ar mais gás chega até o queimador, onde o gás será queimado, necessitando também do ar que envolve a chama para que ocorra uma combustão satisfatória. Este ar é denominado ar secundário (figura 4,5).
- O vasilhame (panela) que contém o alimento é colocado sobre a chama, em cima de uma estrutura metálica que suporta a panela e define a distância entre o queimador e a panela. Esta estrutura é o que chamamos de trempe. Com isto, parte da energia produzida pela combustão chega até o vasilhame (figura 4,5).

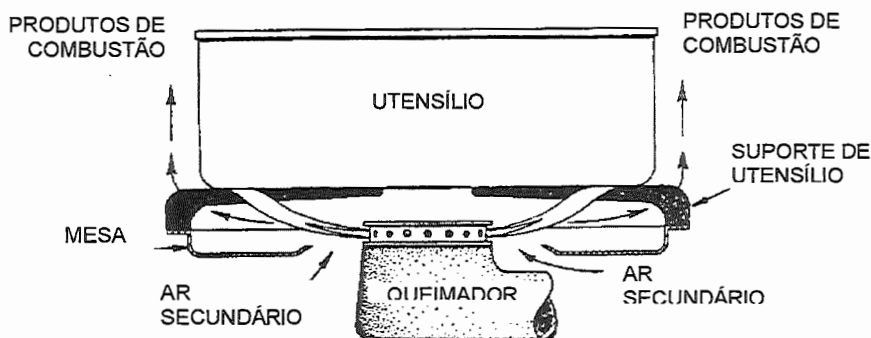


Figura 4: Detalhe de um queimador em funcionamento (ar secundário), SEARS (1977).

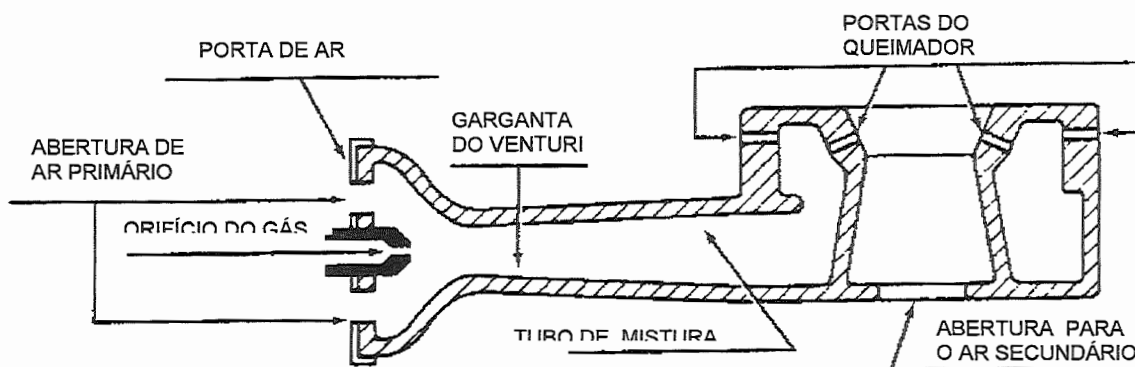


Figura 5: Detalhe completo de um queimador, SEARS (1977).

3.1.2 - COMBUSTÃO:

A combustão é uma reação química de oxidação dos constituintes do combustível que são capazes de serem oxidados. Dessa maneira, pode ser representada por uma equação química, que é caracterizada pela rapidez com que ocorre. Os reagentes são o combustível e o comburente. As substâncias formadas pela reação são denominadas de produtos ou produtos da combustão.

Os combustíveis podem ser líquidos, sólidos ou gasosos. Neste trabalho são abordados alguns casos de combustíveis gasosos comerciais de baixo custo para o usuário, encontrados no Brasil.

O comburente pode ser o oxigênio puro. Porém, na maioria dos casos, o ar é o comburente, pois no ar existe aproximadamente um quinto do volume total de oxigênio.

A combustão é uma reação exotérmica, ou seja, ocorre a liberação de energia na forma de calor. Pode-se produzir ainda luz, energia mecânica e som.

Na combustão, a massa de cada elemento químico permanece a mesma. Desta forma a abordagem na resolução dos problemas na área de combustão implica na conservação da massa de cada elemento químico, porém não se limita a isso. A combustão é uma ciência que engloba várias disciplinas, como a química, a matemática, a termodinâmica, a mecânica dos fluidos.

É necessário, na maioria dos casos, uma energia de ativação para iniciar a reação. Esta energia deve ser entregue na forma de calor, energia elétrica ou mecânica. Quando aquecemos o combustível e o comburente até o ponto de ignição, ocorrerá a combustão espontaneamente.

Esta reação ocorre em um curto espaço de tempo. Mas pode ser controlada de maneira a aproveitar sua energia para fins mecânicos (ex.: combustão interna), ou para fornecer uma quantidade de calor constante (ex.: queimadores).

A combustão pode ocorrer em um espaço físico definido ou em ambiente aberto. Nesse último caso os efeitos da expansão dos gases podem ser desconsiderados e a pressão é assumida constante durante a reação.

Para ocorrer a reação de combustão é necessário uma quantidade mínima de combustível em relação a quantidade de ar ou oxigênio existente. Da mesma forma existe uma quantidade máxima de combustível para ocorrer a reação. Os limites mínimo e máximo são característicos do combustível e são conhecidos como limites de inflamabilidade, ou flamabilidade. Estes limites podem variar segundo a pressão, temperatura e composição do comburente.

A combustão é chamada estequiométrica quando ocorre a queima de um combustível com a quantidade teórica do ar ou oxigênio necessário para a reação química completa. Os produtos resultantes são essencialmente dióxido de carbono, vapor de água e nitrogênio (se for utilizado o ar como comburente), quando se queima um hidrocarboneto. Na prática, para ocorrer a combustão completa de um determinado combustível é necessário um excesso de comburente, denominado excesso de ar ou oxigênio.

Se houver a falta de comburente necessário, teremos a combustão incompleta, onde ocorre a produção de produtos intermediários da combustão, como o monóxido de carbono, carbono puro, aldeídos, além dos produtos produzidos em uma combustão estequiométrica. A combustão incompleta pode ser induzida pelo resfriamento da chama, pela presença de uma superfície fria ou devido ao deslocamento da chama em relação ao queimador (soprimento) que pode ser provocado por excesso de combustível ou a presença de gases inertes como o dióxido de carbono.

Para uma combustão controlada é necessário um fornecimento contínuo e constante de combustível e comburente, por um período de tempo desejado. É importante definir-se aqui uma grandeza chamada **poder calorífico**, que consiste na quantidade de energia que se obtém da combustão estequiométrica de uma determinada massa ou volume de um combustível, à pressão constante ou temperatura constante. É uma característica inerente a cada tipo de combustível. Existe uma diferenciação entre o que é definido como poder calorífico **superior** ou **inferior**, ou seja, se a água produzida na reação de combustão está na forma líquida ou na forma de vapor, respectivamente. A diferença entre estes é o calor latente de vaporização da água. Temos então a definição do PCS = poder calorífico superior e do PCI = poder calorífico inferior. Um cuidado especial deve ser tomado quando utilizamos o PCS ou o PCI com base no volume, pois o volume é suscetível a alteração dependendo da temperatura e da pressão. Temos como unidade usual o MJ / kg ou MJ / m³. Em geral não se faz distinção entre poder calorífico à pressão constante ou à volume constante, pois os valores são muito próximos

Outra grandeza também utilizada é o **número de Wobbe** definido como a razão entre o poder calorífico de um determinado gás, inferior ou superior, pela raiz quadrada da densidade relativa do mesmo gás em relação ao ar.

$$\text{número de Wobbe} = (\text{PCS ou PCI}) / (\text{densidade relativa})^{1/2}$$

O objeto de estudo deste trabalho é o fogão doméstico, portanto o comburente, o combustível e os poluentes que serão considerados são o que seguem:

3.1.3 - COMBURENTE:

No caso dos fogões o comburente é o oxigênio existente no ar.

O ar é formado por diversos gases. “A composição do ar em base molar é aproximadamente 21% de oxigênio, 78% de nitrogênio e 1% de argônio”, segundo transcrição de VAN WYLEN (1976), cap. 12.2 pág. 357. Tem-se também de VAN WYLEN (1976) que:

“Na solução de problemas que envolvem o ar, o argônio é comumente desprezado e o ar é considerado como sendo composto de 21% de oxigênio e 79% de nitrogênio, em volume. Quando esta hipótese é feita, o nitrogênio é algumas vezes chamado de “nitrogênio atmosférico”. O nitrogênio atmosférico possui um peso molecular de 28,16 (levando em conta o argônio), enquanto que o nitrogênio puro tem um peso molecular de 28,016”. Esta distinção não será considerada neste trabalho e consideraremos os 79% de nitrogênio como sendo de nitrogênio puro.

Considera-se o nitrogênio como um gás inerte, ou seja, não será considerado sua reação de oxidação que pode ocorrer na combustão dos hidrocarbonetos. Mas vale lembrar que o nitrogênio terá a mesma temperatura dos produtos da combustão. Isto significa que o nitrogênio retira parte significativa da energia produzida na combustão pois é apenas aquecido na reação.

Quanto às características do ar, tem-se:

Ar:

- Fórmula: $1 \text{ O}_2 + 79/21 \text{ N}_2 = 1 \text{ O}_2 + 3,76 \text{ N}_2$
- Peso Molecular: 28,97
- Densidade absoluta: 1,1774 kg/m³, segundo HOLMAN (1983), estando o ar à pressão de 1 atm e temperatura de 300 K. Ou 0,0012046 g/ml a 20°C e 1 atm. Obs.: considerando o ar como gás perfeito, sua densidade absoluta para uma temperatura de 15,56°C, mantendo a pressão em 1 atm., será: 1,1955 kg/m³ ou 0,0011955 g/cm³
- Densidade relativa: 1 (é utilizado como referencial para outros gases)

Quanto às características de seus constituintes, tem-se:

Oxigênio:

- Fórmula: O₂
- Peso Molecular: 32,00
- Densidade absoluta: 1,4291 kg/m³ nas CNTP (T = 0°C e P = 1 atm)

Nitrogênio:

- Fórmula: N₂
- Peso Molecular: 28,16
- Densidade absoluta: 1,1774 kg/m³, segundo HOLMAN (1983), com o nitrogênio à pressão de 1 atm e temperatura de 300 K.

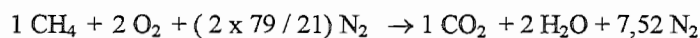
3.1.4 – COMBUSTÍVEL:

Conforme já mencionado, tem-se no Brasil três diferentes gases comerciais de baixo custo. Os componente principais destes gases são os hidrocarbonetos, ou seja, gases combustíveis formados por átomos de carbono e hidrogênio (vide Tabela X do Anexo 2).

Tem-se a seguir as características (BRAKER, 1971) e equações estequiométricas dos hidrocarbonetos gasosos com o menor e maior número de carbonos por molécula (MAHAN, 1995) com ligações covalentes simples:

Metano:

- Fórmula: CH₄
- Peso Molecular: 16,04
- Densidade absoluta: 0,72 kg/m³ nas CNTP
- Densidade relativa: 0,5549
- PCS: (15,56°C e 1 atm) = 9000 kcal/m³



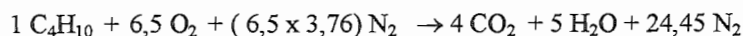
1 + 9,52 → 1 mol de metano necessita de 9,52 moles de ar

1 + (9,52 x 28,97) / 16,04 → 1 kg de metano necessita de 17,19 kg de ar

Butano:

- Fórmula: C₄H₁₀
- Peso Molecular: 58,124

- Densidade relativa: 2,007 (NBR13723-1, 1996)
- PCS: $128,6 \text{ MJ/m}^3 = 30.722 \text{ kcal/m}^3$ (NBR 13723-1, 1996), medido a 0°C e 1 atm



1 + 30,95 → 1 mol de butano necessita de 30,95 moles de ar

1 + $(30,95 \times 28,97) / 58,124 \rightarrow$ 1 kg de butano necessita de 15,43 kg de ar

As equações estequiométricas da reação de combustão de outros hidrocarbonetos estão relacionadas no Anexo 1.

3.1.5 - PRODUTOS DA COMBUSTÃO:

Os produtos da combustão de hidrocarbonetos, quando queimados completamente, são invariavelmente: dióxido de carbono e água. No caso da água, esta será considerada no estado líquido. No caso dos queimadores de fogões, que utilizam o ar como comburente, tem-se também o nitrogênio. Será desconsiderado neste estudo a formação de óxidos de nitrogênio, porque os gases de combustão esfriam-se rapidamente quando a combustão ocorre em ambiente aberto.

Assim, para que a chama ocorra em um queimador de mesa descoberto é necessário uma grande quantidade de excesso de ar, e mesmo assim existe ainda a formação de monóxido de carbono, ou mesmo de carbono puro. A análise dos produtos será restringida a:

Dióxido de Carbono

- Fórmula: CO_2
- Peso Molecular: 44,01
- Densidade absoluta: $1,977 \text{ kg/m}^3$ nas CNTP
- Densidade relativa: 1,521

Monóxido de Carbono

- Fórmula: CO
- Peso Molecular: 28,01
- Densidade absoluta: $1,977 \text{ kg/m}^3$ nas CNTP
- Densidade relativa: 0,967

3.1.6 – POLUENTES:

Todas as normas específicas de fogões a gás especificam limites para a formação do monóxido de carbono. Este gás é altamente tóxico, e segundo ALM (1994) uma exposição

prolongada ao CO pode levar à morte. Dois fatores são importantes na absorção de monóxido de carbono pelo sangue: a quantidade de carbono presente no ar e o tempo de exposição da pessoa. Na figura 6, pode-se constatar os efeitos da absorção (ordenadas) & o tempo de exposição (abscissas) e porcentagem volumétrica de monóxido no ar (curvas).

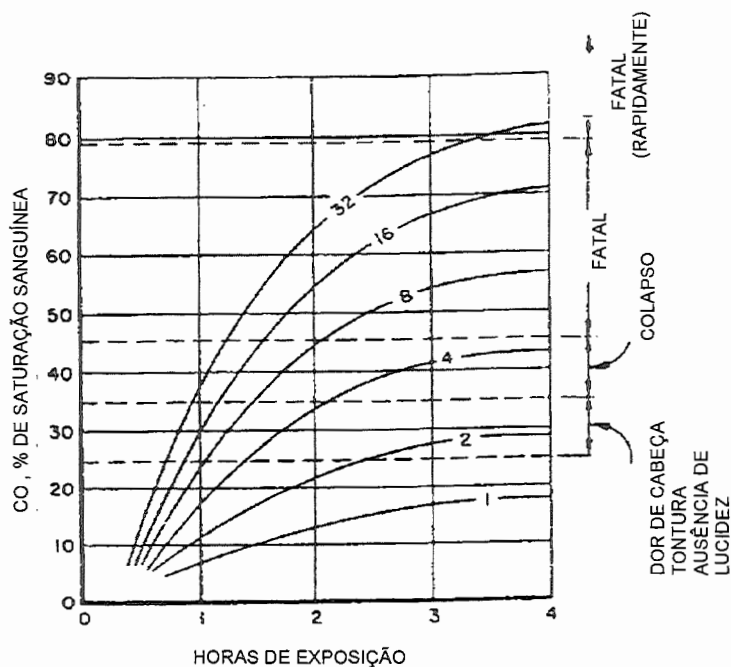


Figura 6: Gráfico de tempo de exposição e % CO no sangue, para curvas de % CO no Ar, SEARS (1977).

Os óxidos de nitrogênio são também gases muito tóxicos, segundo JONES (1994), WILLIAMS (1992) e NISHIOKA (1994). Com relação à queimadores de fogões, a produção de óxidos de nitrogênio não é significativa, pois este requer uma temperatura superior a 1100°C para que reaja com o oxigênio. No caso de queimadores de mesa descobertos, a produção é desprezível considerando um queimador, porém, se for considerado a produção de óxidos de nitrogênio em todos os fogões do mundo, com certeza os números serão outros.

Somente a norma russa para fogões especifica os limites para os óxidos de nitrogênio. Visto que a preocupação ambiental aumenta a cada dia, é provável que no futuro as normas de outros países também passem a controlar os óxidos de nitrogênio, outro produto poluente gerado pela combustão.

3.2 - EQUAÇÕES BÁSICAS:

O enfoque deste trabalho é a combustão de gases comerciais de baixo custo encontrado no mercado brasileiro em queimadores de fogões, portanto toda a teoria, as equações e considerações serão feitas para os combustíveis gasoso, em particular o GLP. As unidades a serem utilizadas estão definidas no Anexo 5, assim como as conversões de unidades mais comuns.

3.2.1- AS LEIS DOS GASES IDEAIS:

Segundo MAHAN (1995), existe uma relação entre o volume de uma determinada quantidade de uma substância e os valores de pressão e temperatura. Esta é denominada equação de estado e pode ser expressa simbolicamente por: $V = V(t, P, n)$ onde: V = volume, t = temperatura, P = pressão e n = número de mols da substância.

Este equacionamento pode ser muito complexo no caso de líquidos e sólidos. Porém, os gases são as únicas substâncias que apresentam equações praticamente idênticas.

Segundo a lei de Boyle, $PV = \text{constante}$, para uma mesma temperatura.

Assim, constata-se que a equação é uma hipérbole no primeiro quadrante, na qual se tem uma curva para cada valor de temperatura.

Segundo a lei de Charles e Gay-Lussac, $V = V_0 \cdot (1 + T/273,15)$, onde V é o volume de uma determinada quantidade de gás à pressão constante, V_0 é o volume ocupado à temperatura de zero graus na escala Celsius, T é a temperatura na escala Celsius.

Desta forma, constata-se que o volume de gás aumenta linearmente com a temperatura.

Para 1 mol de gás ideal a uma temperatura de 0°C e pressão de 1 atmosfera, tem-se 22,4 litros.

Ao se utilizar a escala Kelvin, ou seja, temperatura absoluta, tem-se a seguinte equação: $V/T = \text{constante}$

Para um gás ideal, tem-se: $P \cdot V = C(n) \cdot T$, onde $C(n)$ é uma constante que depende do número de mols e T é a temperatura em Kelvin. Desta maneira pode-se retirar a seguinte relação válida para o gás ideal:

$$\boxed{\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}} \quad (1)$$

Ao se dividir um volume contendo um gás ideal em três partes diferentes, tem-se para cada uma destas partes: T_1, V_1, n_1, P_1 ; T_2, V_2, n_2, P_2 e T_3, V_3, n_3, P_3 . Para todo o volume tem-se:

$$T = T_1 = T_2 = T_3 \quad \text{e} \quad P = P_1 + P_2 + P_3$$

Essas variáveis são denominadas intensivas, pois não dependem do tamanho da secção ou do número de moléculas de cada amostra.

Para o volume e número de mols, tem-se:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 \quad \text{e} \quad n = n_1 + n_2 + n_3$$

Essas variáveis são denominadas extensivas, pois depende do tamanho da amostra. Pode-se transformar o volume em variável intensiva se ele for dividido pelo número de moles existente no volume.

Retorna-se a equação de estado dos gases, onde R é a constante universal dos gases:

$$\boxed{\frac{P \cdot V}{T \cdot n} = \text{Constante} = R} \quad (2)$$

O valor de R mudará de acordo com as unidades utilizadas WYLEN (1976):

$$R = 1[\text{atm.}] \cdot 22,4[\text{L}] / 1[\text{mol}] \cdot 273,15[\text{K}] = 0,082057 [\text{L} \cdot \text{atm} / \text{mol} \cdot \text{K}]$$

$$R = 847,7 [\text{kgf} \cdot \text{m} / \text{kg} \cdot \text{mol} \cdot \text{K}]$$

$$R = 1,987 [\text{cal} / \text{grama} \cdot \text{mol} \cdot \text{K}]$$

$$R = 1,987 [\text{Btu} / \text{lb} \cdot \text{mol} \cdot \text{°R}]$$

$$R = 8314,5 [\text{J} / \text{kg} \cdot \text{mol} \cdot \text{K}]$$

Tem-se por fim:

$$\boxed{P \cdot V = n \cdot R \cdot T} \quad (3)$$

Segundo VAN WYLEN (1976), considerando a lei das Pressões Parciais de Dalton, numa mistura de dois gases, cada um deles age independentemente do outro. Este comportamento é válido para os gases ideais. Para dois gases ideais em um mesmo compartimento de volume V , sob a mesma temperatura T , pode-se escrever:

$$\boxed{P_a = n_a \cdot R \cdot T / V} \quad (4)$$

$$P_b = n_b \cdot R \cdot T / V$$

(5)

Ou seja, cada gás exerce a mesma pressão que exerceria se ocupasse sozinho o mesmo volume V , à mesma temperatura T . P_a e P_b são denominadas pressões parciais dos gases "a" e "b", respectivamente. A pressão total (P_t) é:

$$P_t = P_a + P_b = (n_a + n_b) \cdot R \cdot T / V = n_t \cdot R \cdot T / V$$

$$P_a / P_t = n_a / n_t = X_a, \text{ ou } P_a = P_t \cdot X_a, \text{ onde } X_a \text{ é chamada de fração molar do componente "a".}$$

Segundo VAN WYLEN (1976), considerando a lei das frações de Amagat: numa mistura de dois gases que ocupa um volume V , considera-se cada componente à pressão e temperatura da mistura, P e T , respectivamente. Desta forma tem-se os volumes V_a e V_b .

$$\text{Assim, tem-se para a mistura: } P \cdot V = n \cdot R \cdot T, \text{ onde } n = n_a + n_b$$

$$\text{Para os componentes: } - \text{ gás a: } P \cdot V_a = n_a \cdot R \cdot T$$

$$- \text{ gás b: } P \cdot V_b = n_b \cdot R \cdot T$$

Substituindo na equação da mistura: $n = n_a + n_b$, chega-se a:

$$\frac{P \cdot V}{R \cdot T} = \frac{P \cdot V_a}{R \cdot T} + \frac{P \cdot V_b}{R \cdot T}$$

(6)

Portanto, tem-se: $V_a + V_b = V$

$$V_a / V + V_b / V = 1, \text{ obtendo-se a relação: } V_a / V = n_a / n = X_a = P_a / P$$

Conclui-se que, para uma mistura de gases perfeitos, a fração em volume, a fração molar e a relação entre a pressão parcial e a pressão total de cada componente de uma mistura de gases perfeitos são iguais.

Na prática, pode-se resolver analiticamente qualquer problema quando se tem dados sobre o comportamento de cada tipo de gás. Porém, nem sempre se tem todos os dados em mãos. Deste modo, utiliza-se recursos que simplificam a resolução de um problema e que apresentam resultados muito próximos da realidade.

Será utilizada aqui uma nova propriedade termodinâmica, a fugacidade (f), particularmente importante na definição de misturas em equilíbrio.

Tem-se como definição da fugacidade a seguinte relação:

$$dg = -s \cdot dT + v \cdot dP \quad (7)$$

Neste caso, g é a função de Gibbs

$$\text{A temperatura constante, tem-se: } dg_T = v \cdot dP_T$$

$$dg_T = (R \cdot T / P) \cdot dP_T = R \cdot T \cdot d(\ln P)_T \quad (8)$$

Para um gás real, tem-se:

$$P \cdot v = Z \cdot R \cdot T \quad (9)$$

$$dg_T = (Z \cdot R \cdot T / P) \cdot dP_T = Z \cdot R \cdot T \cdot d(\ln P)_T \quad (10)$$

A fugacidade é então definida por:

$$dg_T \equiv R \cdot T \cdot d(\ln f)_T \quad (11)$$

$$\lim_{P \rightarrow 0} (f / p) = 1$$

Portanto, para $P \rightarrow 0$, $f \rightarrow 0$

Pode-se desenvolver um diagrama generalizado de fugacidade pela pressão (vide gráfico no Apêndice 2). A fugacidade é essencialmente uma pseudo pressão. Quando esta é substituída pela pressão, pode-se usar para gases reais as mesmas equações usadas para gases perfeitos.

Modelo de solução ideal:

Para este modelo de solução, a fugacidade de um componente "a" numa mistura é expressa como o produto da fração molar de "a", pela fugacidade de "a" puro na mesma fase da mistura e à pressão e temperatura da mistura. O mesmo vale para o componente "b". Estas condições podem resultar em estados hipotéticos, nos quais pode-se também apresentar em diagramas generalizados (vide gráfico no Apêndice 2). Tem-se então as seguintes relações para uma mistura de dois gases: "a" e "b" com duas fases, líquida e gasosa:

$$(x_a) \cdot (f_a - \text{líquido}) = (y_a) \cdot (f_a - \text{vapor}) \quad (12)$$

$$(x_b) \cdot (f_b - \text{líquido}) = (y_b) \cdot (f_b - \text{vapor}) \quad (13)$$

onde x é a fração molar do componente na fase líquida e y na fase gasosa.

Tem-se também:

$$x_a + x_b = 1 \quad (14)$$

$$y_a + y_b = 1 \quad (15)$$

Uma aplicação prática é a análise da composição de uma mistura de dois gases contendo duas fases, líquida e gasosa. O exemplo, no caso, é da mistura de propano e butano.

Mas antes, tem-se a apresentação da regra de Raoult para gás perfeito, segundo VAN WYLEN (1976).

São feitas duas considerações nesta regra:

- 1) A fugacidade do líquido "a" puro, a T e P do sistema é igual à fugacidade de "a" saturado (líquido ou vapor) à mesma T. E sua pressão de saturação é Pa saturação, ou seja:

$$f_a - \text{líquido} = f_a - \text{saturado} \quad (16)$$

- 2) O vapor saturado "a" puro a T e Pa - saturado se comporta como um gás perfeito, desta forma:

$$f_a - \text{saturado} = P_a - \text{saturado} \quad (17)$$

Tem-se então as seguintes correlações:

$$f_a - \text{líquido} = P_a - \text{saturado} \quad (18)$$

$$f_b - \text{líquido} = P_b - \text{saturado} \quad (19)$$

Para a fase de vapor, admite-se que o gás "a" e "b" puros se comportam como gases ideais a T e P, tem-se então:

$$f_a - \text{vapor} = P \quad (20)$$

$$f_b - \text{vapor} = P \quad (21)$$

Substituindo estas considerações na solução ideal, tem-se:

$$(x_a).(P_a - \text{saturado}) = (y_a).(P) \quad (22)$$

$$(x_b).(P_b - \text{saturado}) = (y_b).(P) \quad (23)$$

Considerando que: $x_a + x_b = 1$ e $y_a + y_b = 1$

Tem-se quatro equações a quatro incógnitas a T e P, onde Pa e Pb - saturadas dependem apenas de T.

O cuidado a ser tomado é quando analisa-se a composição dentro de um botijão de GLP. Assim, para melhor entendimento, descreve-se a seguir 2 situações para análise:

1) Situação 1: um botijão com 100% de butano.

Imagine-se que a pressão seja a de saturação. Considerando que a retirada do gás seja feita vagarosamente para que a temperatura do botijão permaneça em equilíbrio com o meio externo, a pressão permanecerá estável até que a última gota de líquido se torne vapor. Após isto, com a retirada do gás a pressão no interior do botijão reduz até equalizar com a do meio externo. Neste caso, sabe-se que sempre haverá somente butano, independente da fase líquida ou gasosa.

2) Situação 2: um botijão com propano e butano.

Imagine-se que a pressão seja intermediária entre as pressões de saturação dos dois gases. Suas concentrações iniciais são previamente conhecidas. Ao se liquefazerem, os gases adotaram uma distribuição nas fases similar àquela do gráfico do Apêndice 2, respeitando-se as proporções da mistura inicial. Porém, quando se retira gás para aplicações domésticas, retira-se na fase de vapor. Ao se retirar gás, uma parcela do líquido se transforma em vapor e como tem-se uma mistura, a pressão irá diminuir. Para se continuar a análise, seria necessário um gráfico em três dimensões, onde pode-se acompanhar o comportamento das concentrações nas fases líquida e vapor. Esta não é uma análise simples e não será feita neste trabalho. Porém, é importante saber que as concentrações das duas fases variam pontualmente.

Segue-se abaixo um exemplo de cálculo para se determinar as proporções de Butano e Propano, em uma mistura na fase líquida e vapor:

- gás "a": Butano,

- gás "b": Propano.

- pressão P: 7 atm

- temperatura de vaporização* do butano a 7 atm: 61,7 °C

- temperatura de vaporização* do propano a 7 atm: 12,7 °C

*Obs.: retiram-se estes valores dos gráficos de pressão de vapor e temperatura do catálogo da MATHESON (vide gráficos no Apêndice 2).

Para uma temperatura de 26,7°C: dos gráficos (vide apêndice 2), tem-se:

Pa - saturado = 2,55 atm, Pb - saturado = 9,73 atm

$$x_a \cdot 2,55 = y_a \cdot 7 \quad x_a = 2,75 \cdot y_a$$

$$x_b \cdot 9,73 = y_b \cdot 7 \quad x_b = 0,72 \cdot y_b$$

$$y_a = 1 - y_b$$

$$x_a + x_b = 1 \quad 2,75 \cdot y_a + 0,72 \cdot y_b = 1$$

$$2,75 \cdot (1 - y_b) + 0,72 \cdot y_b = 1$$

$$2,75 - 2,75.y_b + 0,72.y_b = 1$$

$$- 2,03.y_b = - 1,75$$

$$y_b = 0,86$$

$$y_a = 0,14$$

$$x_b = 0,61$$

$$x_a = 0,39$$

Esta análise fica mais complexa ao se considerar as concentrações existentes no gás GLP comercial. No Apêndice 1, pode se ter uma noção destas variações.

Este procedimento de cálculo acima visa ilustrar a variação de composição da fase gasosa de uma mistura de gases que se encontram na fase líquida e gasosa.

Neste trabalho, considera-se que os gases hidrocarbonetos, o ar, o oxigênio e nitrogênio sejam gases ideais. Esta consideração apresenta resultados próximo a realidade, devido às pressões e temperaturas encontradas na combustão em fogões.

3.2.2 - MECÂNICA DOS FLUÍDOS:

Apresenta-se a seguir algumas definições da mecânica dos fluídos (FOX 1985), importantes para a compreensão deste trabalho.

Fluído: é definido como sendo a substância que se deforma continuamente sob a ação de um esforço (tensão) tangencial, não importando quão diminuto seja este esforço. As substâncias que se enquadram dentro desta definição estão na forma de líquidos ou gases. O fluído é considerado nos estudos da mecânica dos fluídos como sendo um meio contínuo, ou seja, não é tratado a partícula e sim a média do comportamento das partículas. É focado o todo. Esta simplificação é válida para a maioria dos problemas em engenharia, falhando apenas quando o curso médio livre de colisão entre moléculas tornar-se da mesma ordem de grandeza da menor dimensão característica significante do problema (10^{-7} mm para moléculas de gás apresentarem comportamento ideal estando a 15°C e 1 atm).

O vapor d'água comporta-se como um gás ideal quando superaquecido a 55°C (100°F) ou mais (FOX, 1985).

Definição de sistema: é uma certa quantidade fixa e definida de massa fluída. Podem ser fixos ou móveis, mas não se verifica transporte de massa através desses limites. Ex.: cilindro - pistão. O calor e o trabalho podem atravessar esses limites.

Definição de volume de controle: é um volume arbitrário do espaço através do qual o fluído escoar. O contorno é denominado superfície de controle, que pode ser real ou imaginária, pode estar em repouso ou em movimento.

Fluido Newtoniano: $\tau_{xy} = \mu \cdot du / dy$. Onde a viscosidade é a constante de proporcionalidade desta equação. Se considerarmos o $\mu = 0$, então o fluido é denominado não viscoso.

O escoamento de fluidos viscosos se classificam em laminares ou turbulentos. Nos turbulentos, a fórmula apresentada do fluido Newtoniano não é válida, sendo utilizadas fórmulas empíricas.

O fluido se classifica como sendo incompressível, quando as variações da densidade são desprezíveis (líquidos), ou compressível, quando estas são significativas (gases). Os gases podem também comportar-se como incompressível se sua velocidade é pequena em relação a velocidade do som. Esta verificação é feita pelo número de Mach (M), onde:

$$M = v / c \quad (24)$$

onde v é a velocidade do escoamento e c é a velocidade local do som do fluido.

Segundo (FOX, 1985), um gás pode ser considerado incompressível se sua velocidade de escoamento for menor que 30% de sua velocidade do som, ou seja, se $M < 0,3$.

O escoamento de fluidos incompressíveis em dutos pode ser classificado como laminar ou turbulento pelo número de Reynold: $Rey = \rho \cdot v_m \cdot D / \mu$, onde v_m é a velocidade média do escoamento e D é o diâmetro da tubulação. Se o fluido for laminar o valor de Rey será menor ou igual a 2.300. Se for turbulento será maior que 2.300.

Na fluido estática, temos como força de campo:

$$\overline{Fb} = \overline{p} \cdot \overline{g} \cdot dV \quad (25)$$

E de superfície:

$$\overline{dFs} = -\overline{grad}(P)dV \quad (26)$$

A somatória que atua no fluido será zero, pois o fluido está em repouso. Desta forma pode-se escrever:

$$-\overline{grad}(P) + \overline{p} \cdot \overline{g} = 0. \quad (27)$$

Tem-se então:

$$dP/dz = -\overline{p} \cdot \overline{g} = \gamma \quad (28)$$

onde o γ é o peso específico do fluido e z é a dimensão vertical. Esta equação é válida se o fluido estiver em repouso, se a gravidade for a única força atuando no fluido. Além disso, se o fluido for incompressível, $\rho = \text{constante}$, tem-se que $dP/dz = \text{constante}$, desta forma:

$$P = P_0 + \rho \cdot g \cdot z \quad (29)$$

$$P = P_0 + \gamma \cdot z \quad (30)$$

Define-se pressão absoluta (P_{abs}) como a soma da pressão manométrica (P_{man}), ou seja, aquela que se mede através de um manômetro, e da pressão atmosférica (P_{atm}): $P_{abs} = P_{man} + P_{atm}$. Na maior das vezes trabalha-se com a variação da pressão, desse modo leva-se em conta apenas a pressão manométrica, pois admite-se que em um curto espaço de tempo a pressão atmosférica permanece a mesma.

A equação de Euler para o escoamento permanente ao longo de uma linha de corrente é dada por:

$$-1/\rho \cdot \partial P / \partial s - g \cdot \partial z / \partial s = v \cdot \partial v / \partial s \quad (31)$$

Se a partícula fluída deslocar-se da distância ds ao longo de uma linha de corrente, tem-se:

$$\partial P / \partial s \cdot ds = dP \text{ (variação da pressão ao longo de } s) \quad (32)$$

$$\partial z / \partial s \cdot ds = dz \text{ (variação da cota ao longo de } s) \quad (33)$$

$$\partial v / \partial s \cdot ds = dv \text{ (variação da velocidade ao longo de } s) \quad (34)$$

Multiplicando-se por ds , pode-se escrever:

$$-dP / \rho - g \cdot dz = v \cdot dv \text{ (ao longo de } s) \quad (35)$$

Agrupando-se do mesmo lado da equação, tem-se:

$$dP / \rho + g \cdot dz + v \cdot dv = 0 \text{ (ao longo de } s) \quad (36)$$

Integrando a equação acima, tem-se:

$$\int dP / \rho + g \cdot z + v^2 / 2 = \text{constante} \quad (37)$$

Para o caso especial onde o fluido é incompressível, $\rho = \text{constante}$, a equação acima torna-se a equação de Bernoulli.

$$P / \rho + g \cdot z + v^2 / 2 = \text{constante} \text{ (ao longo de uma linha de corrente)} \quad (38)$$

Restrições para o uso da equação de Bernoulli:

- 1) O movimento do fluido é permanente.
- 2) Escoamento de fluido incompressível.
- 3) Escoamento sem atrito, ou seja, $\mu = 0$
- 4) Escoamento ao longo de uma linha de corrente.

Considera-se neste trabalho que o escoamento é uniforme, desta forma, sempre que for dado um valor do escoamento (como por exemplo: velocidade, temperatura, pressão, etc.), este valor se aplica em qualquer parte da área da secção transversal da região indicada.

3.2.3 - TERMODINÂMICA:

Pode-se perceber o quanto uma disciplina está interligada com outra, observando que algumas definições da Termodinâmica necessitaram ser feitas na parte de Mecânica dos Fluidos. Segue-se abaixo algumas definições e teoria da Termodinâmica segundo VAN WYLEN (1976) e MODELL (1983):

É usual utilizar na termodinâmica a propriedade denominada volume específico. É o volume de uma certa porção de matéria dividido pela massa desta porção. É uma propriedade intensiva. Com esta propriedade tem-se as seguintes correlações para uma substância pura, durante uma mudança de fase líquido - vapor, por exemplo:

$$v = X \cdot v_v + (1 - X) \cdot v_l \quad (39)$$

O X é a fração da substância que está na fase de vapor.

Além desta relação, tem-se:

$$v_v = v_l + v_{lv} \quad (40)$$

Desta forma, tem-se:

$$v = v_l + X \cdot v_{lv} \quad (41)$$

Estas relações podem ser úteis se as tabelas de v_v , v_l e v_{lv} para a substância em estudo forem conhecidas.

O calor (Q) é definido como a transferência de energia de um corpo que está com uma temperatura T_1 para outro corpo que está com uma temperatura T_2 . Necessariamente $T_1 > T_2$. As unidades são as mesmas do trabalho.

Na comparação entre trabalho e energia constata-se as seguintes semelhanças:

- O calor e o trabalho são fenômenos transitórios.
- São fenômenos de fronteira. São observados somente nas fronteiras do sistema e sua somatória do calor transferido ao sistema e do trabalho realizado sobre o sistema representa a energia (E) que atravessa a fronteira do sistema.
- São funções de linha e diferenciais inexatas.

Para um gás perfeito, tem-se:

$$C_p - C_v = R \quad (42)$$

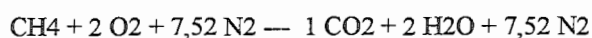
$$k = C_p / C_v = \text{razão de calores específicos} \quad (43)$$

TEMPERATURA ESTEQUIOMÉTRICA DA CHAMA

$$H_R = H_P = \text{entalpia de formação dos reagentes é igual a dos produtos} \quad (44)$$

$$S_R n_e \cdot [h_{fo} + \Delta(h)]_e = S_P n_s \cdot [h_{fo} + \Delta(h)]_s \quad (45)$$

METANO: MISTURA ESTEQUIOMÉTRICA



$$191.755 = \Delta(h)\text{CO}_2 + 2\Delta(h)\text{H}_2\text{O} + 7,52\Delta(h)\text{N}_2$$

Com 2000 K: 157506

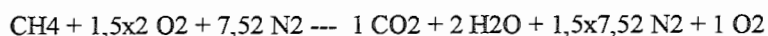
Com 3000 K: 263618

Com 2400 K: 199400

Com 2300 K: 188850

INTERPOLANDO LINEARMENTE: TEMP. CHAMA = 2327,5 K.

TEMPERATURA DA CHAMA COM EXCESSO DE AR DE 150%:



$$191.755 = \Delta(h)\text{CO}_2 + 2\Delta(h)\text{H}_2\text{O} + 11,28\Delta(h)\text{N}_2 + \Delta(h)\text{O}_2$$

Com 2000 K: 223377

Com 1800 K: 193324

Com 1700 K: 179094

INTERPOLANDO LINEAR. = TEMP. CHAMA = 1789 K

150% de excesso de ar teórico significa redução de 23,1 % na temperatura da chama

BUTANO:

$1 \text{ C}_4\text{H}_{10} + 6,5 \text{ O}_2 + 24,44 \text{ N}_2 \rightarrow 4 \text{ CO}_2 + 5 \text{ H}_2\text{O} + 24,44 \text{ N}_2$

$635056 = 4\Delta(h)\text{CO}_2 + 5\Delta(h)\text{H}_2\text{O} + 24,44\Delta(h)\text{N}_2$

Com 2000 K: 502228

Com 2600 K: 702679

Com 2300 K: 601770

Com 2400 K: 635250

INTERPOLANDO LINEARMENTE: TEMP. CHAMA = 2399,4 K.

Realiza-se o mesmo procedimento para a combustão estequiométrica do Propano, Propeno e Hidrogênio:

PROPANO: TEMP. CHAMA = 2394,4 K.

HIDROGÊNIO: TEMP. CHAMA = 2525,6 K.

PROPENO: TEMP. CHAMA = 2505,9 K.

Segundo AMERICAN GAS ASSOCIATION. (1967), a temperatura da chama é de pequena importância para fogões, desde que estes operem entre temperaturas de 160 °F (71,1 °C) até 550 °F (287,7°C). Este é o caso do forno. Com relação aos queimadores de mesa, as temperaturas são acima desta faixa considerada.

De acordo com AMERICAN GAS ASSOCIATION. (1967), as diferenças entre as temperaturas da chama real e calculada são causadas pelos seguintes fatores:

- a) Diminuição de radiação; por exemplo, a perda de radiação de um bico de Bunsen pode ser de 12 a 18 % do total de calor.
- b) Toda a energia do combustível não é instantaneamente liberada.
- c) Perda por convecção.
- d) Perda por condução; uma parte do calor é perdido por condução direta do queimador e da fornalha.
- e) Excesso de ar dissipa o calor. Uma moderada mistura de gás-rica usualmente resulta em temperaturas mais altas na prática; a reação incompleta final resulta em aldeídos.
- f) Um objeto na chama diminui a temperatura da chama.

g) Dissociação de gases diatômicos em altas temperaturas.

Na prática, as temperaturas da chama podem ser aumentadas por :

- Liberação de calor da combustão tão rápido quanto possível; por exemplo, por superfície de catálise.
- Usando o mínimo de excesso de ar.
- Aumentando a temperatura do gás e do ar antes da combustão.
- Usando oxigênio do ar enriquecido com oxigênio.
- Selecionando gases combustíveis com altas temperaturas de chama ou aumentando suas proporções na mistura.
- Sobrepondo energia elétrica em uma chama natural de gás-ar; isto pode aumentar a temperatura da chama para aproximadamente 1000F.

A temperatura máxima da chama de qualquer gás pode ser calculada por um método "tentativa-e-erro" usando a seguinte equação:

$$H = a [R_{CO_2} x + 3/2 R_{O_2} (1 - x) + 323,5 (1 - x)] + b [R_{H_2O} y + R_{H_2} (1 - y) + 1/2 R_{O_2} (1 - y) + 275,1 (1 - y)] + R_{O_2} (c + d) \quad (47)$$

Onde:

$H = PCS, [MJ/ m^3]$

$R =$ conteúdo de calor por m^3 de vários gases indicados por definição, acima de $15,6^\circ C$

$a = m^3$ de CO_2 produzido por m^3 de gás queimado

$b = m^3$ de H_2O produzido por m^3 de gás queimado

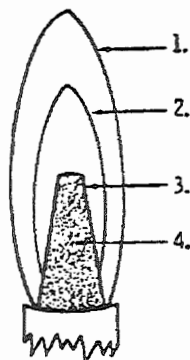
$c = m^3$ de O_2 no fluxo de gases por m^3 de gás queimado

$d = m^3$ de N_2 no fluxo de gás por m^3 de gás queimado

$(1 - x) =$ fração de CO_2 dissociado

$(1 - y) =$ fração de H_2O dissociada

3.3 - ANÁLISE DA CHAMA:



1. Manto de fora : produtos incandescentes da combustão completa.
2. Cone de fora: combustão completa dos produtos intermediários. Em sua ponta encontramos maior temperatura da chama.
3. Cone de dentro: zona de combustão parcial
4. Mistura de ar primário e gás não queimado

Figura 7: Regiões de uma chama, SEARS (1977).

A chama é caracterizada pelas 4 regiões descritas acima e visualizadas na figura 7.

Para haver a reação de combustão, é necessário uma quantidade mínima e máxima de combustível dissolvido no comburente. Do contrário a combustão não ocorrerá.

Segundo SUBRAMANIAM (1989), estes limites máximo e mínimo são característicos de cada gás e variam segundo a temperatura, pressão e energia usada para o início da combustão. A variação da quantidade de combustível dentro desses limites está diretamente relacionado com a velocidade com que a reação de combustão se dá. Pode-se ver na figura 8 os limites para o gás metano. O limite mínimo de explosão é definido como sendo L.E.L (do inglês: "low explosive limit") e o limite máximo como U.E.L. (do inglês: "upper explosive limit"). Segundo KUO (1986), os limites de explosão são, para todos os propósitos práticos, os mesmos considerado como limites de inflamabilidade.

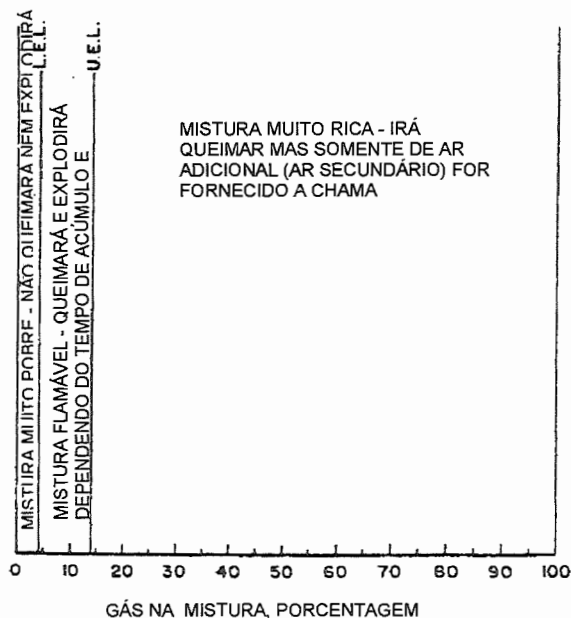


Figura 8: % de excesso de ar & resultado na combustão do gás natural, SEARS (1977).

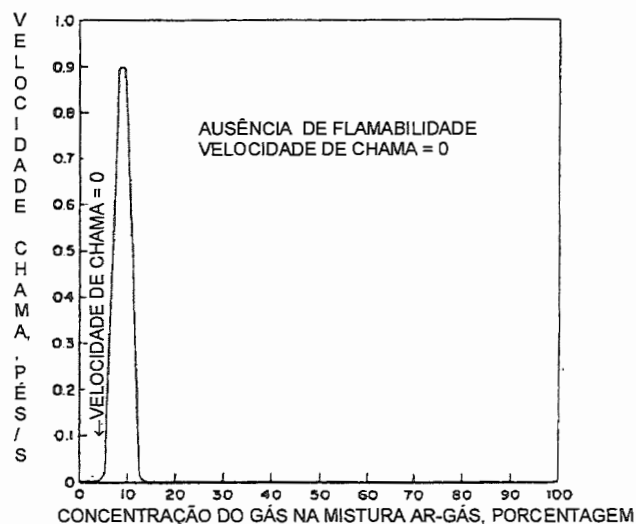


Figura 9: Gráfico de velocidade de queima & % excesso de ar no gás natural, SEARS (1977).

Analisa-se aqui tudo que afeta a velocidade da chama e com isto a combustão. Iniciaremos com as variáveis químicas:

3.3.1. CONCENTRAÇÃO DA MISTURA AR MAIS COMBUSTÍVEL:

Conforme visto na figura 9 acima, para o gás metano, a concentração do combustível no comburente influencia diretamente a velocidade da chama. A curva da velocidade, bem como os limites mínimo e máximo de inflamabilidade são uma característica específica do combustível. Na figura 10, tem-se a curva de velocidade para alguns combustíveis. Segundo KUO (1986), é geralmente aceitável assumir que a mistura que proporciona a máxima temperatura da chama é também a mistura que proporciona a maior velocidade da chama.

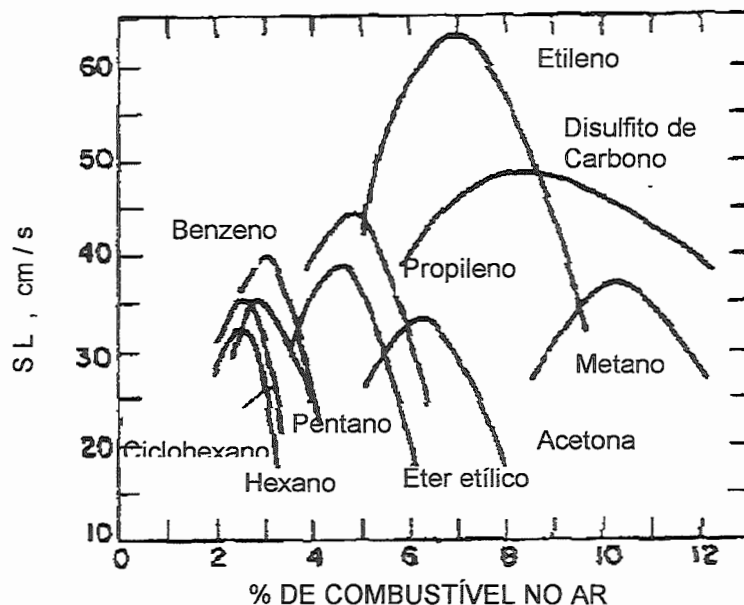


Figura 10: A variação da velocidade da chama com a concentração de vários combustíveis, KUO (1986).

3.3.2. TIPO DE LIGAÇÃO QUÍMICA E ESTRUTURA MOLECULAR DO COMBUSTÍVEL:

Segundo MAHAN (1995), uma ligação dupla covalente necessita de uma energia de ativação menor para ser quebrada do que uma ligação simples. Uma ligação tripla necessita de uma energia ainda menor. Desta forma, para um hidrocarboneto com um mesmo número de carbonos, o que apresentar ligação tripla apresentará uma velocidade de combustão superior ao que apresenta dupla e este superior ao que apresenta simples ligações covalentes. Além disso a quebra da ligação covalente entre carbonos necessita de uma quantidade menor de energia do que a quebra entre carbono e hidrogênio. Isto também explica a maior velocidade de reação dos hidrocarbonetos com ligações dupla e tripla, ou seja, quanto mais ligações dupla e tripla em uma molécula, menor o número de hidrogênios a molécula contém. Este fato fica claro também por KUO (1986), quando analisa-se o número de radicais metil ($-CH_3$) que uma molécula do combustível possui. Na figura 11, pode-se constatar as diferenças entre a quantidade e tipo de ligação covalente e o número de radicais metil. Segundo AMERICAN GAS ASSOCIATION (1967), o metano é o gás que necessita de mais energia para quebrar suas ligações, requerendo uma temperatura de no mínimo $785^{\circ}C$ para iniciar decomposição apreciável.

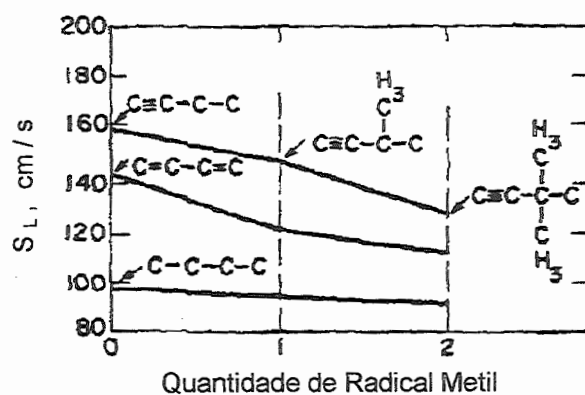


Figura 11: Variação da velocidade da chama com relação ao número de radicais metil na molécula, KUO (1986).

Segundo KUO (1986), a quantidade de carbonos também afeta a velocidade de chama. Quanto maior o número de carbono na molécula, menor a velocidade da chama. O gráfico da figura 12 mostra este fato. Nota-se que não foi colocado o metano (um carbono), pois este combustível é o que apresenta a maior dificuldade em queimar devido a presença de 4 hidrogênios por carbono.

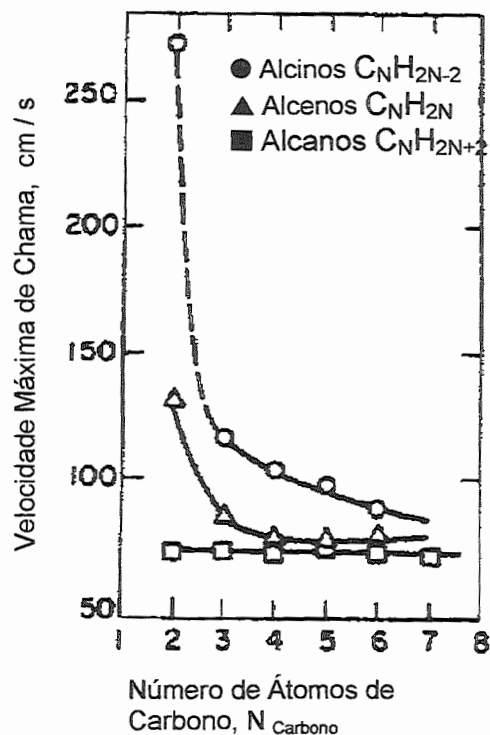


Figura 12: Efeito do número de átomos de carbono na velocidade da chama, KUO (1986)

3.3.3. ADITIVOS:

Algumas substâncias agem como catalisadores para a reação de combustão. Segundo KUO (1986) a presença do vapor de água na reação de combustão do CO afeta a velocidade da chama reduzindo sua velocidade. No caso específico de fogões, a única substância que afeta a chama como catalisador é a umidade relativa.

Outras substâncias agem como retardantes da reação, ou seja, dificultam a reação da combustão. Segundo GLASSMASN (1977), a composição do comburente afeta diretamente a combustão. Na figura 13, pode-se notar a variação do limite de inflamabilidade quando adicionado alguns gases inertes na composição do ar puro, usado como comburente na queima do metano e a variação da velocidade de queima na linha reta apresentada do gráfico. Consta-se que o acréscimo de hélio He aumenta a curva de inflamabilidade e deste modo aumenta a velocidade de queima do metano, comparado a adição de nitrogênio. Por outro lado, a adição de dióxido de carbono reduz esta curva significando que ocorre uma redução da velocidade da chama.

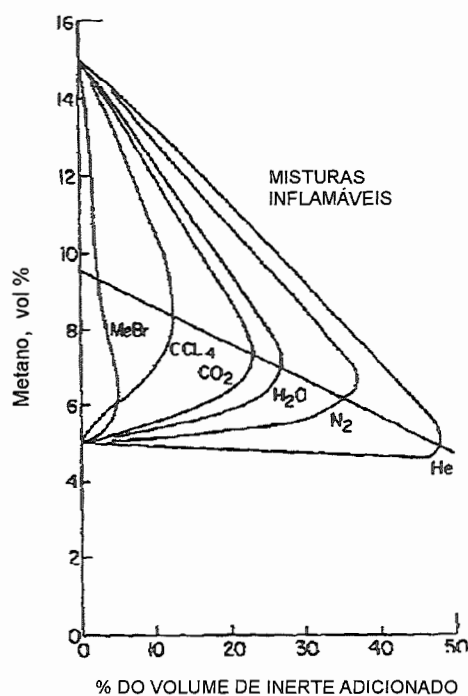


Figura 13: Limites de Flamabilidade do Metano com várias adições de inertes no comburente, GLASSMASN (1977).

Anteriormente foram descritas as variáveis químicas que afetam a combustão. Agora analisa-se as variáveis físicas:

3.3.4. TEMPERATURA INICIAL DOS REAGENTES:

A reação de combustão para ser iniciada, necessita de uma energia de ativação, segundo MAHAN (1995) e KUO (1986). Deste modo é fácil compreender que a temperatura afeta diretamente estes limites e a velocidade da combustão. A influência da temperatura se dá nos reagentes, e do ambiente que envolve a combustão.

A temperatura é diretamente proporcional a velocidade da chama. Segundo KUO (1986) a velocidade é proporcional a temperatura elevada a um expoente que varia de 1,5 a 2 segundo o tipo de combustível. Constata-se este fato na figura 14:

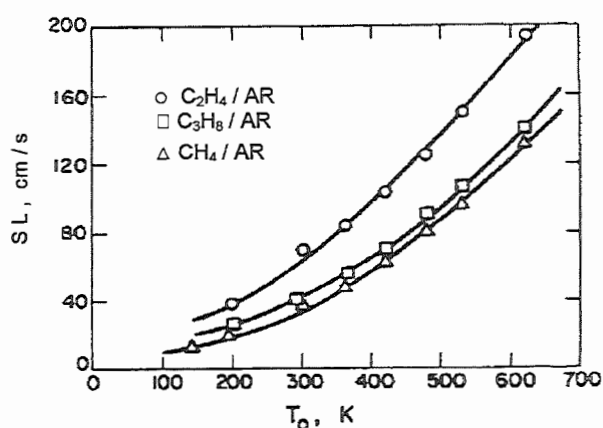


Figura 14: Efeito da temperatura inicial na velocidade da chama, KUO (1986).

3.3.5. TEMPERATURA DA CHAMA:

Segundo KUO (1986), se a temperatura da chama for muito alta, as reações de dissociação são favorecidas. Deste modo, reações que necessitam de muita energia para ocorrer começam a se dar. A formação de óxidos de nitrogênio é um exemplo de reações deste tipo. Quando estas reações ocorrem é retirado energia da chama, reduzindo-se sua temperatura.

3.3.6. PRESSÃO:

Segundo KUO (1986), a pressão afeta a velocidade da chama. A seguinte relação da velocidade da chama com a pressão é confirmada em muitas evidências científicas: $SL \propto P^{(n-2)/2}$. Para $SL < 50$ cm/s, o expoente n é negativo, isto implica que a velocidade cresce com

o decréscimo da pressão. Para $50 < S_L < 100$ cm / s a velocidade independe da pressão. Para $S_L > 100$ cm / s a velocidade aumenta com o aumento da pressão.

As variações de pressões atmosféricas não afetam significativamente a velocidade da chama. Seus efeitos na combustão de queimadores estão ligados com o a densidade do ar utilizado como comburentes.

Os gases combustíveis misturados ao ar primário saem pelas portas do queimador com uma certa velocidade devido à diferença de pressão entre a mistura e a atmosfera externa. Portanto é formado um perfil de velocidade do fluxo de ar + combustível saindo do queimador. Do lado externo do queimador forma-se um outro perfil semelhante, porém de sentido contrário, referente à velocidade da chama, que tenta entrar no interior do queimador. A figura 15 descreve estes perfis.

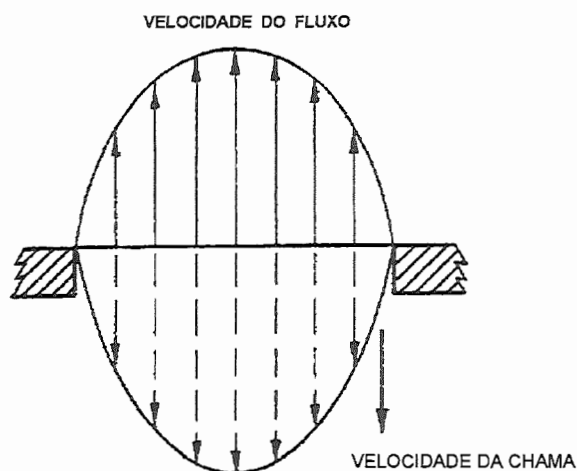


Figura 15: Velocidade do fluxo de ar-gás e velocidade da chama em uma porta de queimador, SEARS (1977).

Um queimador de fogão funcionando adequadamente possui o equilíbrio entre estes perfis de velocidade, de maneira que a reação de combustão ocorra a uma determinada distância do queimador. Esta distância deve ser tal que esta frente formada pela combustão não entre dentro do queimador, provocando o efeito denominado retorno de chama, e de maneira que não se afaste do queimador, provocando o efeito denominado soprimento. E ainda, a combustão deve ocorrer sem a produção de monóxido de carbono excessivo, ou seja, além dos limites normalizados (vide Anexo 2).

Este equilíbrio é influenciado pela porcentagem do ar primário presente na mistura a ser queimada, pela velocidade com que o gás sai do queimador, pela quantidade de ar

secundário que chega até a chama, pela umidade relativa do ar, pelo combustível a ser queimado, pela altitude, e pela presença de gases inertes diferentes daqueles encontrados no ar que por ventura venham a envenenar o ar primário ou secundário.

Se a pressão do gás aumentar, uma quantidade maior de gás sairá do injetor. Como a área de saída é fixa, a velocidade do gás será maior e uma quantidade maior de combustível entrará no queimador. Uma quantidade maior de ar tenderá a ser arrastado. Porém, o tubo venturi e as portas para entrada do ar primário também possuem suas dimensões fixas. Existe um limite de fluxo que se for extrapolado, prejudica a capitação de ar primário. Outro limitante é a área total das portas de saída do queimador que também são fixas e foram definidas para um determinado fluxo. Se a velocidade for maior na saída do queimador existe a tendência de se capitar mais ar secundário, porém também existe um limite que se for extrapolado causará o deslocamento da chama. Outro fator é que a área total de saída para um fluxo de gás + ar além do projetado provocará um aumento de pressão em todo o tubo venturi, que dificultará a capitação do ar primário.

Se ocorre excesso de ar primário a chama tende a soprar, que pode-se ver na figura 16, fazendo inclusive barulho. Esta chama contém uma coloração azul vivo. Pela grande quantidade de oxigênio presente na combustão pode ocorrer uma oxidação forçada no fundo de panelas de alumínio, deixando estas com uma cor marrom.

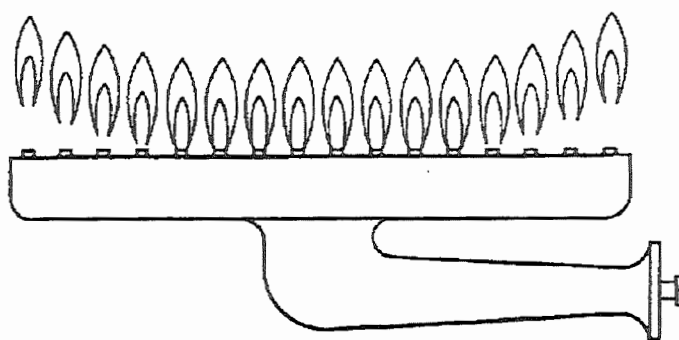


Figura 16: Chama com excesso de ar primário (soprando), SEARS (1977).

Quando a chama contém a quantidade necessária de ar primário (situação “A” da figura 17), as regiões apresentadas anteriormente são bem definidas e as chamas são estáveis e silenciosas.

Entretanto, se o ar primário é reduzido (situação “B” da figura 17), pontas amarelas começam a aparecer, as chamas ficam maiores e as regiões da chama começam a se descaracterizar. Caso o ar primário seja reduzido ainda mais (situação “C” da figura 17), então as chamas têm as regiões completamente descaracterizadas e as várias chamas de um queimador perdem sua individualidade, ficando como uma névoa, além de aumentar de tamanho ainda mais.

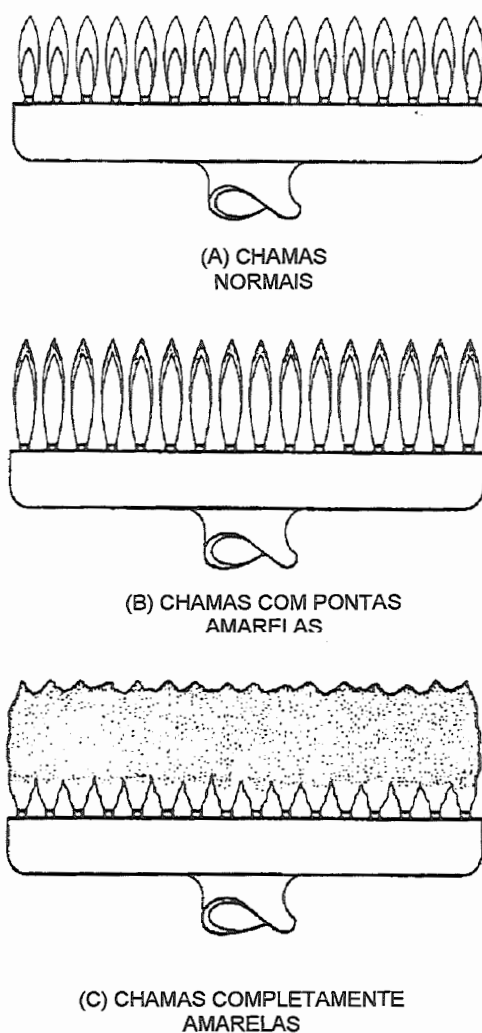


Figura 17: Detalhes de chamas & ar primário: a) adequado, b) reduzido e c) cerrado, SEARS (1977).

A chama apresenta sua cor, de acordo com os produtos da combustão formados e da temperatura destes.

Quando aumentamos a temperatura de uma substância, estamos aumentando a energia interna desta substância. Com o aumento, os átomos aumentam sua agitação,

principalmente os elétrons. Quando este aumento é muito grande os elétrons das últimas camadas orbitais sobem um nível. Quando ocorre o resfriamento, estes elétrons perdem energia e retornam para o nível que estavam. Na perda desta energia, que se dá na forma de luz e calor é que ocorre o efeito da radiação da chama e o fato da chama ser visível. A presença do carbono origina a cor amarela. Portanto, quanto maior a cadeia carbônica do hidrocarboneto queimado, maior a tendência da chama apresentar chama amarela. Isto explica porque a chama do GLP é a que apresenta um cor mais bem definida, pela presença de hidrocarbonetos com 3 e 4 carbonos, já o GN apresenta sua maior parte com constituída de metano com 1 carbono e sua chama é menos definida. No GM pela presença do hidrogênio, cuja chama não é visível, a chama é menos definida ainda e é possível ser vista pela presença de etano, com 2 carbonos, que garante sua visibilidade.

Segundo a AMERICAN GAS ASSOCIATION (1967), a radiação de uma chama de gás pode ser de origem térmica conforme já descrito, ou de origem química-luminescência. A química-luminescência não é em função da temperatura e sim do material usado. Exemplo de radiação química-luminescência são as chamas de vapores de fósforo.

O cone do interior da chama em um queimador de Bunsen emite bandas OH, CH, e CC; a aureola do exterior do cone emite somente bandas de OH. Aparentemente existe essencialmente uma radiação térmica no exterior do cone da chama do.

Foi estabelecido que na chama comum de Bunsen, de 12 a 18% do total do calor da combustão é irradiado. A radiação das chamas luminosas cobrem uma faixa de 10 a 40 % do calor gerado, dependendo do grau de luminosidade e da temperatura da chama, segundo AMERICAN GAS ASSOCIATION (1967) .

Chamas luminosas são produzidas quando o gás é queimado com deficiência de ar. A luminosidade é devido à quebra dos hidrocarbonetos e à liberação resultante de partículas livres de carbono. Chamas não luminosas, por outro lado, são produzidas pela queima de gases contendo nenhum hidrocarboneto ou pela queima de gases contendo hidrocarbonetos com um excesso de ar.

Segundo a AMERICAN GAS ASSOCIATION (1967), o cálculo do comprimento da chama pode ser feito da seguinte forma:

O cálculo do comprimento de chamas livres nas quais os efeitos de flutuação são pequenos como resultado de alta velocidade do bico Bunsen e pequena porta de saída (0,12 a 0,30-pol. ou 3,0 a 7,6 mm de diâmetro) é dado pela equação:

$$\frac{L}{D} = \frac{5,3}{C} \sqrt{\left[\frac{C}{1} \frac{Tf}{ATn} + (1 - C) \frac{Ms}{Mn} \right]} \cdot ma, in. \quad (47)$$

onde:

L = comprimento visível da chama, in.

D = diâmetro do bico, in.

Tf = temperatura da chama adiabática, °R

T_n = temperatura do fluido do bico, °R

M_s , M_n = peso molecular aproximado dos fluidos, respectivamente; por exemplo, 29 para o ar, 16 para metano.

C = fração molar do fluido do bico (o qual deve conter ar primário na mistura estequiométrica).

A = proporção de moles de reagentes para moles de produtos para a mistura estequiométrica; exemplo, metano e oxigênio: 3/3=1

Intensidade específica da chama

O conceito da intensidade específica da chama é útil para caracterizar a concentração do calor disponível de uma chama. As temperaturas da chama são inadequadas porque elas relacionam somente o nível de calor e não a proporção de sua liberação.

A intensidade específica da chama, I , é definida como a proporção de calor liberado por unidade de superfície de chama primária (cone interior) em $[MJ/m^2.s]$. Esta definição é demonstrada pela equação:

$$I = V \cdot PCS / A \quad (48)$$

onde:

V = vazão volumétrica do gás e do ar primário $[m^3/s]$

PCS = valor do poder calorífico superior da mistura primária, $[MJ/m^3]$

A = área da superfície do interior do cone, $[m^2]$

Se a chama é laminar :

$$A = V/SI \quad (49)$$

onde v = velocidade de queima da mistura primária, $[m/s]$

Então, para chamas laminares:

$$I = SI \cdot PCS \quad (50)$$

Para avaliar PCS, devemos considerar 4 tipos de chamas:

Chama pobre:

$$PCS = PCS_0 \cdot X \quad (51)$$

onde PCS_0 = valor do poder calorífico superior do combustível puro, $[MJ/m^3]$

X = fração do gás combustível na mistura primária.

Chamas estequiométrica

$$PCS = PCS_0 \cdot X_S \quad (53)$$

onde X_S = fração do gás combustível na mistura estequiométrica primária
Chamas ricas

$$PCS = PCS_0 X_S (1 - X/1 - X_S) \quad (54)$$

Ionização de Chamas:

Quase todas as medidas experimentais tem envolvido chamas ar-gás de baixa temperatura. As informações limites nas chamas de hidrocarboneto (acetileno, etileno, e propano) indicam uma faixa de concentração de íons de aproximadamente 10^{11} a 10^{12} íons por cm^3 .

Segundo a AMERICAN GAS ASSOCIATION (1967), uma mistura de 7,0% de metano em oxigênio e nitrogênio a 1,0 atm, uma faísca de voltagem 10,5kV, e uma capacitância de 10,5 μ F requerem uma energia mínima de ignição de 0,58mJ a uma distância de separação de 2,78mm entre os eletrodos. Uma mistura de 5,6% de etano em oxigênio e nitrogênio a 1.0 atm, uma faísca de voltagem de 8,5 kV, e uma capacitância de 8,85 μ F requerem o mínimo de 0,31mJ a uma distância de apagamento de 2,1mm.

Taxa de Propagação da Chama

Os termos Taxa de Propagação da Chama, velocidade de ignição, e velocidade da chama são todos equivalentes. Esta varia para diferentes gases e também é dependente da proporção de gás para o ar, do tamanho e formato do recipiente, do método do teste empregado, da temperatura da mistura e da relação das chamas com a energia absorvida.

A velocidade de combustão é então calculada pela fórmula:

$$Vb = \frac{Ab \cdot Va}{Af} \quad (54)$$

onde Vb = velocidade da combustão em [m/s]

Ab = área da seção transversal do queimador, [m^2]

Va = média da velocidade da mistura através do queimador, [m/s]

Af = área da superfície da chama, [m^2]

Existem outras teorias sobre a velocidade da chama, como pode-se ver a seguir, para o estado de propagação constante da chama, segundo KUO (1986).

1) Teoria Térmica

$$SL = [(\kappa/\rho C_p) \times (T_f - T_i / T_i - T_o) \times (d\varepsilon / dt)]^{1/2} \propto (\alpha) \quad (55)$$

2) Teoria Compreensiva

$$SL = u_0 = [(\kappa/\rho_0 CP) \times (2 / Tf - T_0) \Gamma]^{1/2} \quad (56)$$

3) Teoria da Difusão

$$SL \propto [(T_0^2 Tf^{4.9} e^{-E_a/RuTf}) / (Tf - T_0)^3]^{1/2} \quad (57)$$

4 - METODOLOGIA:

4.1 - METODOLOGIA DE PROJETO:

Para se desenvolver um projeto de um sistema de combustão para fogões, duas perguntas básicas devem ser respondidas:

A) Qual é a potência desejada ?

A primeira definição necessária para se iniciar um desenvolvimento é a potência nominal que este queimador deve propiciar (P_n).

Considerando os acessórios existentes no mercado brasileiro, a segunda definição necessária é que tipo de acessório terá o queimador a ser projetado: acendimento com fósforo, acendimento automático por descarga elétrica, supervisor de chama (sistema que bloqueia a passagem do gás para o queimador se a chama se extinguir por uma corrente de ar muito forte ou pelo derramamento de líquidos sobre o queimador (por exemplo o derramamento de leite fervido). Estes acessórios definem o formato externo do queimador. O supervisor de chama ou eletrodo do acendimento automático devem estar em contato com a chama, ou muito próximo desta.

Outra definição importante é o formato externo que o queimador deve ter. Quanto menor o queimador, para a mesma potência, maior sua eficiência. Um bico de Bunsen seria o queimador de maior eficiência, porém não atrairia o público, além de não atender outras especificações de segurança como o transbordamento de líquido, pelo fato de estar exposto a entrada de líquido e alimentos. Infelizmente o mercado brasileiro solicita queimadores com formato externo grande. O tamanho externo é portanto outra definição importante.

E também é necessário definir como será a aeração secundária. Queimadores de mesa descobertos tem uma aeração secundária muito boa, pois estão expostos ao ambiente, diferente dos queimadores de fornos que ficam enclausurados CLIFFORD (1973).

B) Quais são as especificações a serem seguidas pelo projeto ?

O sistema tem que atender as especificações da norma do país a que se destina. Neste trabalho analisa-se as especificações da norma brasileiras para fogões a gás, porém sabe-se que as normas de outros países possuem ensaios específicos ou critérios mais rigorosos ou não. Além disso o queimador deve atender as especificações que o consumidor anseia, como por exemplo rapidez no aquecimento de água (estes anseios não são muito bem definidos e devem ser traduzidos pelo projetista para um comportamento físico do sistema). Neste trabalho, para facilitar a compreensão dos

ensaios realizados, defini-se as seguintes nomenclaturas para identificar os queimadores da mesa de um fogão com 6 queimadores:

TE = queimador traseiro esquerdo

TC = queimador traseiro central

TD = queimador traseiro direito

DE = queimador dianteiro esquerdo

DC = queimador dianteiro central

DD = queimador dianteiro direito

O referencial para a definição do que é dianteiro ou traseiro ou esquerdo ou direito é a visão do usuário, ou seja, o observador deve estar de frente para o fogão.

4.1.1- FLUXO DE GÁS (INJETOR E REGISTRO):

A vazão de gás em um queimador é diretamente proporcional a quantidade de calor que se deseja. A vazão de gás em um mesmo queimador irá definir o tempo para aquecimento de uma panela com água até a fervura, para garantir que a fervura dure um tempo maior ou menor, define o tempo para que um forno se aqueça até a temperatura máxima, ou mantenha uma determinada temperatura.

A variação de fluxo de gás em um queimador de fogão é uma necessidade para atender o usuário na arte da cocção de alimentos. Um forno que possui uma temperatura muito elevada pode produzir um assado de péssima qualidade, pois a transferência de uma grande quantidade de calor para o assado em um curto espaço de tempo pode fazer com que este assado queime externamente e permaneça cru em seu interior.

Porém a variação do fluxo de gás não pode ser aleatória. Um fluxo de gás excessivo em um queimador e sistema de combustão que não foi projetado para isto pode produzir o descolamento da chama e sua extinção. Pode produzir uma combustão incompleta e gerar uma grande produção de monóxido de carbono, comprometendo a vida do usuário. Da mesma forma o fluxo não pode ser menor que o limite necessário para manter a segurança do usuário, ou seja, se o fluxo for menor que o mínimo necessário, a chama do queimador poderá apagar, poderá haver o retorno da chama para o interior do queimador, a chama pode ficar muito suscetível a ser apagada por uma corrente de ar ou um abrir e fechar da porta do forno.

A peça que define o fluxo máximo de gás para um queimador é o injetor, ou seja, quando o registro está posicionado para permitir que o fluxo de gás passe através dele com a menor obstrução possível, o fluxo será controlado então pelo tamanho do orifício do injetor e pela perda de carga produzida por este.

Utilizando a equação de Bernoulli no intervalo antes (1) e depois do injetor (2), tem-se:

$$P_1 / \rho + v_1^2 / 2 = P_2 / \rho + v_2^2 / 2$$

(58)

Considera-se que a velocidade do gás depois do injetor seja nula e a pressão após o injetor seja igual a atmosférica. Tem-se:

$$v_1^2 = 2 \cdot (P_2 - P_1) / \rho \quad (59)$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot (P_2 - P_1)}{\rho}} \quad (60)$$

Considera-se que a pressão P_1 é a pressão manométrica do gás na entrada do fogão, portanto a diferença de pressão será $(- P_1)$. Como se tem uma raiz quadrada, o resultado final será uma velocidade positiva.

A vazão volumétrica (Q_v) é:

$$Q_v = C_d \cdot A \cdot v_1 \quad (61)$$

sendo que C_d é o coeficiente de perda de carga e A é a área do orifício do injetor.

Considera-se que:

- não existe perda de carga no injetor, ou seja, $C_d = 1$.
- a pressão manométrica na entrada do fogão é 2,8 kPa
- o fluxo é de gás butano.
- a temperatura do gás é a mesma que a atmosférica que está a 0°C
- a pressão ambiente é de 1 atm.
- o gás butano e o ar como sendo gases ideais.

Dado que a densidade do ar à 1 atm e 300 K é $1,1774 \text{ kg} / \text{m}^3$, e convertendo-se a densidade do ar para 1 atm e 0°C (273,15 K), tem-se: densidade do ar (273,15) = $1,2931 \text{ kg} / \text{m}^3$.

Dado que a densidade relativa do butano é 2,007 a 1 atm e 0 °C, tem-se que a densidade do butano a 1 atm e 273,15K é $2,5953 \text{ kg} / \text{m}^3$.

Desta forma a velocidade do fluxo de butano é 46,45 m /s.

Dado que a relação entre os calores específicos do butano é 1,09.

Dado que o peso molecular do butano é 58,124.

A velocidade do som deste fluxo é: $c = (1,09 \cdot 273,15 \cdot 8314,5 / 58,124)^{1/2}$,

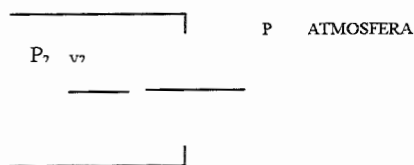
$c = 206,37 \text{ m/s}$.

A velocidade do fluxo de butano é 0,23 vezes o valor da velocidade do som. Por isso a aproximação de se considerar o fluido incompressível é bastante razoável nas análises teóricas. No cálculo do valor de 0,23 foi considerando que o coeficiente de perda de carga fosse 1, sendo que na realidade o valor de C_d é um número menor que 1, reduzindo ainda mais a velocidade do fluxo.

Desta forma: $\gamma = \text{constante}$. Assim pode-se trabalhar com a equação de Bernoulli.

Casos considerados:

- Se não tivéssemos o registro, apenas o injetor:



Injetor

- Considerando v_2 desprezível: $v_2 = 0$

$$P_1 / \gamma + (v_1)^2 / 2g = P / \gamma + v_2^2 / 2g \Rightarrow V = \{2g [(P_1 - P) / \gamma]\}^{1/2} \quad (62)$$

A vazão volumétrica, sem considerar a perda de carga, é:

$$Q_v = A_2 \cdot v = A_2 \cdot \{2g [(P_1 - P) / \gamma]\}^{1/2} \quad (63)$$

Considerando todas as perdas :

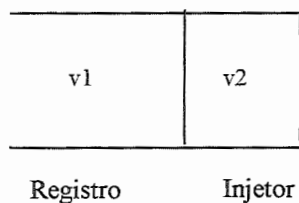
$$Q_v = C_{d2} \cdot A_2 \cdot v_2 \quad (64)$$

sendo: $0 < C_{d2} < 1$

A vazão mássica é :

$$Q_m = \gamma Q_v = \gamma \times C_{d2} \cdot A_2 \cdot v_2 = C_{d2} \cdot A_2 \cdot [2g \gamma (P_1 - P)]^{1/2} \quad (65)$$

- Se tivéssemos o registro e o injetor:



Considerando v_1 também desprezível : $v_1 = v_2 = 0$, onde 1 e 2 são respectivamente o registro e o injetor

$$P_1 / \gamma + (v_1)^2 / 2g = P_2 / \gamma + v_2^2 / 2g \Rightarrow v_1^2 = \{2g / \gamma\}^{1/2} \quad (66)$$

A vazão mássica será:

$$C_{d1} \cdot A_1 \cdot [2g \gamma (P_1 - P_2)]^{1/2} = Q_{m1} \quad (67)$$

Mas pela conservação da massa, $Q_m = Q_{m1}$:

$$C_{d2} \cdot A^2 \cdot [2g\gamma (P_2 - P)]^{1/2} = C_{d1} \times A_1 \times [2g\gamma (P_1 - P_2)]^{1/2}$$

Temos que:

$$P_1 = P_2 \times C_{d2}^2 \times A_2^2 + P_2 \times C_{d1}^2 \times A_1^2 / C_{d1}^2 \times A_1^2 + C_{d2}^2 \times A_2^2 \quad (68)$$

$$Q_{v1} = C_{d1} \times A_1 \times \{2g\gamma [(C_{d2}^2 \times A_2^2 / C_{d1}^2 \times A_1^2 + C_{d2}^2 \times A_2^2)] \times (P_2 - P)\}^{1/2} \quad (69)$$

$$Q_{m1} / Q_m = [(C_{d2}^2 \times A_2^2) / (C_{d1}^2 \times A_1^2 + C_{d2}^2 \times A_2^2)]^{1/2} \quad (70)$$

Mas $A_1 = \pi D_1^2 / 4$ e $A_2 = \pi D_2^2 / 4$, considerando $C_{d2} = C_{d1}$, temos:

$$\frac{Q_{m1}}{Q_m} = \frac{1}{\sqrt{\left[\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^4 + 1\right]}} \quad (71)$$

Sendo: D_1 = diâmetro do injetor
 D_2 = diâmetro do registro

Além da perda de carga no registro e injetor é necessário analisar todo o conjunto para saber se este não é afetado quando todos os queimadores estão em funcionamento. É feito um comparativo entre a vazão de todos os queimadores de um fogão funcionando ao mesmo tempo e a somatória de cada queimador funcionando separadamente. Esta diferença não pode ser superior a 10%.

4.1.2 - CAPITAÇÃO DO AR PRIMÁRIO (TUBO VENTURI):

A capitação de ar primário é uma das partes mais difíceis de se equacionar. A análise de uma pequena parte do venturi é tema para uma pesquisa profunda. Nos ensaios realizados constata-se que a definição do formato do venturi sofre influência do comprimento do tubo e do formato do tubo. No Apêndice 3 pode-se ver o formato dos tubos utilizados.

Segundo CLIFFORD (1973) o venturi deve possuir uma garganta que possibilite uma área da seção transversal de 30% a 60% da área total de saída do queimador. Em particular, é recomendável o valor de 45% da área total. O injetor deve estar localizado de 1 a 1,5 vezes o diâmetro da garganta do venturi. O comprimento total do venturi deve ser seis vezes o diâmetro da garganta do venturi. Tudo isto deve ser verificado na prática, pois muitas vezes o circuito de gás após o venturi é sinuoso, o que

deve ser compensado com uma redução da perda de carga provocada no venturi (aumento do diâmetro da garganta ou redução da profundidade da extricção). Outro fator que também influi é a rugosidade do tubo na região da garganta, que se for pequena reduz a perda de carga, devendo esta redução ser compensada com o aumento a perda de carga do venturi (redução da garganta ou aumento da profundidade de extricção).

Baseado nestas definições descritas, realiza-se protótipos com os seguintes dimensionais:

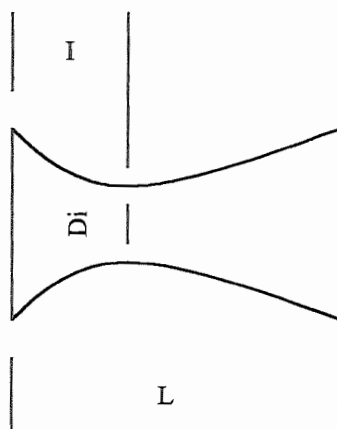


Figura 18: Formato do Venturi.

Da figura 18, tem-se: D_i = diâmetro interno da garganta do venturi, L = comprimento total do venturi, e I = comprimento da entrada do venturi até a garganta

Segundo SANTOS (1990) existe um valor ótimo de ângulo para o difusor que conduz à perda de carga nula ou mínima. Na prática, adota-se o valor de 12 graus para este ângulo, valor que corresponde ao alargamento de um jato livre.

Podem-se também utilizar uma câmara de mistura cilíndrica ao invés de cônica assim como um tronco cilíndrico na garganta. Estas disposições aumentam a obstrução do misturador, permitindo, por outro lado, que o regime de escoamento estabilize-se, o que favorece a “resistência” do misturador ao retorno de chama ao injetor, além de deixar o tubo menos sensível à orientação incorreta do fluxo de gás, fato que geralmente ocorre em uma produção em série como é o caso de fogões.

De acordo com SANTOS (1990), para queimadores usados em atmosfera não confinada (chama livre) o fator de ar primário deve ser de 0,6 e para queimador que trabalhará em atmosfera confinada o fator de ar primário deve ser 1.

Em um queimador à indução atmosférica, o arraste de ar depende da relação das seções da garganta do misturador e do injetor e, numa certa proporção, do valor da seção de saída.

Para os misturadores à gás de baixa pressão alimentando queimadores de chama livre, a seção de saída deve ser suficientemente grande para que sua influência sobre o arraste de ar possa ser desprezada.

$$\text{Seção de saída} \cong 1,5$$

Secção da garganta

Esta relação está próximo da descrita por CLIFFORD (1973).

A pressão da mistura é proporcional à pressão do gás indutor à montante do injetor, porém varia também com a razão ar-gás.

O comprimento da chama (regime laminar, $Re_y < 3000$), é proporcional ao débito volumétrico do gás e ao seu coeficiente de difusão no ar.

4.1.3 - CAPITAÇÃO DO AR SECUNDÁRIO: DISTÂNCIA ENTRE CHAMA E PANELA

Outros fatores afetam o rendimento, como por exemplo a trempe. A trempe deve proporcionar uma distância entre o queimador e a panela suficiente para propiciar uma entrada de ar secundário suficiente para mantermos os níveis de %CO, segundo SEARS (1977).

No caso do da capitação do ar secundário, o formato externo do queimador deve favorecer a aproximação do ar atmosférico. Além disso, o local onde se encontra o queimador deve favorecer a aproximação do ar. Isto significa que é recomendável que o queimador esteja projetado o mais alto possível do plano da mesa do fogão e a distância entre ele e a panela deve ser tal que não obstrua a chegada do ar secundário.

O local onde um queimador está instalado em um fogão afeta em muito a capitação de ar secundário. Se a panela sobre um queimador descoberto estiver a uma distância adequada do queimador, a chama terá as regiões bem definidas (situação "A" da figura 19). Se houver uma aproximação da panela, o mesmo efeito da figura 17 "B" se observará (situação "B" da figura 19). Se a aproximação for ainda maior, o efeito se assemelhará ao da figura 17 "C" (situação "C" da figura 19).

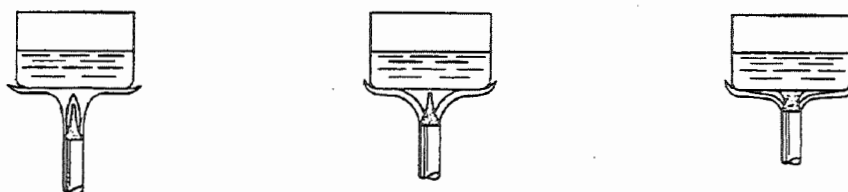


Figura 19: Detalhes da chama & ar secundário: a) adequado, b) reduzido e c) reduzido ainda mais, SEARS (1977).

Em uma chama a produção de %CO e seu rendimento são diretamente proporcionais. Entende-se por rendimento a quantidade de energia que é transmitida para o utensílio pela energia produzida pelo queimador. Na verdade são variáveis completamente



diferentes, porém com comportamento similar. Da mesma forma que o tamanho do queimador, ou seja, quanto menor o queimador, maior o rendimento (vide figura 20). Pode-se verificar que o rendimento é maior quando a panela é maior que o queimador. Isto se deve a área de contato da panela com a chama ser maior.

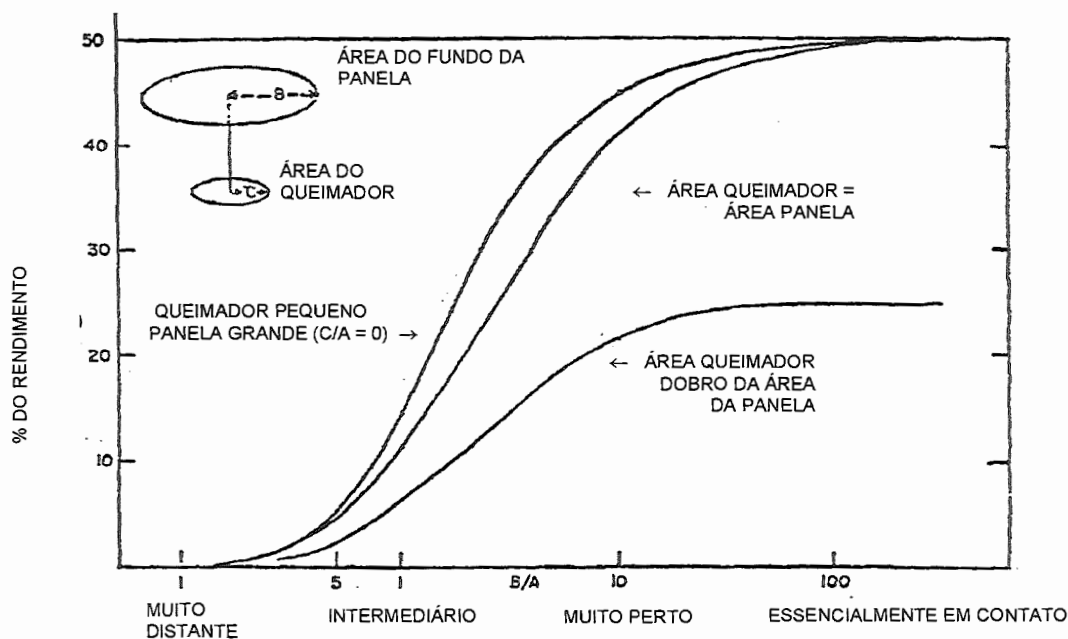


Figura 20: Rendimento em função da distância da panela e do tamanho do queimador, GOLDEMBERG (1974).

4.1.4 - COMBUSTÃO (QUEIMADOR):

Conforme já mencionado, a pressão manométrica do gás na entrada do fogão é pequena. Ao sair pelo injetor ela é ainda mais reduzida.

Pela equação de Bernoulli, a energia do fluxo de ar + gás combustível do tubo venturi é devido a sua velocidade. Quando o fluxo atinge o queimador, existem os orifícios de saída, por onde ao gás será expelido para fora, para que se dê a combustão. Estes orifícios produzem uma diminuição na velocidade do fluxo e com isto a pressão manométrica cresce ligeiramente. É esta pequena pressão que garante que o gás saia do queimador.

Para o bom funcionamento do queimador é necessário que a velocidade do fluxo de ar + combustível seja equalizada com a velocidade da frente de deslocamento da chama, que deve ficar entre alguns décimos de milímetro das portas de saída até alguns milímetros, dependendo do caso.

Existe uma variação de pressão para cada tipo de gás (ABNT,1996) que o queimador deve suportar sem falhar em seu funcionamento. Na família do gás GLP a pressão manométrica na entrada do fogão pode variar de 2,0 kPa até 3,5 kPa. No gás natural, de 1,5 kPa até 2,5 kPa. No gás manufacturado de 0,4 kPa até 1,5 kPa. Além desta variação de fluxo devido a diferença de pressão de fornecimento do gás, existe a variação de fluxo de gás devido ao registro que controla as vazões da máxima até a mínima.

O sistema de combustão, englobando o registro, o injetor, a capitação de ar, o tubo venturi e o queimador possui suas dimensões fixas. Por outro lado, existe um dimensional ótimo para cada potência. Como a potência é variada pela pressão e pelo registro, o projeto do sistema de combustão deve ser versátil para funcionar adequadamente, dentro dos limites de segurança para o usuário, em toda a faixa de potência.

Desta forma, a distância da chama em relação a saída do queimador varia. Quanto mais próximo do queimador, maior será sua temperatura durante seu funcionamento. Isto é constatado comparando-se a temperatura de funcionamento de um queimador na vazão máxima e mínima.

Além da distância, a posição da chama também é muito importante. Em queimadores da mesa, constata-se que quando coloca-se uma panela, a chama forma um ângulo menor com a horizontal, do que tinha quando não se tinha a panela. Isto faz com que a chama se projete para fora do queimador, se distanciando deste.

Segundo CLIFORD (1973), temos uma tabela (vide tabela 1) orientativa que permite calcular teoricamente um queimador de mesa descoberto.

TABELA 1 – Capacidade de Porta de Queimador

Diâmetro (mm)	Capacidade em W			
	Mínimo	Médio	Máximo	Passo (mm)
1,397	17,6	21,1	23,7	4,76
1,613	21,4	25,8	29,0	"
1,778	24,0	28,7	32,5	"
1,930	26,4	31,6	35,5	6,35
2,057	27,8	33,4	37,5	"
2,184	29,3	35,2	39,6	"
2,375	31,6	38,1	42,8	7,94
2,489	32,8	39,3	44,2	"
2,578	34,6	41,6	46,6	"
2,705	36,6	44,0	49,5	"
2,819	39,6	47,5	53,3	9,53
2,946	42,5	51,0	57,4	"
3,264	49,8	59,8	67,4	"
3,569	60,1	72,1	81,2	11,11
3,739	65,9	79,1	89,1	"

É recomendável utilizar portas com diâmetro virtual superior a 1,70 mm e inferior a 2,90 mm

I) Dados de entrada para o projeto:

P_n = potência nominal em W

D_{ext} = Diâmetro externo do queimador na altura das chamas principais

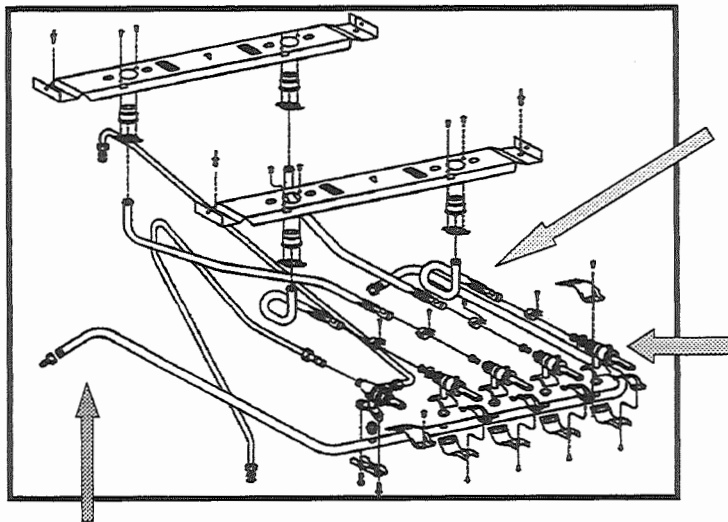
A_e = Se a aeração secundária será mínima, média ou máxima. Para queimadores de mesa descobertos é recomendável trabalhar com aeração máxima ou média.

II) Cálculo:

P_n / quantidade de W por porta virtual da tabela acima, segundo a classificação da aeração secundária (A_e). Encontra-se a quantidade de furos virtuais do queimador (N_{Fv}) e o diâmetro deste furo (DF_v)

$3,1416 \times D_{ext}$ = perímetro do queimador que contém as chamas principais (P_e)

P_e / N_{Fv} = passo (P_a), onde recomenda-se que: $1,7 \times DF_v < P_a < 2,3 \times DF_v$.



$$\frac{\sum Q \text{ cada queimador}}{Q \text{ todos juntos}} < 1,10$$

$$D_i = \sqrt{At \cdot 0,45 \cdot \frac{4}{\pi}}$$

$$L = D_i \cdot 6$$

$$I = D_i \cdot 1,5$$

$$Q_{vol} = C_d \cdot A \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho \text{ gás}}}$$

$$Q_{mássico} = Q_{vol} \cdot \rho \text{ gás}$$

$$\frac{Q_{m1}}{Q_m} = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{D1}{D2}\right)^4 + 1}}$$

Figura 21: Equacionamento do circuito de gás

4.2 - METODOLOGIA DE ENSAIOS E AVALIAÇÕES

As normas especificam os requisitos que devem ser seguidos e como realizar os ensaios para testar os fogões, incluindo também os queimadores. Estes requisitos visam a segurança do usuário e a eficiência do fogões.

No Brasil, as normas mais recentes passaram a vigorar a partir do dia 31/10/1997, apesar de terem sido publicadas em 1996 ABNT (1996).

De todos os itens e especificações das normas brasileiras para fogões a gás, seleciona-se aqueles referentes ao sistema de combustão. É analisado cada um deles abaixo. Assim que nomeado, constará logo na sequência o número da norma brasileira, item da norma que especifica e o item da norma que descreve o método de ensaio. No Anexo 2 encontra-se o texto pertinente dos itens mencionados.

Quando se analisa as equações contidas nas normas, constata-se que algumas hipóteses foram feitas:

- i) O fluido é tratado como meio contínuo.
- ii) O fluxo de gás, uma vez definida suas condições de alimentação ao queimador, é sempre considerado como permanente e uniforme.
- iii) Os gases combustíveis e o ar são considerados como gases perfeitos.
- iv) O escoamento dos gases é considerado não-viscoso.
- v) A velocidade do fluido (gases) está abaixo da velocidade local do som nos gases.
- vi) O fluido é considerado incompressível. É utilizada a equação de Bernoulli para comparar o gás entre dois pontos de uma linha de corrente.

4.2.1- POTÊNCIA DOS QUEIMADORES (NOMINAL E MÍNIMA)

NBR 13723-1 (1996).

Os itens 6.1.2.1 e 6.1.2.2 da norma especificam e os itens 7.5.1.3.1 e 7.5.1.3.2 descrevem os métodos de ensaio.

Quando se fala em potência de um queimador deve se entender potência nominal. Isto é válido para todo este estudo, a menos que especificado o contrário.

Basicamente, a potência é obtida medindo-se a quantidade de gás que passa pelo circuito de gás quando o queimador em questão está funcionando com uma pressão de 2,8 kPa (para o GLP) por um certo período. Multiplica-se a este valor de vazão volumétrica (ou mássica) pelo PCS do gás de referência. Utiliza-se um calorímetro para se determinar o PCS ou um cromatógrafo para a determinação da comparação do gás e então, com o uso das tabelas de PCS se calcula o PCS do gás ensaiado. No caso da terceira família (GLP) o gás é o butano, com uma pureza superior a 95%, portanto é usual utilizar o PCS da tabela 1 da norma.

As equações utilizadas são:

$$P_n [\text{kW}] = 0,278 \cdot M_n [\text{kg/h}] \cdot \text{PCS} [\text{MJ/kg}] \quad (72)$$

ou,

$$P_n [\text{kW}] = 0,263 \cdot V_n [\text{m}^3/\text{h}] \cdot \text{PCS} [\text{MJ/m}^3] \quad (73)$$

sendo que:

M_n é a vazão mássica nominal,

V_n é a vazão volumétrica obtida nas condições de referência*

Analisando as equações utilizadas para obter a potência encontra-se a constante 0,278 que nada mais é do que as correções das unidades, ou seja:

$$[\text{kg/h}] \cdot [\text{MJ/kg}] \cdot 1000 / 3600 = [\text{kW}], \text{ onde } 1000 / 3600 = 0,27777\dots$$

Na constante que aparece na equação que utiliza vazão volumétrica, além da mesma constante para correções de unidade, deve-se multiplicar também a correção de temperatura em Kelvin, pois na tabela 1 da norma o PCS está nas CNTP (0°C e 1 atm) e as condições de referência* estão a 15 graus Celsius e 1 atm. Temos portanto:

$$0,278 \cdot (273,15 + 0) / (273,15 + 15) = 0,278 \cdot 0,9479 = 0,2635.$$

*Obs.: as vazões (mássica ou volumétrica) são corrigidas para 15°C e 1 atm. Utiliza-se a razão entre as fórmulas de vazão para cada situação, ou seja:

Se a vazão for mássica:

$$Q_{\text{corrigido}} / Q_{\text{medido}} = [(101,3 + Pa) \times (273 + tg) \times dr]^{0,5} / [(Pa + P) \times 288 \times d]^{0,5}$$

Se a vazão for volumétrica:

$$Q_{\text{corrigido}} / Q_{\text{medido}} = [(101,3 + P) \times (Pa + P) \times 288 \times d]^{0,5} / [101,3 \times 101,3 \times (273 + tg) \times dr]^{0,5}$$

Analisando esta correção, tem-se:

Q_v = velocidade média do fluxo (v) . área da secção transversal (A) . coeficiente de perda de carga do sistema (C_d), sendo $Q_v = [\text{m}^3 / \text{s}]$, ou seja, vazão volumétrica

Aplicando Bernoulli, encontra-se:

$$v_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot (P_2 - P_1)}{\rho}} \quad (74)$$

Sendo que v_1 é a velocidade média, $(P_2 - P_1)$ é a diferença de pressão entre o gás antes de sair do injetor e a pressão ambiente.

A densidade do fluido (ρ) = massa / Volume, onde o volume varia segundo a temperatura e pressão, portanto:

$$Q_v(T,P) = C_d \cdot A \cdot [2 \cdot (\Delta P) / \rho(T,P)]^{1/2} \quad (75)$$

$$Q_{v1}(T_1, P_1) / Q_{v2}(T_2, P_2) = \{ [(\Delta P_1) / (\Delta P_2)] \cdot [\rho_2(T_2, P_2) / \rho_1(T_1, P_1)] \}^{1/2} \quad (76)$$

A densidade pode ser substituída pela densidade relativa, desde que corrigida para as condições onde esta foi definida, ou seja:

$$dr(T_1, P_1) = \rho_{\text{gás}}(T_1, P_1) / \rho_{\text{ar}}(T_1, P_1) \quad (77)$$

$$Q_m = \rho(T,P) \cdot Q_v(T,P) \quad (78)$$

sendo que a vazão mássica não se altera com a pressão e temperatura.

Q_v = vazão volumétrica(T,P) . $Q(T,P)$, sendo que a vazão volumétrica é alterada pela pressão e temperatura.

A norma faz uma correção coerente, corrigindo o fluxo de gás segundo uma referência de temperatura e pressão, utilizando sempre um mesmo gás (vide tabela 8 do Anexo 3).

Porém, verifica-se que existe um erro na tabela de pressões (vide tabela 9 do Anexo 3), pois é colocado unidade de pressão em kPa e também em mmca (milímetro de coluna de água). A unidade de pressão em mmca é na verdade oriunda de um manômetro de coluna de água, sendo que neste tipo de equipamento a pressão é obtida pela equação (28):

Sendo que a aceleração, no caso, é a aceleração da gravidade, que varia segundo o local onde se encontra. Sugere-se eliminar a unidade em mmca para a pressão para não haver a possibilidade de erro por parte do usuário da norma.

Os equipamentos utilizados nos ensaios realizados são: cronômetro digital (resolução de décimo de segundo), medidor de vazão de gás (desvio máximo de 2 % e resolução de 0,05 litros) , termômetro de bulbo para o gás e a temperatura ambiente (resolução de 0,1 °C e desvio máximo de +/- 0,3 °C), barômetro torriceli (resolução de 1 mmHg), manômetro de coluna d'água (resolução de 1 mmca e desvio máximo de +/- 1 mmca).

4.2.2- RESISTÊNCIA AO SUPERAQUECIMENTO

NBR 13723-1 (1996).

O item 6.1.4.1 da norma especifica e o item 7.5.1.5.1 descreve o método de ensaio.

É verificado se o queimador e tubo venturi mantém chama no seu interior, quando é posto uma chama na entrada de ar primário e sob o queimador. Caso isto ocorra o queimador não pode fundir. Este requisito verifica o material de que é feito o queimador. É muito utilizado o alumínio em queimadores onde não ocorre a chama no circuito. O resultado deste item é aprovado (queimador não sofre alterações como aparecimento de bolhas ou fusão) ou reprovado (queimador sofre alterações). A norma tem coerência, pois solicita gases que forçam a pior situação, além de pressão e vazão mínimas .

Os equipamentos utilizados são: manômetro de coluna d'água, cronômetro.

Não há sugestões para este item.

4.2.3 -ESCAPE DE GÁS NÃO QUEIMADO

NBR 13723-1 (1996).

O item 6.1.4.2 da norma especifica e o item 7.5.1.5.2 descreve o método de ensaio.

Este é um requisito que define os encaixes quando um queimador é feito com várias partes. Não iremos abordar esta especificação, por se tratar de um item que não afeta o projeto de combustão.

Porém ele define também a área total (At) das portas de saída de um queimador, pois se a área for insuficiente, a chama pode se distanciar do queimador e em alguns casos ser extinta em algumas portas de saída do queimador. Isto gera escape de gases não queimados.

Não há sugestões para este item.

4.2.4 - VAZÃO TOTAL DO APARELHO

NBR 13723-1 (1996).

O item 6.1.7 da norma específica e o item 7.5.1.8 descreve o método de ensaio.

Este item avalia se o circuito que o gás percorre está adequado a suportar uma vazão que mantenha a potência nominal dos queimadores de um fogão quando todos eles estão em pleno funcionamento. Pode-se verificar com este ensaio o quanto os itens e peças do circuito de gás afetam a vazão de um fogão.

A vazão com todos os queimadores funcionando ao mesmo tempo na vazão nominal deve ser no máximo 10% menor que a somatória das vazões de cada queimador funcionando separadamente.

4.2.5 - SEGURANÇA DE OPERAÇÃO: IGNIÇÃO, PROPAGAÇÃO DA CHAMA E ESTABILIDADE DA CHAMA

NBR 13723-1 (1996).

O item 6.2.1 da norma específica e o item 7.5.2.1 descreve o método de ensaio.

Neste requisito são realizados vários ensaios com todos os gases especificados para cada família ou grupo. Nas especificações contidas neste item, muitas definições de projeto são feitas, como se seguem:

a) O critério da chama acender em toda a extensão do queimador num intervalo de 5 s define o espaçamento entre janelas (ou portas de saída) e uma correta regulagem do ar primário, pois o excesso deste tende a provocar o sopramento da chama. No caso de limitações de projeto, onde é necessário um queimador de grande tamanho físico e baixa potência, recomenda-se o uso de portas auxiliares.

b) O ensaio de retorno de chama define a área total das saídas do queimador e o tamanho do canal das portas. Caso a área total seja maior que o recomendável para um bom projeto, ou a profundidade do canal muito pequena, com certeza teremos o retorno de chama. O recomendável é que a profundidade seja de duas a três vezes o diâmetro da porta de saída CLIFFORD (1973). Se a porta não for circular, considerar o diâmetro de um círculo que possua a mesma área da porta.

Obs.: No caso da profundidade, muitos queimadores são estampados a partir de uma chapa. Geralmente nestes casos a profundidade é definida pela espessura da chapa. Se a chapa for muito fina, o queimador terá uma quantidade menor de massa e sua temperatura tende a ser alta. Isto, somado ao fato da pequena profundidade das portas, provoca o retorno de chama. Em alguns casos é possível ouvir uma pequena explosão e a extinção da chama quando se reduz o fluxo para a vazão mínima rapidamente ou quando se extingue o fluxo.

a) O ensaio de depósito de carbono auxilia na definição da área total de saída de um queimador e a distância entre queimador e a panela.

b) O ensaio de estabilidade de chama quando o forno do fogão está em funcionamento define a necessidade ou não de chamas auxiliares em um queimador. Define também

o tamanho das portas auxiliares. É que o dióxido de carbono produzido na combustão do forno pode envenenar o ar primário do queimador da mesa, desta maneira, a chama tende a soprar e se extinguir. A existência das chamas auxiliares dá estabilidade às chamas principais.

- c) O ensaio de transbordamento de líquidos define o ângulo em que a chama deve sair. O derrame de água de uma fervura não pode extinguir a chama de um queimador.
- d) O ensaio de resistência à corrente de ar define a estabilidade da chama do queimador quando em vazão mínima. A vazão mínima é definida pelo registro. Porém a profundidade das portas de saída do queimador e a presença e dimensão das portas auxiliares também influem no resultado.

Esta sequência de ensaios verifica se a chama é estável independente da situação em que o fogão esteja funcionando. Em ensaios práticos realizados constata-se que a norma é coerente com relação aos tempos solicitados, pois são os mais críticos.

Verifica-se nestes ensaios se o funcionamento do forno afeta o funcionamento dos queimadores da mesa, se o espaçamento entre os furos do queimador estão apropriados para permitir um acendimento rápido, se as chamas permanecem acesas quando respingos d'água caem sobre o queimador, se as chamas mínimas permanecem estáveis.

Os equipamentos necessários são: cronômetro, manômetro de coluna d'água.

Constata-se que no ensaio de transbordamento é utilizado sempre o mesmo tamanho de panela e a mesma quantidade de água, independente da potência nominal do queimador. Este fato favorece queimadores de mesa com potência baixa e prejudica os queimadores com potência alta.

Sugere-se que sejam utilizadas panelas segundo a potência do queimador, pois desta forma a quantidade de água para a fervura dentro do tempo estipulado também é proporcional.

Constata-se também que o tempo para ensaio de estabilidade com o forno ligado é muito sensível ao tempo de funcionamento do forno, ou seja, os primeiros queimadores a serem ensaiados na mesa estariam em uma situação mais crítica que os últimos. Sugere-se que o tempo de 3 minutos seja utilizado para cada queimador, desta forma todos estariam sendo avaliados no mesmo grau de rigor.

4.2.6 - COMBUSTÃO

NBR 13723-1 (1996).

O item 6.2.2 da norma especifica e o item 7.5.2.2 descreve o método de ensaio.

Os ensaios definem a captação de ar, quer seja primário ou secundário.

Estes ensaios utilizam panelas de diâmetro interno de 220 mm, com água e quando o queimador da mesa é ensaiado sozinho, utiliza-se um dispositivo sobre a panela para coleta dos produtos da combustão. Se o ensaio é realizado com todos os queimadores funcionando é utilizado um outro dispositivo sobre todo o fogão para coleta dos produtos da combustão.

É feita a medida do monóxido e dióxido de carbono que entram em uma fórmula para comparar-se com os valores de uma queima estequiométrica, isento do excesso de ar e vapor d'água.

Constata-se que queimadores de baixa potência são privilegiados e os de alta potência são prejudicados, pois a panela usada para o ensaio é sempre do mesmo tamanho.

Sugere-se, para os ensaios individuais, sejam utilizadas panelas e dispositivos proporcionais a potência do queimador a ser testado.

Constata-se (vide Anexo 4) que para um queimador de 1,75 kW de potência o tempo de 20 minutos para a coleta dos produtos da combustão é adequado, pois encontra-se em uma faixa estável. O ensaio no Anexo 4 foi realizado seguindo o procedimento da norma antiga para fogões, porém ele é válido, pois não houve alteração da especificação dos limites e cálculos, só não se tinha a especificação de tempo para realizar os ensaios.

Os equipamentos para ensaio se encontram descritos no Anexo 4.

4.2.7- RENDIMENTO

NBR 13723-2 (1996).

O item 3.1.1 da norma específica e o item 4.1.1 descreve o método de ensaio.

Utiliza-se aqui um conceito simples. É mensurado no ensaio a porcentagem de energia que consegue ser transmitida para uma panela de alumínio contendo água, tendo como base de referência a quantidade de energia que está sendo gerada. O intervalo de tempo necessário para se mensurar esta porcentagem é aquele em que a temperatura da água se eleva entre $t_1 = 20^\circ\text{C}$ e $t_2 = 90^\circ\text{C}$, aproximadamente

$$n [\%] = M [\text{kg}] \times C_p [\text{MJ} / \text{kg} \times ^\circ\text{C}] \times (t_2 - t_1) \times 100 / V_c [\text{m}^3] \times H [\text{MJ}/\text{m}^3] \quad (79)$$

$$M = M_1 + 0,213 \times m \quad (80)$$

onde: M_1 é a massa de água, m é a massa de alumínio e C_p é o valor $4,186 \times 10^{-3} \text{ MJ} / \text{kg} \times ^\circ\text{C}$, que é o valor do calor específico da água (líquido saturado) a $71,11^\circ\text{C}$, segundo HOLMAN (1983). No caso do C_p da água, o valor especificado é aproximadamente a média dos valores de C_p entre os 20°C e 90°C . O fator 0,213 nada mais é do que relação entre o C_p da água e o C_p do alumínio considerado, ou seja:

$$C_p \text{ do alumínio} = 0,213 \times C_p \text{ da água} = 0,213 \times 4,186 \times 10^{-3}$$

$$C_p \text{ do alumínio} = 0,892 \times 10^{-3} [\text{MJ} / \text{kg} \times ^\circ\text{C}]$$

Este valor é próximo à $0,896 \times 10^{-3} [\text{MJ} / \text{kg} \times ^\circ\text{C}]$ para o alumínio puro estando a 20°C HOLMAN (1983).

Os queimadores devem atingir valor acima de 52%. Só serão considerados queimadores com potência acima de 1,16 kW (1000 kcal/h). Analisando as panelas recomendadas pela tabela 13 do Anexo 2, e raciocinando que o ideal de um queimador é ter um formato como o bico de Bunsen (chama na vertical e concentrada), constatamos que se o queimador tiver o menor diâmetro possível terá um rendimento maior. E se o queimador possuir a menor potência nominal para cada faixa de panela, também haverá uma tendência de aumento do rendimento.

O princípio físico do ensaio está correto, pois avalia-se o quanto de energia produzida pela queima do gás efetivamente é transportada para a panela.

Sugere-se o uso de panelas proporcionais ao tamanho do queimador, pois as existentes abrangem uma faixa muito extensa de variação de potência dos queimadores, privilegiando os de baixa potência e prejudicando os de alta potência.

Este ensaio avalia o fenômeno de transferência de calor da chama para a panela, porém sugere-se um ensaio adicional que represente a impressão ao usuário do fogão que consiste em determinar um tempo mínimo para que uma determinada quantidade de água atinja o mesmo limite de 90°C. Desta forma a norma estaria reproduzindo uma das preocupações ou anseios do usuário. Sugere-se que este ensaio seja informativo, ou seja, que o resultado faça parte das informações ao usuário. É possível que este tipo de especificação proposta possa fomentar a diversificação das potências dos queimadores da mesa dos fogões, propiciando maior escolha e opção para o usuário.

Segue-se nas figuras 22 e 23 o resumo da metodologia utilizada.

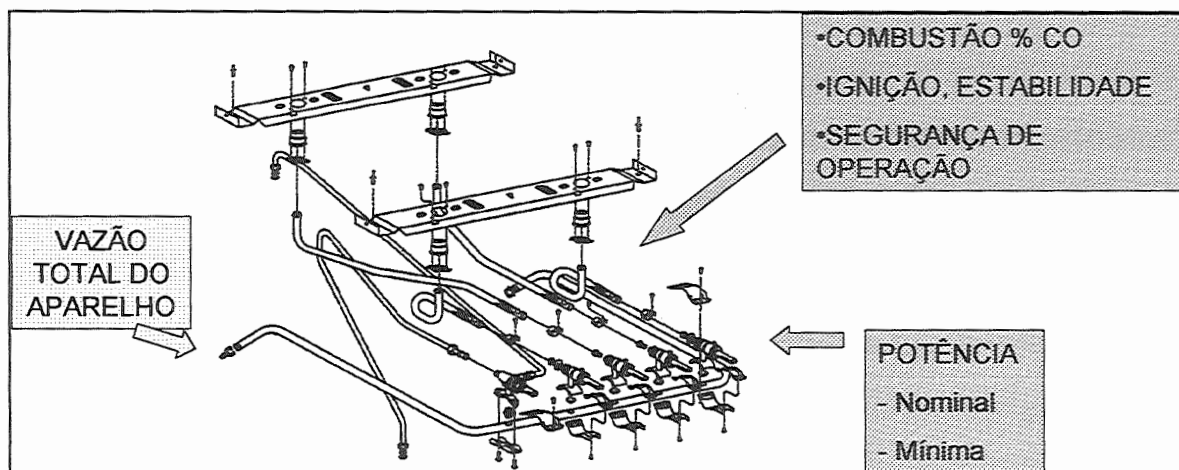


Figura 22: Ensaio para avaliar o circuito de gás

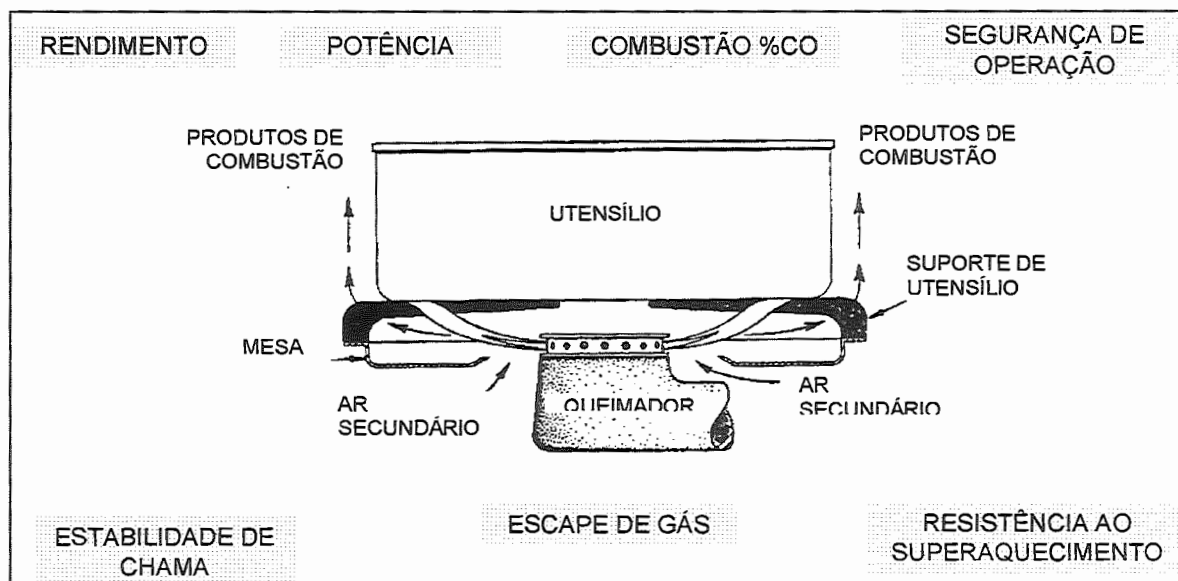


Figura 23: Ensaio para avaliar o Queimador e Trempe

4.3 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

7.5.1.3.1)

DESCRIÇÃO	MODELO	FABRICANTE	CAPACIDADE	RESOLUÇÃO	DESVIO
Coluna de Água	MTU 200	Iope	400 mmca	1mm	+/-0,5 F.S.
Medidor Volumetrico	DM3A	Alexander Wright	30 A 150l	0,005l	+/-0,75 dm ³ /h.
Medidor Volumetrico	DM3B	Alexander Wright	30 A 180l	0,01l	+/-0,9 dm ³ /h.
Medidor Volumetrico	DM3D	Alexander Wright	300 A 900l	0,1l	+/-4,5 dm ³ /h.
Medidor Volumétrico	1l	Schumberger	50 A 500l/h	0,01l	+/- 1% POR PONTO
Termômetro de Bulbo		INCOTERM	-10°C a 100°C	0,1°C	+/-0,5 F.S.
Cronômetro	HS-30W	Casio	9:59'59"99	00"01	+/- 15s POR MÊS
Balança	PT30	Marte	30.000g	1g	0 A 5.000g +/- (L/250)g 5.000 A 7.500g +/- 20g 0 A 5.000g +/- (L/350)g
Barômetro Torricelli	-----	SalviCasagrande	560 A 800mmHg	1mmHg	+/-0,5 F.S.
Estação Metereológica	3710	Barigo	0 a 99hPa	1 hPa	+/-0,5 F.S.
Termômetro de Bulbo	-----	Icoterm	-10°C a 50°C	0,1°C	+/-0,5 F.S.

7.5.1.5.1)

DESCRIÇÃO	MODELO	FABRICANTE	CAPACIDADE	RESOLUÇÃO	DESVIO
Balança	PT30	Marte	30.000g	1g	0 A 5.000g +/- (L/250)g 5.000 A 7.500g +/- 20g 0 A 5.000g +/- (L/350)g
Cronômetro	HS-30W	Casio	9:59'59"99	00"01	+/- 15s POR MÊS
Coluna de Água	MTU400	Iope	800 mmca	1mm	+/-0,5 F.S.

7.5.1.5.2.1)

DESCRIÇÃO	MODELO	FABRICANTE	CAPACIDADE	RESOLUÇÃO	DESVIO
Coluna de Água	MTU400	Iope	800 mmca	1mm	+/-0,5 F.S.
Balança	PT30	Marte	30.000g	1g	0 A 5.000g +/- (L/250)g 5.000 A 7.500g +/- 20g 0 A 5.000g +/- (L/350)g
Detector de Hidrocarbonetos	Não temos				

7.5.2.1)

DESCRIÇÃO	MODELO	FABRICANTE	CAPACIDADE	RESOLUÇÃO	DESVIO
Coluna de Água	MTU400	Iope	800 mmca	1mm	+/-0,5 F.S.
Balança	PT30	Marte	30.000g	1g	0 A 5.000g +/- (L/250)g 5.000 A 7.500g +/- 20g 0 A 5.000g +/- (L/350)g
Cronômetro	HS-30W	Casio	9:59'59"99	00"01	+/- 15s POR MÊS
Térm. Digit. 24 pontas	CSE-24	Mit Exacta	0 a 400°C	1°C	+/- 3°C (0,5 F.S.)
Térmopar	Tipo J	Mit Exacta	0 A 750°C	1°C	+/- 2,5°C

Cronômetro	HS-30W	Casio	9:59'59"99	00"01	+/- 15s POR MÊS
------------	--------	-------	------------	-------	-----------------

Vazão Total Total do Aparelho

DESCRIÇÃO	MODELO	FABRICANTE	CAPACIDADE	RESOLUÇÃO	DESVIO
Coluna de Água	MTU 200	Iope	400 mmca	1mm	+/-0,5 F.S.
Cronômetro	HS-30W	Casio	9:59'59"99	00"01	+/- 15s POR MÊS
Medidor Volumetrico	DM3D	Alexander Wright	300 A 900l	0,1l	+/-4,5 dm ³ /h.

Combustão da Mesa

DESCRIÇÃO	MODELO	FABRICANTE	CAPACIDADE	RESOLUÇÃO	DESVIO
Cronômetro	HS-30W	Casio	9:59'59"99	00"01	+/- 15s POR MÊS
Balança	PT30	Marte	30.000g	1g	0 A 5.000g +/- (L/250)g 5.000 A 7.500g +/- 20g 0 A 5.000g +/- (L/350)g
Coluna de Água	MTU400	Iope	800 mmca	1mm	+/-0,5 F.S.
Anal. De % CoN	342-1	Testo	0 a 4000ppm	1ppm	p CO Até 400 ppm +/- 20 ppm 401ppm até 2000ppm +/-5% do valor medido

Rendimento)

DESCRIÇÃO	MODELO	FABRICANTE	CAPACIDADE	RESOLUÇÃO	DESVIO
Coluna de Água	MTU 200	Iope	400 mmca	1mm	+/-0,5 F.S.
Cronômetro	HS-30W	Casio	9:59'59"99	00"01	+/- 15s POR MÊS
Balança	PT30	Marte	30.000g	1g	0 A 5.000g +/- (L/250)g 5.000 A 7.500g +/- 20g 0 A 5.000g +/- (L/350)g
Termômetro de Bulbo		INCOTERM	-10°C a 100°C	0,1°C	+/-0,5 F.S.
Medidor Volumetrico	DM3A	Alexander Wright	30 A 150l	0,005l	+/-0,75 dm ³ /h.
Medidor Volumetrico	DM3B	Alexander Wright	30 A 180l	0,01l	+/-0,9 dm ³ /h.
Medidor Volumetrico	DM3D	Alexander Wright	300 A 900l	0,1l	+/-4,5 dm ³ /h.
Medidor Volumétrico	1l	Schumberger	50 A 500l/h	0,01l	+/- 1% POR PONTO
Barômetro Torricelli	-----	SalviCasagrande	560 A 800mmHg	1mmHg	+/-0,5 F.S.
Estação Metereológica	3710	Barigo	0 a 99hPa	1 hPa	+/-0,5 F.S.
Termômetro de Bulbo	-----	lcoterm	-10°C a 50°C	0,1°C	+/-0,5 F.S.

5 - RESULTADOS:

RESULTADOS SOBRE PERDA DE CARGA:

Realiza-se a verificação da equação acima com ensaios em registros existentes no mercado, utilizados na produção, sendo os fornecedores: Delta, Arim e Um. Cada fabricante de registro possui seu próprio projeto da parte interna responsável pela regulação da vazão e pela perda de carga. O fornecedor Delta possui dois projetos com materiais diferentes.

TABELA 2 – Verificação da vazão dos registro com vários injetores

Diâmetro do injetor / vazão (mm) - (L/h)	Registros - valores de vazão (litros / hora)				
	Delta Latão	Delta Zamac	Arim	Um	Norma*
1,00-99,0	97,6	95,0	96,8	96,3	89,1
1,20-163,0	159,8	153,0	158,0	146,8	196,7
1,50-237,0	230,6	207,1	227,5	193,6	213,3
1,70-280,0	271,0	239,0	267,1	216,2	252,0
1,80-291,0	264,9	259,6	264,5	213,2	261,9
1,90-326,0	304,0	-	284,0	225,4	293,4
2,00-352,0	332,2	-	325,2	-	317,7
2,20-400,0	375,0	-	360,5	-	360,0
2,40-480,0	-	-	-	-	432,0
2,50-	-	-	-	-	-
3,00-536,0	-	-	-	-	482,4

* Norma: na data da realização deste ensaio, era vigente a norma de fogões antiga, que especificava uma variação máxima na potência de +/- 10%, o que significa +/- 10% da vazão. A nova norma alterou este valor para +/- 5%

O ensaio foi realizado com ar, a uma pressão de 0,80 kPa por ser a máxima possível que o equipamento ATEQ, de medir vazão, podia suportar. É um ensaio, que apesar de não utilizar o gás combustível, permite analisar a vazão do registro + injetor comparado com o injetor, sem registro. Apesar da pressão não ser a adequada, as diferenças de vazão tendem a se manter, mesmo alterando o fluido e a pressão.

Compara-se estes resultados da tabela 2 com o valor máximo de perda de carga informado pelos fabricantes, representado por um orifício fictício e pelo valor da equação apresentada:

Delta Latão = 4,00 mm (diâmetro máx. registro) - injetor máx. equação = 1,40 mm
 Delta Zamac = 2,00 mm (diâmetro máx. registro) - injetor máx. equação = 2,80 mm
 Arim Zamac = 3,50 mm (diâmetro máx. registro) - injetor máx. equação = 2,40 mm
 Um Zamac = não declarou

RESULTADOS REFERENTES À CAPITAÇÃO DE AR PRIMÁRIO:

Para um queimador de 1,74 kW utilizado na produção, a área total de saída do queimador é 185,35 mm²

$$185,34 \text{ mm}^2 \cdot 0,45 = 83,41 \text{ mm}^2$$

$$83,41 = \frac{\pi D_i^2}{4} \Rightarrow D_i = 10,3 \text{ mm}$$

Arredonda-se para $D_i = 10,5 \text{ mm}$

$$L = 6 \cdot 10,5 = 63 \text{ mm}$$

$$I = 1,5 \cdot 10,5 = 15,8 \text{ mm}$$

Seguindo o mesmo raciocínio, realiza-se protótipos com:

$$D_i = 11,00 \text{ mm} \Rightarrow L = 66 \text{ mm} \Rightarrow I = 16,5 \text{ mm}$$

$$D_i = 10,00 \text{ mm} \Rightarrow L = 60 \text{ mm} \Rightarrow I = 15,0 \text{ mm}$$

Para um queimador de 1,50 kw ($\cong 1300 \text{ kcal / h}$), têm-se que um queimador com área total é 141,94 mm².

$$141,94 \text{ mm}^2 \cdot 0,45 = 63,87 \text{ mm}^2$$

$$63,87 = \frac{\pi D_i^2}{4} \Rightarrow D_i = 9,02 \text{ mm}^2$$

Arredonda-se para $D_i = 9,00 \text{ mm}^2$

$$L = 6 \cdot 9,00 = 54 \text{ mm}$$

$$I = 1,5 \cdot 9,00 = 13,5 \text{ mm}$$

Seguindo o mesmo raciocínio, realiza-se protótipos com:

$$D_i = 9,50 \text{ mm} \Rightarrow L = 57 \text{ mm} \Rightarrow I = 14,3 \text{ mm}^2$$

$$D_i = 10,00 \text{ mm} \Rightarrow L = 60 \text{ mm} \Rightarrow I = 15,0 \text{ mm}^2$$

TABELA 3: Resultados de ensaios com venturis calculados

QUEIMADOR	POTÊNCIA (kW)	TIPO DE VENTURI (ppm CO _N)				
		1	2	3	4	5
TE	1,50	810	811	72		
TC	1,50	63	239	306		
TD	1,74	210	263	184		
DE	1,74			2407	2364	3503
DC	1,50	917	698	579		
DD	1,74			1511	713	1201
I (mm)		13,5	14,3	15,0	15,8	16,5
Di (mm)		9,00	9,50	10,00	10,50	11,00
L (mm)		54	57	60	63	66

Para 5 tubos, conforme tabela 3, o resultado foi positivo. Encontra-se valores abaixo de 1500 ppm de CO_N que é o valor limite estipulado pela norma NBR 13723-1 para gás de referência da terceira família. Para o tubo DE, um novo formato teve que ser desenvolvido, com um comprimento (L) maior e Diâmetro Maior (Di). Porém, tem-se a seguinte relação orientativa:

$$Di = (At \cdot 0,45 \cdot 4 / \pi)^{1/2}$$

$$L = Di \cdot 6$$

$$I = Di \cdot 1,5$$

RESULTADOS REFERÊNTES A CAPITAÇÃO DE AR SECUNDÁRIO E RENDIMENTO DO QUEIMADOR:

Apartir de um projeto proposto de trempe e altura de queimador, realiza-se os ensaios de % CO_n (ensaio 1), % CO_n (ensaio 2) e rendimento, segundo NBR 13723-1 e -2. Faz-se alterações na altura da trempe e do suporte do queimador (gargalo) a partir de uma posição inicial e verifica-se a respostas. Encontra-se na tabela 4 as seguintes variações:

TABELA 4: Efeitos da variação da distância entre panela e queimador

COND./QUEIM.	QUEIM.	RENDIMENTO (%)	NBR	%CON1 (ppm)	NBR	% CON 2 (ppm)	NBR
COND. INICIAL PROPOSTA	DE	56,45	MÍN 52 %	1264	MÁX 1500	1823,	MÁ. 1500
	DC	59,06		621		1145	
	DD	60,66,		1300		1750	
	TE	58,95		767		1025	
	TC	59,22		556		1504	
	TD	59,01		1162		2228	
TREMPE + 6mm GARGALO + 5mm	DE	61,02	MÍN 52	737	MÁX 1500	898	MÁ. 1500
	DC	60,41		405		575	
	DD	60,72		950		1460	
	TE	61,66		339		744	
	TC	58,40		519		815	
	TD	64,92		637		1561	
TREMPE + 9,8 mm GARGALO + 9,6 mm	DE	60,46	MÍN 52 %	1453	MÁX 1500	1750	MÁ. 1500
	DC	61,40		808		1394	
	DD	58,71		873		1785	
	TE	61,57		499		759	
	TC	62,67		353		865	
	TD	59,81		2296		2520	
TREMPE + 15 mm GARGALO + 14,6 mm	DE	59,49	MÍN 52 %	907	MÁX 1500	1649	MÁ. 1500
	DC	61,44		494		967	
	DD	61,13		425		858	
	TE	61,35		297		750	
	TC	59,57		366		459	
	TD	59,70		1483		2109	

COND./QUEIM.	QUEIM.	RENDIMENTO (%)	NBR	% CO _n 1 (ppm)	NBR	% CO _n 2 (ppm)	NBR
TREMPE + 20 mm GARGALO + 18,5 mm	DE	60,37	MÍN 52 %	607	MÁX 1500	1486	MÁ. 1500
	DC	61,73		210		598	
	DD	61,80		714		1492	
	TE	60,84		610		595	
	TC	58,33		377		513	
	TD	61,09		683		1332	
trempe + 9,8 gargalo + 5	TC	56,23		107		270	
	TD	59,68		517		891	
trempe + 15 gargalo + 5	TC	54,26		75		175	
	TD	55,22		224		258	
trempe + 15 gargalo + 9,6	TC	57,48		105		276	
	TD	58,78		276		707	
rempe + 20 gargalo + 5	TC	52,53		85		149	
	TD	55,83		94		360	
trempe + 20 gargalo + 9,6	TC	56,21		61		183	
	TD	58,37		537		683	
trempe + 20 gargalo + 14,6	TC	58,83		271		305	
	TD	59,24		566		930	
trempe + 4,6	TC	59,08		122		406	
	TD	60,85		515		1136	
trempe + 6,5	TC	58,82		98		288	
	TD	60,34		379		764	
trempe + 6,5	TC	57,18		68		105	
	TD	57,70		152		511	

RESULTADOS REFERENTES AO MATERIAL DO QUEIMADOR:

Pelos ensaios realizados, constata-se que as maiores temperaturas que qualquer queimador de fogão irá atingir será quando estiver na menor vazão e, no caso dos queimadores da mesa, quando não houver nenhum recipiente sobre o queimador e mesmo funcionando com o gás propano. Em ensaios comparativos com a norma e o ensaio prático com o propano constata-se que o simples funcionamento com propano, por mais de 30 min. caracteriza um estado mais crítico do que o ensaio de superaquecimento da NBR 13723-1 para o circuito de combustão testado, onde os tubos venturi longos distanciam a chama que pode ser originada no injetor do queimador. O ensaio prático com propano mostrou-se mais crítico do que o ensaio de estabilidade de chama da NBR

13723-1 para este mesmo circuito. Sugere-se que este ensaio prático seja considerado em futuras normas de fogões.

Ensaio realizado com pirômetro de topo colocados sobre queimadores da mesa, na sua parte central superior (distante da chama), tendo o cuidado de proteger a ponta do termopar com fibra cerâmica contra a radiação da chama, encontra-se temperaturas que variam de 300°C a 400°C quando os queimadores estão na vazão nominal sem nenhum vasilhame sobre os queimadores, e de 400°C a 500°C quando os queimadores estão na vazão mínima sem nenhum vasilhame sobre os queimadores. Estes valores sobem para 550°C a 600°C com a queima do gás propano. Com painéis sobre os queimadores, as temperaturas variam de 250°C a 330°C quando a vazão é nominal.

Pelos valores das temperaturas apresentados, a escolha do material com que é feito o queimador deve ser feita com cautela. É comum encontrar queimadores de alumínio, por ser um material de baixo custo e que mantém o brilho quando se utiliza esponjas de aço na limpeza, indefinidamente. O alumínio apresenta um ponto de fusão de 660°C FILHO (1988), resistindo portanto à condição apresentada acima.

RESULTADOS DA DEFINIÇÃO DO QUEIMADOR

Tom-se como base os queimadores que foram utilizados na parte da definição do venturi:

Potência = 1,74 kW Englobando a área do furo superior com o inferior sendo 32 furos superiores de diâmetro de 2,5 mm e 16 furos inferiores de diâmetro de 1,5 mm, tem-se:

$$185,35 \text{ mm}^2 / 32 = 5,7923 \text{ mm}^2$$

Sendo o diâmetro específico = **2,72 mm**

A potência total dividida pelo número de furos específicos será:

$$1740 / 32 \text{ furos} = 54,4 \text{ W / furo}$$

Procura-se na tabela 1 compatibilizar os dois resultados em negrito:

Constata-se que, para este queimador, a quantidade de furos é insuficiente, o que não é verdade. Apenas este possui um formato característico (vide primeiro queimador do Apêndice 4), que permite um bom funcionamento no produto testado.

Outro queimador de igual potência, porém com outro formato (vide segundo queimador do Apêndice 4), possui a seguinte relação:

Área total = 200,46 mm² com duas carreiras de furos, sendo 36 superiores de diâmetro 2,2 mm e 36 inferiores de 1,5 mm.

Englobando os furos tem-se:

$$200,46 \text{ mm}^2 / 36 = 5,5683 \text{ mm}^2$$

Sendo o diâmetro específico = **2,66 mm**

A potência total dividida pelo número de furos específicos será:

$$1740 / 36 \text{ furos} = 48,3 \text{ W / furo}$$

Procura-se na tabela 1 compatibilizar os dois resultados em negrito:

Constata-se que, para este queimador analisado, a quantidade de furos é adequada, encontrando-se no limite superior de potência por porta de saída.

RESULTADOS SOBRE AJUSTE E COMPORTAMENTO DA CHAMA

Ao se realizar os ensaios seguindo a metodologia proposta e variando-se os gases de uma mesma família (vide resultado do Apêndice 1) e de outras famílias, observa-se que o comportamento da chama ocorre conforme descrito na parte teórica nos seguintes pontos:

- o gás butano faz com que um mesmo queimador produza mais %CO comparado com gases da mesma família ou de outras.
- o gás propeno queima mais rapidamente em um mesmo queimador que o butano e propano. Pode-se ver a diferença também no tamanho da chama e na coloração da mesma: o propeno possui um tamanho menor da chama e sua cor é de um azul mais vivo.
- o gás natural tende a apresentar sopramento e um mesmo queimador apresenta maior dificuldade de ser acendido do que com o uso de outros gases. Esse comportamento comprova que o gás metano (maior componente do gás natural) necessita de uma maior energia de ativação para produzir a chama e que este gás é mais difícil de ser queimado nas condições ambientes.
- uma forma prática de regular o ar primário de um queimador é observando sua chama quando sua temperatura de funcionamento está estabilizada (queimador aquecido). Uma quantidade de ar primário em excesso produz uma chama com um azul muito vivo e com um tamanho menor, comparada a uma chama com uma quantidade de ar menor. Com a falta de ar primário, a chama apresenta uma coloração amarela na sua extremidade (pontas amarelas) e tem um tamanho maior, comparada com outras que contém uma quantidade maior de ar primário. Desta forma ajusta-se a captação de uma forma a não produzir os efeitos extremos apresentados acima. Para comprovar se a regulagem prática realizada não propiciou uma quantidade de ar em excesso, resfria-se o queimador à temperatura ambiente e então acende-se novamente o mesmo. Se este não acender-se rapidamente em menos de 5 segundos, e/ou sua chama não estabilizar-se em 1 minuto, pode haver excesso de ar primário. Neste caso um novo ajuste deve ser feito. Este procedimento de ajuste iterativo é útil para uma regulagem da chama, quando não se possui equipamentos para se comprovar a qualidade da regulagem.
- os gases manufaturados apresentam uma coloração mais rarefeita em relação às outras famílias de gases, seguido pela família do gás natural e por último a família do gás liquefeito.

6- CONCLUSÕES

6.1 - CONCLUSÕES DESTE TRABALHO:

Ao se comparar os valores encontrados pela equação proposta de perda de carga no injetor e registro e os valores de vazão encontrados, conclui-se que a equação apresentou um erro máximo de 9,1 %. Mostrando que o equacionamento proposto é válido para orientar um novo projeto.

A relação proposta para a definição do venturi, responsável pela captação de ar primário é válida para a maioria dos casos analisados. Deve-se analisar o formato do tubo que contém o venturi, rugosidade interna e outros fatores que podem afetar o resultado de uma peça seguindo o equacionamento proposto. Um ajuste no coeficiente "0,45" pode ser necessário para um novo caso analisado.

Constata-se que ao elevar a trempe, o queimador recebe mais ar secundário, porém perde em rendimento. Existe uma correlação entre queimador e distância da panela, que é inerente ao projeto do queimador.

Constata-se também que ao elevar a trempe juntamente com o queimador, também se atinge um ponto ótimo com excelente captação de ar secundário e rendimentos elevados. Se elevar além deste ponto, ocorre a perturbação da chama por estar mais exposta a correntes de ar do meio.

Comprova-se assim que a distância da chama ao queimador, e o tipo de gás queimado, é fundamental para a temperatura que atinge o queimador durante seu funcionamento.

Constata-se que a planilha de cálculo proposta para o tamanho das portas de saída de um queimador é válida para alguns tipos de formatos externos e internos de queimadores de mesa. Ela é orientativa, porém os seguintes fatores influem na definição de um queimador:

- o formato externo do queimador.
- a distância entre as portas.
- a presença de CO₂ no ar primário e secundário.
- a profundidade do canal de saída do gás das portas de um queimador.
- a distância entre o queimador e a panela.
- o ângulo de saída da chama.
- o tamanho externo do queimador.
- o formato interno do queimador.

Constata-se com este trabalho que quando abordamos a combustão de um queimador de fogão, estamos abordando todos os itens e fatores que afetam a queima.

A realização deste trabalho foi importante por dar esta visão macro de todos os fatores e itens envolvidos. Que ele sirva de base para novos trabalho no futuro.

Segue abaixo na tabela 5 as recomendações técnicas para um sistema de combustão da mesa de um fogão:

TABELA 5: Resumo das especificações

Item	Recomendações
Registro	1) $Q_{\text{mínimo}} > Q$ para condição limite para apagamento com corrente de ar e retorno de chama 2) $Q_{\text{máximo}} > Q$ para suprir o injetor e não afetar a especificação de potencial deste.
Tubo Venturi	Dimensões: 1) Área da garganta = 30-60% da área total de saída do queimador (preferencialmente 45%). 2) Distância entre Injetor e Garganta = $1 - 1,5 \times D_{\text{garganta}}$ 3) Tamanho total do venturi = $6 \times D_{\text{garganta}}$
Queimador	1) profundidade das portas = 2 - 3 x diâmetro equivalente destas 2) Quantidade de portas deve ser proporcional a potência, respeitando o passo necessário para propagação das chamas (vide tabela 1)
Trempe	1) Devem proporcionar uma distância razoável entre queimador e panela (vide tabela 4). 2) Os arames não devem entrar em contato com as chamas.

Constata-se que existe pouco material técnico sobre queimadores de fogões domésticos. A falta de interesse até o presente momento se deve ao fato do usuário de fogões não se importar com a eficiência dos queimadores, fator que motivaria os fabricantes de fogões a aperfeiçoar seus sistemas. A falta de interesse do usuário se deve a falta de informação dos produtos, e principalmente, da compreensão de como isto afeta sua vida. Melhor rendimento significa economia de combustível. Este tipo de conceito não é de conhecimento geral entre os usuários e pesa muito pouco na aquisição de um fogão. Preço, apresentação e formato externo afetam muito mais a escolha de compra.

Este panorama está mudando no Brasil pela iniciativa do governo em promover programas de racionalização do uso de derivados de petróleo e gás natural, que vem sendo desenvolvindo, através da Petrobrás, INMETRO, COMGAS, entre outros, e em conjunto com os fabricantes de fogões, uma etiqueta informativa do rendimento dos queimadores de mesa e consumo de manutenção do forno. O sistema de etiquetagem será voluntário. A partir de sua implementação no mercado, existe a idéia de premiar os produtos de maior rendimento energético. Este fato pode motivar o desenvolvimento tecnológico na área de queimadores de mesa de fogões domésticos.

6.2 - SUGESTÕES PARA NOVAS PESQUISAS:

Pesquisas com queimadores de alta eficiência energética realizadas pela AGA, demonstram que os queimadores cerâmicos porosos atingem um rendimento maior que os queimadores convencionais. O fluxo de gás passa pelos poros da placa e a combustão ocorre a alguns milímetros da superfície externa. Pela radiação da chama, o material cerâmico fica incandescente. Acreditava-se que o aumento da eficiência era devido à radiação de calor do cerâmico. Porém, segundo a AMERICAN GAS ASSOCIATION (1967), constatou-se que o aumento da eficiência se deve à radiação da própria chama. Como neste queimador a chama é constituída de pequenos cones, a somatória das áreas da superfície externa das chama é maior desta maneira do que se houvesse um número de chamas menor, porém maiores em tamanho. Existe uma dificuldade em trabalhar com estes tipos de queimadores pela fragilidade do cerâmico e também pela proteção que o queimador deveria ter para evitar a queda de alimentos. Porém, o conceito de aumento da área de exposição das chamas pode ser estudado em queimadores convencionais, existentes no mercado.

Segundo IAYA (1992), este queimador de placa porosa não somente aumenta a taxa de combustão por aumento da circulação do calor para um gás não combustível assim como o calor é conduzido através da fase sólida facilitando a formação de um intenso campo de radiação no queimador de placa porosa e nos canais de saída do gás no queimador.

Se um cone de combustão pode ser formado próximo à superfície de um sólido poroso, a superfície deste sólido deveria se tornar muito quente, com o aumento do calor radiante que está envolvido, aumentando a transferência de calor, desse modo possibilitando um aparato de combustão mais compacto a ser desenhado.

Um grande número de problemas está associado com a aplicação industrial deste queimador de placa porosa, relacionados com a estabilidade e configuração da combustão, e as características desejadas de tais queimadores ainda não foram totalmente alcançadas.

Para novos trabalhos sugere-se também uma nova abordagem para o projeto considerando-se a taxa de reação de queima e a análise dos componentes da chama.

Outra abordagem seria o estudo da relação entre o ar primário e secundário necessário para a queima de um determinado gás.

Outra abordagem seria um estudo da área total das portas de saída de um queimador e o gás que está sendo utilizado na combustão. Hoje praticamente todos os produtos fabricados no Brasil saem das fábricas preparados para funcionar com gás GLP. Após a venda e dependendo da cidade, o produto é convertido para GN ou GM. Nessa conversão não é substituído o queimador, ou seja, o queimador existente hoje é adequado basicamente para o GLP e procura-se ajustar da melhor maneira possível o ar primário, potência nominal e mínima para fazer com que o queimador existente funcione adequadamente com estes outros gases. Não existe um projeto dedicado de queimador desenvolvido

para GN e GM. Para o GM não se justifica, pois será extinto nos próximos anos no Brasil, mas para o GN é o inverso. Com a ampliação do uso de GN prevista, certamente se justifica um queimador dedicado a este gás.

Sabemos que o GN tende a apresentar soprimento, portanto provavelmente teríamos uma queimador com uma quantidade de área total maior do que aquele necessário para o GLP. O inverso ocorre para o GM que tende a apresentar retorno de chama devido a sua maior velocidade de chama.

Foi realizado um estudo sobre o GLP existente hoje no mercado e o impacto do funcionamento de um queimador de fogão doméstico (vide Apêndice 1). Sugere-se um estudo mais profundo que pode redefinir a especificação do GLP existente hoje, com o intuito que apresentar um gás de melhor qualidade para o usuário.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGENCE FRANÇAISE POUR LA MAITRISE DE L'ENERGIE. (1986) La methanisation des fumiers: guide pratique pour l'autoconstruction. França, p. 96.
- ALM, S. et al. (1994). Personal exposures of preschool children to carbon monoxide: roles of ambient air quality and gas stoves. *Atmospheric Environment*, v. 28, n.22, p.3577-3580.
- AMERICAN GAS ASSOCIATION. (1967). *Gas engineers handbook*. New York, Industrial Press. Cap.5, seção 2, p. 2/46-2/99: Combustion of gas .
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1996). *NBR 13723-1 – Aparelho doméstico de cocção a gás – parte 1: desempenho e segurança*. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1996). *NBR 13723-2 – Aparelho doméstico de cocção a gás – parte 2: uso racional de energia*. Rio de Janeiro.
- BIER, E. (1986). Gás natural, uma nova solução para combustível automotivo no Brasil. *Energia*, v. 8, n. 45/46, set/out., p. 13 - 14.
- BRAKER, W.; MOSSMAN, A. L. (1971). *Matheson gas data book*. Wisconsin. /Catálogo da empresa MATHESON GAS PRODUCTS /.
- CHIGIER, N. (1981). *Energy, combustion, and environment*. New York, McGraw-Hill.
- CLIFFORD, E.A. (1973). *A Practical guide to LP-gas utilization*. New York, Harcourt Brace Jovanovich.. (LP-Gas Service & Installation Handbook).
- FILHO, E.B. (1988). *Seleção de materiais metálicos*. Campinas, UNICAMP.
- FOX, R.W. ; McDONALD, A. T. (1985). *Introdução à mecânica dos fluidos*. Trad. por P. Silvestre. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan.
- GÁS natural no Brasil. (1986). *Energia*, v. 8, n. 45/46, p. 18- 24.
- GLASSMAN, I. (1977). *Combustion*. New York, Academic Press.
- GOLDEMBERG, J; BROWN, R. I. (1974). Cooking stoves: the state of the art. /Relatório Técnico do Instituto de Física da Universidade de São Paulo – USP/.
- HOLMAN, J.P. (1983). *Transferência de calor* . Trad. por Luiz Fernando Milanez. . São Paulo, McGraw-Hill.
- HOSKINS, R.A. (1977). Energy use and cost analysis for gas and electric ranges. /Relatório Técnico da empresa Oak National Laboratory operated by Union Carbide Corporation – Nuclear Division/.
- ITAYA, Y.; MIYOSHI, K.; MAEDA, S.; HASATANI, M. (1992). Surface combustion of a premixed methane-air gas on a porous ceramic. *International Chemical Engineering*, v.32, n.1, p.123-131.

- JARVIS, D.J. (1993). Appliance distribution and marketing: essential for the global growth of natural gas. *Gas Engineering & Management*, p. 218-224, Sept.
- JONES, H.R.N. et al. (1994). Burner inserts for reducing NO_x emissions from methane flames. *Journal of the Institute of Energy*, v.67, p.168-173, Dec.
- KUO, K. K. (1986). *Principles of combustion*. New York, Wiley-Interscience.
- MODELL, M.; REID, R.C. (1983). *Thermodynamics and its applications*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall.
- MAHAN, B.M.; MYERS, R.J. (1995). *Química: um curso universitário*. Trad. por Henrique E. Toma e outros. 4.ed. São Paulo, Edgard Blücher.
- NISHIOKA, M. et al. (1994). NO emission characteristics of methane-air double flame. *Combustion and Flame*, v.98, p. 127-138.
- O Mercado para gás natural no estado de São Paulo. (1986). *Energia*, v. 8, n. 45/46, p. 26-31.
- SANTOS A. M. Queimadores a gás com ar induzido - Teoria e projeto. Departamento de Engenharia Mecânica - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Carlos. São Carlos, janeiro de 1990, publicação 004/90.
- SEARS ROEBUCK AND COMPANY. (1977). *Basics of combustion and venting: S-13*. /Apostila de curso/.
- VAN WYLEN, G.J.; SONNTAG R.E. (1976). *Fundamentos da termodinâmica clássica*. Trad. por Eitaro Yamane e outros. 2.ed. São Paulo, Edgard Blücher.
- WILLIAMS, A.; WOOLLEY, R.; LAWES, M. (1992). The formation of NO_x in surface burners. *Combustion and Flame*, v.89, p.157-166.

8 – BIBLIOGRAFIA

- AMERICAN GAS ASSOCIATION. (1967). *Gas engineers handbook*. New York, Industrial Press. Cap.5, seção 2, p. 2/46-2/99: Combustion of gas .
- AMERICAN GAS ASSOCIATION LABORATORIES. (s.d.). Analysis of design options for reducing the energy consumption of residential gas ovens. Ohio.
- BADR, O. A., ELSAYED, N., KARIM, G.A. An investigation of the lean operational limits of gas-fueled spark ignition engines. *Journal of Energy Resources Technology*, vol 118, pp 159-163, 1996.
- BELOV, N.A. Exact solutions and numerical analysis of the problem of an intense explosion in certain ideal compressible media. *Prikl. Matem. Mekhan.*, 53,4, 684-688, 1989.
- BOLK, J.W.; SICCAMO N.B.; WESTERTERP, K.R. F(1996) Flammability Limits in Flowing Ethene-air-Nitrogen Mixtures: an experimental study. *Chemical Engineering Science*, v.51, n.10, p.2231-2239.
- BRÖCKERHOFF, P.; EMONTS, B. (1994). Test of a premixing radiant burner for the low NO_x combustion of natural gas/hydrogen mixtures. *International Journal Hydrogen Energy*, v. 9, n.4, p.395-398.
- CANU, P., ROTA R., CARRÃ, S. Vented gas deflagrations. A detailed mathematical model tuned on a large set of experimental data. *Combustion and Flame*, vol 80, pp 49-64, 1990.
- CHOMIAK, J. (1989). *Combustion: a study in theory, fact and application*. New York, Gordon and Breach Science. (Energy and Engineering Science Series).
- CHARON, O.; JOUVAUD, D.; GENIES, B.(1993). Pulsated O₂ /fuel flame as a new technique for low NO_x emission. *Combustion Science and Technology*, v.93, p.211-222.
- CHARTER DESENVOLVIMENTO T TREINAMENTO. (1993). *Combustão e combustíveis industriais*. São Paulo. /Apostila de curso/.
- CHEN, Z.H., SOHRAB, S.H. (1995). Flammability limit and limit-temperature of counterflow lean methane-air flames. *Combustion and Flame*, v.102, n.112, p.193-199.
- CHEW, T.C.; BRITTER, R.E. (1992). Effect of flame-induced geometrical straining on turbulence levels in explosions and common burner configurations. *International Journal of Engineering Sciences*, v.30, n.8, p.983-1002.
- CHOMIAK, J.; LONGWELL, J.P.; SAROFIM, A.F. (1989). Combustion of low calorific value gases; problems and prospects. *Prog. Energy Combust. Sci.*,v.15, p.109-129.
- COMEÇA no Recife a era do gás natural. (1986). *Energia*, v. 8, n. 45/46, p. 15- 16.
- COMGÁS. (1974). Esquemas de alimentação de queimadores. São Paulo. /Apostila do curso de instalações industriais de gás combustível/.

- COMGÁS. (1974). Detetores de Chama. São Paulo. /Apostila de curso/.
- COMGÁS. (1974). Controles sequenciais e programadores. São Paulo. /Apostila do curso de instalações industriais de gás combustível/.
- DERR, D. (1993). Radiation processing: what is it? where is it going?. *ASTM Standardization News*, v. 21, n.7, p. 5-27.
- DOBREGO, K.V., ZHDANOK, S.A. Multipoint ignition of an optically radiating transparent gas. *Combustion, explosion and shock wave*, vol. 25, no. 3, pp 274-279, 1989.
- EFENDIEV, T.B. Investigating and flame propagation limits of hydrogen. *Thermal Engineering*, vol 35 no. 6, pp 331-332, 1988.
- EL-FEKY, S.M.S.; PENNINGER, A. (1994). Enhancement of flammability limits of the natural gas by the use of bluff body. *Periodica Polytechnica Ser. Mech. Eng.*, v.38, n.1, p.47-59.
- FOGÕES A GÁS DE USO DOMÉSTICO - NORMA RUSSA - GOST P 50696 - 94.
- FENDELL, F.E.; et al. (1994). Diffusion-flame burning of fuel-vapor pockets in air. *Combustion and Flame*, v. 98, p. 180-196.
- FISHER, D. (1993). Cooking appliance performance. *ASTM Standardization News*, v.21, n.7, p. 28-35.
- GONTKOVSKAYA, V.T., GORDOLOVA, I.S., OZERKOVSKAYA, N.I., PEREGUDOV, A.N. Application of the method of exponential multipliers to process experimental data on a thermal and electrothermal explosion. *Combustion, explosion and shock waves*, vol 25, no. 5, pp. 614-620, 1989.
- GOYAL, G., MAAS, U., WARNATZ, J. Simulation of the behavior of rich hydrogen-air flames near the flammability limit. *Combustion Science and Technology*, vol 105, no. 4-6, 183-193, 1995.
- HE, L.; CLAVIN, P. (1993). Premixed Hydrogen-Oxygen flames. Part II: Quasi-isobaric ignition near the flammability limits. *Combustion and Flame*, v. 93, n.4, p.408-420.
- HERTZBERG, M. (1984). The theory of flammability limits: flow gradient effects and flame stretch. *Bureau of Mines Report of Investigations*, (RI 8865, p.1-31).
- HOVSENIUS, P. G. (1970). Design of the flame ports of gas burners for flame stability. *Journal of the Institute of Fuel*, v. 2, p. 17-20, jan.
- JACOBSEN, L. et al. (1997). EP-07: Improvement of efficiency measurement methods for domestic boilers. In: IGU- WORLD GAS CONFERENCE PROCEEDINGS, Copenhagen. Proceedings. p. 1-11.
- JARVIS, D.J. (1993). Appliance distribution and marketing - Essential for the global growth of natural gas. *Gas Engineering & Management*, p.218-224.
- JATARINOU, V. (1951). The aerodynamic basis for gas burner design. *Steel Processing*, v. 37, n. 4, p. 189-191.
- JONES, H.R.N.; PATTERSON, G.E.; PEPLINSKI, T.; WAKEFIELD, S.R.; WILSON, J.G. (1994). Burner inserts for reducing NO_x emissions from methane flames. *Journal of the Institute of Energy*, v.67, p.168-173.

- KANDPAL, J.B.; MAHESHWARI, R.C.; KANDPAL, T.C. (1994). Air pollution from biomass combustion in domestic cookstove. *Renewable Energy*, v.4, n.5, p. 545-549.
- KANDPAL, J.B.; MAHESHWARI, R.C.; KANDPAL, T.C. (1994). Comparison of CO, NO₂ and HCHO emissions from biomass combustion in traditional and improved cookstoves. *Energy*, v.19, n.11, p. 1151-1155.
- KANDPAL, J.B.; MAHESHWARI, R.C.; KANDPAL, T.C. (1994). Release of air pollutants in indoor air: comparison of traditional and metallic cookstoves. *Renewable Energy*, v.4, n.7, p. 883-837.
- KLOECKNER INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA. (s.d.). *Combustão dos tópicos referentes a gás.* /Apostila de curso/.
- KOSTOGOROV, E.P., PANIN, A.N., SHTESSEL, E.A. Thermal explosion upon exponential change in the temperature of the surrounding medium. *Combustion, explosion, and shock waves*, vol 25, n3, pp 326-329, 1989.
- KRAINOV, A.YU. Influence of thermophysical characteristics of an inert obstacle and heat losses on combustion wave propagation. *Combustion, explosion, and shock waves*, vol 23, no. 6, pp 676-679, 1987.
- LEE, S.D.; CHUNG, S.G. (1994). On the structure and extinction of interacting lean methane/air premixed flames. *Combustion and Flame*, v.98, p.80-92.
- LÉONARD, S. et al. (1994). Generation of CO and smoke during underventilated combustion. *Combustion and Flame*, v.98, p. 20-34.
- MADDOGLU, K.; KARAGOZIAN, A. R. (1994). Brief communication: a simplified approach to transient convective droplet evaporation and burning. *Combustion and Flame*, v. 87, p. 170-174.
- MILOV, D. (1994). Comment on chemical efficiency of combustion as reported by Tewarson et al. *Combustion and Flame*, v.98, p.172-175.
- NORMA CHILENA OFICIAL - NCh 927/1. Of. 97 - Artefatos de uso doméstico para cocinar, que utilizan combustibles gaseosos - Part1: Requisitos generales de fabricación y método de ensayo.
- NISHIOKA, M.; NAKAGAWA, S.; ISHIKAWA, Y.; TAKENO, T. (1994). NO Emission Characteristics of Methane - Air Double Flame. *Combustion and Flame*, v.98, p.127-138.
- PALMER, H. B.; BEÉR, J. M. (1974). *Combustion technology: some modern developments*. New York, Academic Press.
- PEARL, T.E. et al. (1993). Radiative heat transfer augmentation in gas-fired radiant tube burners by porous inserts: effects of insert geometry. *Experimental Heat Transfer*, v.6, p. 273-286.
- PETROBRÁS – REFAP. (1993). *Levantamento de dados sobre queimadores de mesa de fogões domésticos.* /Carta contrato n. 240-3-006-92/.
- SADAKATA, M.; HIRISE, Y. (1994). Scaling law for pollutant emission from a combustion furnace. *Fuel*, v.73, n.8, p. 1338-1342.
- SUBRAMANIAM, T.K.; CANGELOSI, J.V. (1989). Predict safe oxygen in - be more confident that process equipment is ready for maintenance work.. *Chemical engineering*, v. 96, n.12, p.108-113.
- SWINDIN, N. (1990). British experience with low-grade city gas. *Chemical & Metallurgical Engineering*, v.37, n.11, p.680.

- TEWARSON, A. (1994). A response to "Comment on chemical efficiency of combustion as reported by Tewarson et al." *Combustion and Flame*, v. 98, p.177-178.
- TORREGGIANI, T. (1992). Developments of domestic and industrial gas burners. *La Rivista dei Combustibili*, v. 46, fasc.7-8, Jul-Ago.
- UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Escola de Engenharia de São Carlos. Departamento de Engenharia Mecânica. (1990). *Queimadores à gás com ar induzido: teoria e projeto*. São Carlos. (Pub.004/90).
- VIERSTRA, S.; PENTERSON, C. (1995). Low-NO_x burner retrofit reduces major boiler alterations. *Power*, n.8, p. 48-50, feb.
- WILLIAMS, B.A.; FLEMING, J.W. (1994). Comparative Species Concentrations in CH₄/ O₂ /Ar - Flames doped with N₂O, NO and NO₂. *Combustion and Flame*, v.98, p.93-106.
- WILLIAMS, A.; WOOLLEY, R. ; LAWES, M. (1992). The formation of NO_x in surface burners. *Combustion and Flame*, v.89, p.157-166.
- WOHLENBERG, W.J. (1930). Combustion radiation and the planck quantum theory. *Mechanical Engineering*, v. 52, n. 9, p. 852-854.
- (1930) . Combustion radiation and the planck quantum theory. *Mechanical Engineering*, v. 52, n. 10, p. 915-918.
- (1930). Combustion radiation and the planck quantum theory. *Mechanical Engineering*, v. 52, n. 11, p. 981-983.
- (1930). Combustion radiation and the planck quantum theory. *Mechanical Engineering*, v. 52, n. 12, p. 1075-1080.

ANEXOS

ANEXO 1 : EQUAÇÕES DA COMBUSTÃO PARA VÁRIOS GASES

Metano:

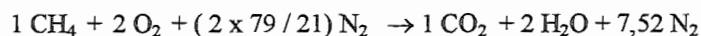
Fórmula: CH₄

Peso Molecular: 16,04

Densidade absoluta: 0,72 g/l nas CNTP

Densidade relativa: 0,5549

PCS: (60 graus F e 1 atm) $9 \text{ cal/cm}^3 = 9000 \text{ kcal/m}^3$



1 + 9,52 → 1 mol de metano necessita de 9,52 moles de ar

16,04 + 9,52 x 28,97 → 1 kg de metano necessita de 17,19 kg de ar

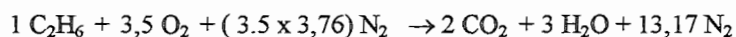
Etano:

Fórmula: C₂H₆

Peso Molecular: 30,07

Densidade relativa: 1,047

PCS: 15,87 cal/ cm³



1 + 16,66 → 1 mol de etano necessita de 16,66 moles de ar

30,07 + 16,66 x 28,97 → 1 kg de etano necessita de 16,05 kg de ar

Eteno (ou etileno):

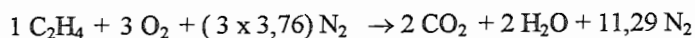
Fórmula: C₂H₄

Peso Molecular: 28,054

Densidade absoluta: 1,260 g/l nas CNTP

Densidade relativa: 0,974

PCS: 14,3 cal/ cm³



1 + 14,29 → 1 mol de eteno necessita de 14,29 moles de ar

28,054 + 14,29 x 28,97 → 1 kg de eteno necessita de 14,75 kg de ar

Etino (ou acetileno):

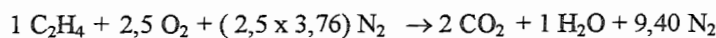
Fórmula: C_2H_2

Peso Molecular: 26,038

Densidade absoluta: 1,1709 g/l nas CNTP

Densidade relativa: 0,9057

PCS: 13,2 cal/ cm^3



1 + 11,90 → 1 mol de etino necessita de 11,90 moles de ar

26,038 + 11,90 x 28,97 → 1 kg de etino necessita de 13,24 kg de ar

82,03 kg de Etino produz 1000 kcal e necessita de 1086,08 kg de ar

Propano:

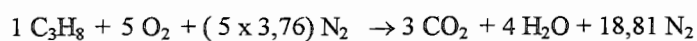
Fórmula: C_3H_8

Peso Molecular: 44,096

Densidade absoluta: 1,97 g/l nas CNTP

Densidade relativa: 1,5503

PCS: 22,8 cal/ cm^3



1 + 23,81 → 1 mol de propano necessita de 23,81 moles de ar

44,097 + 23,81 x 28,97 → 1 kg de propano necessita de 15,64 kg de ar

81,29 kg de Propano produz 1000 kcal e necessita de 1271,56 kg de ar

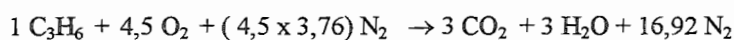
Propeno (ou propileno):

Fórmula: C_3H_6

Peso Molecular: 42,079

Densidade relativa: 1,476

PCS: 21,1 cal/ cm^3



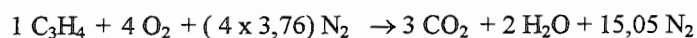
1 + 21,43 → 1 mol de propeno necessita de 21,43 moles de ar

42,079 + 21,43 x 28,97 → 1 kg de propeno necessita de 14,75 kg de ar

Propino (ou metil acetileno):Fórmula: C_3H_4

Peso Molecular: 40,065

Densidade relativa: 1,411

PCS: 19,95 cal/ cm^3 

1 + 19,05 → 1 mol de propino necessita de 19,05 moles de ar

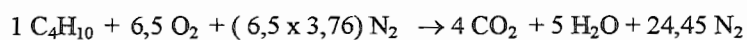
40,065 + 19,05 x 28,97 → 1 kg de propino necessita de 13,77 kg de ar

84,55 kg de Propino produz 1000 kcal e necessita de 1164,64 de ar

Butano:Fórmula: C_4H_{10}

Peso Molecular: 58,124

Densidade relativa: 2,076

PCS: 30,0 cal/ cm^3 

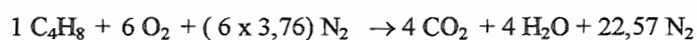
1 + 30,95 → 1 mol de butano necessita de 30,95 moles de ar

58,124 + 30,95 x 28,97 → 1 kg de butano necessita de 15,43 kg de ar

1-Buteno:Fórmula: C_4H_8

Peso Molecular: 56,11

Densidade relativa: 1,9982

PCS: 28,3 cal/ cm^3 

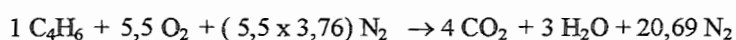
1 + 28,57 → 1 mol de buteno necessita de 28,57 moles de ar

56,11 + 28,57 x 28,97 → 1 kg de buteno necessita de 14,75kg de ar

1-Butino (ou etil acetileno):Fórmula: C_4H_6

Peso Molecular: 54,09

Densidade relativa: 1,966

PCS: 27,6 cal/ cm^3 

1 + 26,19 → 1 mol de butino necessita de 26,19 moles de ar

54,09 + 26,19 x 28,97 → 1 kg de butino necessita de 14,02 kg de ar.

TABELA 6: PROPRIEDADE DOS GASES PUROS

GÁS	FÓRMULA	PESO MOLECULAR	PODER CALORÍFICO SUPERIOR (60 ° F e 1 atm)	DENSIDADE RELATIVA	COMBUSTÍVEL / ENERGIA** (1000 kcal)	AR/ ENERGIA* (1000 kcal)
Metano	CH ₄	16,043	9 cal/cm ³	0,5549	73,71 kg	1267,38 kg
Etano	C ₂ H ₆	30,07	15,87 cal/ cm ³	1,047	78,87 kg	1265,91 kg
Eteno	C ₂ H ₄	28,054	14,3 cal/ cm ³	0,974	81,43 kg	1201,63 kg
Etino	C ₂ H ₂	26,038	13,2 cal/ cm ³	0,9057	82,03 kg	1086,08 kg
Propano	C ₃ H ₈	44,096	22,8 cal/ cm ³	1,5503	81,29 kg	1271,56 kg
Propeno	C ₃ H ₆	42,079	21,1 cal/ cm ³	1,476	83,63 kg	1233,86 kg
Propino	C ₃ H ₄	40,065	19,95 cal/ cm ³	1,411	84,55 kg	1164,64 kg
Butano	C ₄ H ₁₀	58,124	30,0 cal/ cm ³	2,076	82,73 kg	1276,19 kg
Buteno	C ₄ H ₈	56,11	28,3 cal/ cm ³	1,9982	84,41kg	1245,12kg
Butino	C ₄ H ₆	54,09	27,6 cal/ cm ³	1,966	85,15 kg	1194,55 kg

* esta é a relação de quanto é necessário de ar para se obter, com uma queima estequiométrica, 1000 kcal = 1,16 kW

** esta é a relação de quanto é necessário de combustível para se obter, com uma queima estequiométrica, 1000 kcal = 1,16 kW

Um fato que chama a atenção é o comparativo da necessidade de ar para o metano e butano serem praticamente iguais na queima estequiométrica e na prática o butano necessita de uma abertura maior para captação de ar primário. É que o gás natural, nas condições de alimentação e devido sua densidade, propicia uma velocidade de injeção maior que o butano, otimizando a captação do ar primário.

ANEXO 2 – ÍTENS DA NORMA REFERENTES A QUEIMADORES DE MESA DESCOBERTOS

A) ITENS DA NBR 13723-1:

6.1.2 Obtenção das potências

6.1.2.1 Obtenção da potência nominal

Sob as condições de ensaio especificadas em 7.5.1.3.1, cada um dos queimadores, alimentados separadamente, devem ser capazes de fornecer a potência nominal indicada nas instruções de utilização.

Entretanto, para queimadores não equipados com ajustadores de vazão de gás, a potência obtida com cada um dos gases indicados em 7.5.1.3.1.1 não deve variar em $\pm 5\%$ da potência nominal, mas esta tolerância pode ser estendida para $\pm 10\%$ para queimadores equipados com injetores que tenham um diâmetro igual ou inferior a 0,5mm.

Quando um aparelho pode funcionar com várias famílias de gases, a potência nominal do queimador não precisa ser idêntica para todas as famílias de gases.

6.1.2.2 Obtenção da potência mínima

Sob as condições de ensaio em 7.5.1.3.2, a potência mínima declarada pelo fabricante nas instruções de utilização, para cada queimador, não pode ser excedida.

As vazões mínimas podem ser tanto fixas (por orifício calibrado) quanto ajustáveis de acordo com a categoria do aparelho e o grupo de gás usado.

6.1.4 Segurança de operação

6.1.4.1 Resistência ao superaquecimento

Após os ensaios descritos em 7.5.1.5.1, os queimadores não devem apresentar deterioração que possa prejudicar o desempenho.

6.1.4.1 Resistência ao superaquecimento

Após os ensaios descritos em 7.5.1.5.1, os queimadores não devem apresentar deterioração que possa prejudicar o desempenho.

6.1.4.2 Escape de gás não queimado

6.1.4.2.1 Quando um queimador composto de várias partes trabalha sob as condições de ensaio descritas em 7.5.1.5.2.1, não deve haver vazamento de qualquer quantidade de mistura ar/gás inflamável nas juntas da montagem.

6.1.4.2.2 Quando um queimador trabalha sob as condições de ensaio descritas em 7.5.1.5.2.2, não deve haver acúmulo perigoso de gás não queimado dentro do corpo do aparelho.

6.1.7 Vazão total do aparelho

Sob as condições de ensaio definidas em 7.5.1.8, a vazão total do aparelho, com todos os registros na posição totalmente aberta, não deve ser mais de 10% abaixo da soma das vazões individuais dos diferentes queimadores alimentados separadamente sob as mesmas condições.

6.2. Mesas

6.2.1 Segurança de operação

Quando os queimadores da mesa são acesos nas condições de 7.5.2.1.1, o acendimento e a propagação da chama devem ocorrer sem ruído excessivo dentro de 5s do giro do manípulo para a posição máxima.

Após a ignição sob estas condições, as chamas devem permanecer estáveis. Uma leve tendência para o descolamento da chama é permitida na ignição, mas as chamas devem ficar estáveis 60s após a ignição.

Quando os registros são colocados na sua posição de vazão mínima sob as condições de 7.5.2.1.1, as chamas dos queimadores da mesa não devem dar retorno de chama nem devem se extinguir.

Quando uma porta de forno ou outras do aparelho são abertas e fechadas sob as condições de 7.5.2.1.1, as chamas dos queimadores da mesa não devem dar retorno de chama nem devem se extinguir.

Quando os queimadores da mesa são alimentados com gás limite de combustão incompleta sob as condições de ensaio definidas em 7.5.2.1.1.3, pontas amarelas são permitidas, se isto não causar deposição de fuligem 10min após o recipiente de ensaio ter sido colocado sobre o queimador.

Além disso, as chamas dos queimadores da mesa ou pilotos não podem se extinguir sob as condições de ensaio definidas em 7.5.2.1.2 e 7.5.2.1.3.

Entretanto, o ensaio de 7.5.2.1.2 não deve ser realizado se o queimador é equipado com dispositivo supervisor de chama.

As chamas dos queimadores da mesa devem permanecer estáveis quando o forno e/ou grelhadeira por irradiação estiverem em funcionamento.

6.2.2 Combustão

Para cada um dos queimadores da mesa trabalhando separadamente (ensaios 1,2 e 3) ou simultaneamente (ensaio 4), a quantidade de $(CO)_N$ nos produtos da combustão livres de excesso de ar e vapor de água não deve exceder os valores indicados na tabela 5.

As condições de ensaio são especificadas em 7.5.2.2.

Tabela 7– Quantidade de $(CO)_N$ nos produtos da combustão (transcrição da tab. 5 NBR13723-1)

Ensaio N°	Queimadores em operação	Gás utilizado	Posição do manípulo (vazão)	Pressão de ensaio	% máxima de $(CO)_N$
1	Cada queimador individualmente	Gás de referência	Máxima	Máxima	0,10 ²⁾
2	Cada queimador individualmente	Gás de referência	Posição correspondente ½ vazão nominal	Nominal	0,15
3	Cada queimador individualmente	Gás limite de combustão incompleta	Máxima	Máxima	0,15
4	Todos os queimadores da mesa ¹⁾ e , se possível, forno e/ou grelhadeira por irradiação simultaneamente	Gás de referência	Máxima	Nominal	0,20

¹⁾ Operação simultânea do forno e da grelhadeira por irradiação se elas estão em compartimentos separados. Operação sucessiva se eles estão no mesmo compartimento.
²⁾ Para terceira família, este valor é de 0,15% $(CO)_N$.

7.1.1 Composição dos gases de ensaio

A composição dos gases usados para os ensaio deve ser o mais próximo possível daqueles indicados na tabela 6. A composição destes gases deve estar de acordo com as seguintes regras:

- o índice de Wobbe do gás usado deve estar dentro de $\pm 2\%$ do valor indicado na tabela 6 para o gás de ensaio correspondente;
- os gases usados na mistura devem Ter os seguintes graus mínimos de pureza:

nitrogênio N_2 : 99%

hidrogênio H_2 : 99%

metano CH_4 : 95%

propeno C_3H_6 : 90%

propano C_3H_8 : 95%

butano C_4H_{10} : 95%

com a quantidade total de H_2 , CO e O_2 abaixo de 1% e a quantidade total de N_2 e CO_2 abaixo de 2%

Entretanto, estes requisitos não são obrigatórios para cada componente, se a mistura final é de composição idêntica àquela de uma mistura que poderia ser obtida se os componentes indicados acima tivessem sido usados. Para preparar a mistura, um gás já contendo diversos componentes da mistura final em proporções convenientes pode ser usado como ponto de partida.

Tabela 8 - Características dos gases de ensaio (transcrição da tabela 6 da NBR 13723-1)

Família	Gases de ensaio	Designação	Composição em volume %	PCS ¹⁾ MJ/m ³ (kcal/m ³)	Índice de Wobbe ²⁾ MJ/m ³ (kcal/m ³)	Densidade relativa de massa (ar = 1)
Primeira família	Referência	G10	H ₂ (37),CH ₄ (30),N ₂ (33)	16,6 (3976)	23,3 (5563)	0,511
	Limite de combustão incompleta	G11	H ₂ (38),CH ₄ (32),N ₂ (30)	17,6 (4196)	25,0 (5972)	0,494
	Limite de retorno de chama	G12	H ₂ (39),CH ₄ (27),N ₂ (34)	15,7 (3752)	22,0 (5278)	0,505
Segunda família	Referência e limite de descolamento de chama	G20	H ₂ (2),CH ₄ (88) C ₃ H ₈ (10)	45,2 (10812)	56,4 (13489)	0,643
	Limite de combustão incompleta	G21	CH ₄ (81),C ₃ H ₈ (19)	51,2 (12233)	59,5 (14217)	0,740
	Limite de retorno de chama	G22	H ₂ (10),CH ₄ (85) C ₃ H ₈ (5)	40,1 (9577)	53,8 (12858)	0,555
Terceira família	Referência e limite de combustão incompleta	G30	C ₄ H ₁₀ (100)	128,6 (30722)	90,8 (21686)	2,007
	Limite de descolamento de chama	G31	C ₃ H ₈ (100)	99,2 (23698)	80,4 (19209)	1,522
	Limite de retorno de chama	G32	C ₃ H ₈ (100)	93,7 (22395)	77,9 (18600)	1,450

¹⁾ Medido a 0 °C e 101,3 kPa (1013 mbar).

²⁾ Índice de Wobbe medido sobre PCS.

7.2 Pressões de ensaio

As pressões de ensaio, ou seja, as pressões fornecidas na conexão de entrada de gás do aparelho, são dadas na tabela 9.

Tabela 9 (transcrição da tab. 7 da NBR) – Pressões de ensaio

Natureza dos gases	Pressão nominal kPa (mmH ₂ O)	Pressão mínima kPa (mmH ₂ O)	Pressão máxima kPa (mmH ₂ O)
Primeira família	1,0 (100)	0,4 (40)	1,5 (150)
Segunda família	2,0 (200)	1,5 (150)	2,5 (250)
Terceira família	2,8 (280)	2,0 (200)	3,5 (350)

7.3. Condições de ensaio

A temperatura ambiente para os ensaios deve ser de 20°C±5°C.

Os ensaios definidos em 7.5.1.3, 7.5.1.4.2, 7.5.2.1, 7.5.2.2, 7.5.3.1 e 7.5.3.2 devem ser realizados com o gás de referência.

Para cada um destes ensaios o aparelho deve ser equipado com os injetores correspondentes ao gás de referência e à pressão nominal apropriada. Para todos os ensaios que requeram gases-limite indicados em 7.1, os ensaios são realizados com o injetor e o ajuste correspondente ao gás de referência do grupo ao qual o gás-limite, usado para o ensaio, pertence.

Outros ensaios devem ser realizados somente com um dos gases de referência da categoria ao qual o aparelho pertence (ver 7.1.) na pressão nominal de ensaio dada em 7.2 para gás de referência selecionado. A pressão de ensaio deve sempre ser uma daquelas especificadas nas instruções de utilização e o aparelho deve ser equipado para os ensaios com os injetores correspondentes.

7.3.1. Regulagem do queimador

Para todos os ensaios, o aparelho deve ser equipado com o (s) injetor (es) apropriados(s) para a família ou grupo de gases ao qual o gás de ensaio pertence. A regulagem de ar primário deve ser ajustada de acordo com as instruções de utilização. A menos que seja instruído de forma contrária, uma vez que os ajustes tenham sido feitos com o gás de referência, eles não devem ser alterados para os ensaios nas outras pressões e com os outros gases de ensaios da família ou grupo para o qual o aparelho é equipado e ajustado.

7.3.2 Instalação de ensaio

7.3.2.1 Aparelhos de classe 1

Exceto se especificado nas seções particulares, os ensaios devem ser realizados com o aparelho ajustado para a menor altura especificada nas instruções de instalação do aparelho e colocado na instalação de ensaio como descrito em 7.3.2.1.1 a 7.3.2.1.3.

7.3.2.1.1 Fogões

A instalação de ensaio consiste em painéis verticais, de madeira de 19mm a 25mm de espessura, pintados em preto fosco. Um painel deve ser colocado o mais próximo possível da face traseira do aparelho. Um outro deve ser colocado de um dos lados laterais do aparelho a uma distância igual ao mínimo declarado nas instruções de instalação do aparelho, mas não excedendo 20mm; se as instruções não proibirem, um outro painel deve ser colocado à mesma distância, do outro lado do aparelho.

O(s) painel(is) lateral(is) deve(m) coincidir com o painel traseiro.

Qualquer material de isolamento especificado nas instruções deve ser colocado entre os painéis e o aparelho, de acordo com as instruções de instalação do aparelho.

O painel traseiro deve Ter, pelo menos, 1,80m de altura e largura suficiente para se projetar pelo menos 50mm além dos lados do aparelho.

O(s) painel(is) lateral(is) deve(m) ser da mesma altura que a mesa do aparelho, não levando em consideração a altura das trempes. Entretanto, para um aparelho com uma tampa destinada a ficar na mesma altura de móveis adjacentes, desenvolvidos especificamente para o aparelho quando fechado, o painel lateral deve Ter a mesma altura do aparelho com a tampa fechada. O painel lateral deve ter profundidade suficiente para se projetar 50mm além do frontal do aparelho.

7.5.1.3 Obtenção das potências

7.5.1.3.1 Obtenção das potências nominais

7.5.1.3.1.1 As vazões do injetor devem ser verificadas com o gás de referência ou gases indicados em 7.1.1 e 7.3, dependendo da categoria do aparelho, nas pressões de ensaio apropriadas definidas em 7,2, em acordo com os valores de pressão na placa de identificação do produto (ver 8.1) e utilizando os injetores correspondentes.

O equipamento de leitura deve medir a vazão a ser determinada com uma exatidão de $\pm 1,7\%$.

As medidas devem ser tomadas com o queimador sob as seguintes condições:

- a) queimadores da mesa;
- b) colocar sobre o queimador um recipiente com água, tendo o diâmetro e quantidade de água iguais àqueles indicados em 7.5.1.3.3;
- c) o queimador deve ser operado por 10 min, na vazão máxima;
- d) a medida se inicia ao final de 10 min;

Para queimadores sem ajuste da vazão de gás, a potência deve ser medida para cada gás de referência, alimentando o aparelho à pressão nominal. O valor obtido deve estar de acordo com os requisitos de 6.1.2.1.

7.5.1.3.1.2 A potência nominal P_n , indicada pelo fabricante, é dada por uma das seguintes equações:

$$P_n \text{ (kW)} = 0,278 M_n \text{ (kg/h)} \times \text{PCS (ou PCI) (MJ/kg)}$$

Ou

$$P_n \text{ (kW)} = 0,263 V_n \text{ (m}^3\text{/h)} \times \text{PCS (ou PCI) (MJ/m}^3\text{)}$$

Onde:

M_n é a vazão mássica nominal, em quilogramas por hora, obtida nas condições de referência;

V_n é a vazão volumétrica nominal, em metros cúbicos por hora, obtida nas condições de referência;

PCS é o poder calorífico superior do gás de referência definido na seção 3;

PCI é o poder calorífico inferior do gás de referência definido na seção 3.

As vazões mássica e volumétrica correspondem à medida de um fluxo de gás de referência sob condições de referência, ou seja, assumindo que o gás é seco a 15°C e sob uma pressão de 101,3kPa (1013mbar). Na prática, os valores obtidos durante os ensaios não correspondem àqueles condições de referência, sendo então corrigidos e levando-os àqueles valores que poderiam ter sido obtidos se durante o ensaio existissem na saída do injetor as condições-padrão.

Dependendo se a vazão corrigida foi obtida pela vazão mássica ou pela vazão volumétrica, a vazão corrigida é calculada pelas seguintes equações:

- a) determinação pela massa:

$$M_o / M = \left\{ \left[\frac{(101,3 + P)}{(P_a + P)} \right] \times \left[\frac{(273 + t_g)}{288} \right] \times \left(\frac{d_r}{d} \right) \right\}^{1/2}$$

- b) determinação pela vazão volumétrica:

$$V_o / V = \left\{ \left[\frac{(101,3 + P)}{101,3} \right] \times \left[\frac{(P_a + P)}{101,3} \right] \times \left[\frac{288}{(272 + t_g)} \right] \times \left(\frac{d}{d_r} \right) \right\}^{1/2}$$

A vazão mássica corrigida é calculada pela seguinte equação:

$$M_0 = 1,226 \cdot V_0 \cdot Dr$$

Onde:

M_0 é a vazão mássica sob as condições de referência;

M é a vazão mássica obtida sob as condições de ensaio;

V_0 é a vazão volumétrica obtida sob as condições de referência;

V é a vazão volumétrica obtida sob as condições de ensaio;

P_a é a pressão atmosférica local, em quilopascals;

P é a pressão de alimentação do gás no medidor, em quilopascals;

t_g é a temperatura do gás no ponto de medida, em graus Celsius;

d é a densidade relativa de massa do gás utilizado seco (ou úmido – d_h) relativo ao ar seco;

d_r é a densidade relativa de massa do gás de referência seco relativo ao ar seco (conforme tabela 6).

Estas equações devem ser usadas para calcular, da vazão mássica M ou vazão volumétrica V , medida durante o ensaio, as vazões correspondentes M_0 ou V_0 , as quais deveriam ser obtidas sob as condições de referência.

Os valores M_0 e V_0 devem ser comparados com os valores M_n e V_n calculados da potência nominal, utilizando-se a equação dada no início desta subseção.

Estas equações são aplicáveis se o gás de ensaio utilizado for seco.

Se um medidor úmido é utilizado ou se o gás utilizado é saturado, o valor d (densidade relativa de massa do gás utilizado seco em relação ao ar seco) deve ser trocado pelo valor da densidade relativa de massa do gás úmido d_h dado pela seguinte equação:

$$d_h = (P_a + P - W) \times d / (P_a + P) + 0,622 \times W / (P_a + P)$$

onde:

W é a pressão de vapor d' água expressa em quilopascals na temperatura t_g .

7.5.1.3.2 Obtenção das potências mínimas

O registro deve ser colocado na posição de vazão mínima. O queimador é alimentado de acordo com sua categoria com o gás de referência mostrado na tabela 6, à pressão nominal mostrada na tabela 7. A potência deve ser obtida pelo mesmo método de 7.5.1.3.1.

Se a vazão mínima for fixa, deve ser verificado se a potência obtida é igual ou menor que o valor declarado nas instruções de assistência técnica.

Se a vazão mínima for variável, deve ser verificado se este valor pode ser ajustado àquele declarado nas instruções de assistência técnica.

7.5.1.3.3 Diâmetro dos recipientes e massa de água (ver tabela 10)

Devem ser utilizados recipientes de alumínio possuindo as características dadas em B.1.

A menos quando especificado, um recipiente é usado de acordo com a área da base S (em centímetros quadrados) em relação à potência nominal do queimador Pn (em quilowatts) como segue:

- a) baseado no poder calorífico superior : $S = 191 \times P_n$;
- b) baseado no poder calorífico inferior: $S = 212 \times P_n$.

Na prática, o valor de S não corresponde a um recipiente do anexo B e , deste modo, o recipiente utilizado é aquele cuja área da base é imediatamente abaixo do valor de S.

Tabela 10 (transcrição da tab. 9 da NBR) – Diâmetro dos recipientes / massa da água

Diâmetro interno mm	Potência sobre o PCS kW	Potência sobre o PCI kW	Massa de água no recipiente kg
60	0,15	0,13	0,1
80	0,26	0,24	0,2
100	0,40	0,37	0,35
120	0,60	0,53	0,6
140	0,80	0,73	0,9
160	1,05	0,95	1,4
180	1,33	1,20	2,0
200	1,65	1,48	2,8
220	1,99	1,79	3,7
240	2,37	2,13	4,8
260	2,78	2,50	6,1
280	3,22	2,90	7,7
300	3,70	3,33	9,4
320	4,20	3,78	11,4

7.5.1.5 Segurança de operação

7.5.1.5.1 Resistência ao superaquecimento

a) aparelho deve ser inicialmente alimentado com o gás de referência para aquecimento e depois com o gás limite de retorno de chama para a categoria a que pertence o aparelho, utilizando-se o injetor apropriado (ver 7.5.1.3.1). A potência máxima que cada gás deve queimar no injetor ou no interior do queimador é verificada do seguinte modo:

- um queimador descoberto de mesa é coberto com um recipiente de diâmetro 220mm (ver B.1.), contendo 3,7kg de água;

- para um queimador tipo peixe, um recipiente idêntico àquele descrito em 7.5.2.2.2 é colocado sobre o queimador;

- b) o gás é intencionalmente aceso no injetor à pressão nominal de ensaio (ver 7.2.) e também, se possível, na cabeça do queimador;
- c) se a combustão não puder ser mantida no injetor ou no interior do queimador, quando o queimador opera à sua vazão nominal, o ensaio deve ser conduzido pela redução da pressão ao ponto onde a combustão possa ser mantida, sem que esta esteja abaixo da pressão mínima;
- d) se a vazão mínima é provida pelo registro e se no ensaio anterior não houve combustão no injetor ou no interior do queimador, a vazão deve ser reduzida através do registro em direção de vazão mínima até o ponto onde a combustão possa ser mantida ;
- e) o ensaio para resistência do superaquecimento é então conduzido, alimentando-se o aparelho com o gás, o qual pode queimar com maior vazão no injetor ou no interior do queimador, deixando a chama sob estas condições por 15 min.

7.5.1.5.1.2 Aparelhos com queimadores de mesa:

- a) se o aparelho possui queimadores de mesa, um ensaio adicional deve ser conduzido com gás(es) de referência à pressão nominal;
- b) no início do ensaio, cada queimador de mesa deve ser operado de acordo com as instruções de utilização com seu registro na posição mínima;
- c) os queimadores são operados por 1h sem estarem cobertos com recipientes;
- d) os requisitos de 6.1.4.1 devem ser satisfeitos.

7.5.1.5.2 Escape de gás não queimado

7.5.1.5.2.1 O ensaio é conduzido com o(s) gás (es) de referência de acordo com a categoria do aparelho, alimentado na pressão nominal.

Cada queimador, possuindo um corpo composto de várias partes, deve ser ligado com os registros ou termostato na posição de máximo.

Um meio conveniente (por exemplo, um fósforo) deve ser então utilizado para encontrar vazamento de gás pelas juntas do conjunto, que poderia ser aceso.

Se necessário, componentes que não aqueles do queimador, que possam ser removidos, devem ser retirados desde que isto não altere as condições de ensaio.

7.5.1.5.2.2 Os ensaios são conduzidos com gás (es) de referência de acordo com a categoria do aparelho alimentado na pressão nominal.

Cada queimador deve ser inicialmente ensaiado na sua potência nominal e então sob as seguintes condições:

- a) queimadores da mesa: o queimador deve ser alimentado na vazão mínima;
- b) queimadores do forno: com o termostato na posição mínima , ou, se não houver termostato, com o registro na posição de vazão mínima;
- c) queimadores de grelhadeiras por irradiação: com o registro na posição de vazão mínima, se existir.

Quando cada queimador é operado sob as condições descritas anteriormente, um detector de gás combustível deve ser utilizado a fim de detectar gás não queimado nas partes do aparelho onde o gás poderia se acumular.

A concentração do gás no ar deve ser determinada com uma exatidão de 0,005% do volume da amostra.

Os requisitos de 6.1.4.2.2 são considerados satisfeitos, se a concentração máxima do gás no ar não exceder 0,025% em volume.

Cuidados devem ser tomados a fim de se assegurar que o método de amostragem não afete o fluxo do gás e do ar no interior do queimador. Em particular, uma ponta-de-prova para identificação do vazamento não deve ser colocada contra a entrada de ar ou corpo do queimador.

Se o ar é ajustado pelo fechamento no interior do tubo de mistura do queimador, o ensaio deve ser conduzido com este dispositivo ajustado à sua posição de máximo fechamento.

7.5.1.8 Vazão total do aparelho

De acordo com a categoria do aparelho, cada queimador deve ser alimentado com gás de referência (ver 7.1) na pressão nominal (ver 7.2) e com o injetor correspondente. Se a categoria do aparelho incluir vários gases de referência, o ensaio deve ser executado somente com aquele que possui o menor número de Wobbe.

Cada queimador, sendo ajustado individualmente para fornecer, com gás de referência à pressão nominal, a potência nominal dada nas instruções de utilização, o gás deve ser trocado por ar sob as mesmas condições. A vazão de ar deve ser medida para cada queimador separadamente, e então a vazão total é medida com todos os registros abertos simultaneamente, na pressão nominal. Se houver um dispositivo supervisor de chama, o sensor deve ser aquecido separadamente, por exemplo: para permitir o fluxo normal do ar pelos injetores.

7.5.2 Ensaio específicos para a mesa.

7.5.2.1 Ignição, Propagação da chama, Estabilidade da chama e Formação de fuligem.

7.5.2.1.1 A ignição, Propagação da chama e Estabilidade da chama.

7.5.2.1.1.1 Condições gerais

O aparelho deve ser instalado de acordo com 7.3.2 em uma sala convenientemente ventilada.

Cada queimador deve ser ajustado sob as condições descritas em 7.3.1 com cada gás de referência pertencente à categoria do aparelho.

O queimador deve ser aceso de acordo com as instruções de utilização através do sistema de ignição, se houver, ou através de um fósforo se o queimador não possuir um sistema de ignição.

Quando o sistema de ignição liberar apenas uma faísca de cada vez, para a finalidade do ensaio, este deve ser operado no máximo três vezes, em intervalos de aproximadamente 1s. A primeira tentativa de ignição é feita quando o gás chegar à saída do queimador.

Para determinar o tempo de chegada do gás à saída do queimador uma chama de ignição auxiliar é colocada próxima das saídas do queimador. O intervalo de tempo medido é o decorrido entre o instante do posicionamento do registro na posição máxima e o instante do acendimento do queimador.

Onde o uso de um recipiente é requerido sobre um queimador nos ensaios seguintes, é utilizado um recipiente de 220mm de diâmetro, de preferência de vidro, para permitir a observação da chama, preenchido com 2Kg de água a temperatura ambiente.

No caso de grelhadeiras por contato temporário ou queimadores cobertos temporariamente, o queimador é ensaiado primeiramente com a chapa ou grelhadeira por contato no local e também com um queimador descoberto.

Onde os queimadores descobertos não tem um sistema de ignição e os queimadores cobertos são ensaiados individualmente, os ensaios são realizados sem o recipiente. Os ensaios nos quais são operados simultaneamente com outros queimadores da mesa são realizados com os recipientes, conforme item 7.3.4.

No caso de queimadores descobertos com um sistema de ignição, os requisitos para o uso dos recipientes são especificados em cada ensaio.

Em todos os casos, os queimadores da mesa são ensaiados sucessivamente na seguinte ordem: o queimador direito traseiro, o queimador esquerdo traseiro, o queimador esquerdo frontal e queimador direito frontal, quando o aparelho possui quatro queimadores. Se a mesa possuir um número diferente de queimadores, a ordem de ignição é baseada na ordem dada para quatro queimadores.

Nos ensaios que requerem a operação dos fornos e grelhadeiras por irradiação colocados abaixo da mesa, estes devem operar simultaneamente, se isto for possível.

Se a operação simultânea não é possível porque há um forno e uma grelhadeira por irradiação no mesmo compartimento, os ensaios são realizados uma vez com o forno em operação e uma vez com a grelhadeira por irradiação em operação. Se há um segundo forno ou grelhadeira por irradiação abaixo da mesa, estes são operados em ambos os casos.

Os requisitos para ignição, propagação da chama e estabilidade da chama no item 6.2.1 são verificados durante os ensaios que se seguem. Entretanto, para as mesas independentes, os ensaios em 7.5.2.1.1.2 segundo grupo de ensaio, requerem o uso dos gases de referência e aqueles em 7.5.2.1.1.3 – primeiro grupo de ensaio, não são aplicáveis.

7.5.2.1.1.2 Ensaios a frio

Com o aparelho a temperatura ambiente, a correta ignição e a estabilidade da chama em cada um dos queimadores da mesa é verificada individualmente.

Dois grupos de ensaios são realizados sob as condições que se seguem:

Primeiro grupo de ensaio:

O queimador deve estar a temperatura ambiente.

Queimadores descobertos, os quais tem um sistemas de ignição são ensaiados com e sem recipiente.

A correta ignição e a propagação da chama de cada queimador devem ser verificada individualmente com o aparelho alimentado sucessivamente com cada um dos gases de referência a pressão nominal.

Após 5s de operação, o registro deve ser colocado na posição de vazão mínima à velocidade normal (9) e é verificado se a chama não é extinta.

O registro é posicionado no máximo e a estabilidade da chama deve ser verificada após 60s de operação.

Após o exame das chamas, o registro deve ser fechado.

Segundo grupo de ensaio:

1) O Queimador deve estar a temperatura ambiente.

Qualquer forno e/ ou grelhadeira por irradiação situados abaixo da mesa, seja a gás ou elétrico, são colocados em operação por 3 minutos e continuam em operação ao longo do ensaio.

Queimadores descobertos que possuem um sistema de ignição, são ensaiados com e sem um recipiente.

Com o aparelho alimentado sucessivamente com cada um dos gases de referência sob pressão de ensaio nominal, a correta ignição de cada um dos queimadores é ensaiada individualmente. Estas são verificadas entre o quarto e o fim do quinto minuto após a ignição do forno e/ ou grelhadeira por irradiação.

Uma vez que cada queimador tenha sido ensaiado, o registro é colocado na posição fechado. Ao final do ensaio o aparelho é levado a temperatura ambiente.

2) Com o aparelho a temperatura ambiente no início do ensaio, qualquer forno e/ ou grelhadeira por irradiação são operados por 3 minutos e continuam em operação ao longo dos ensaios.

Queimadores descobertos são ensaiados sem recipientes.

O aparelho deve ser alimentado com o gás limite de descolamento de chama, da categoria a qual o aparelho pertence e sob pressão máxima. A ignição, a propagação da chama e a estabilidade da chama de cada queimador, ensaiado individualmente, são verificados entre o quarto minuto e o final do oitavo minuto após a ignição dos fornos e/ ou grelhadeiras por irradiação.

(9) Operação a uma velocidade constante, em um tempo aproximado de 1s.

Após a verificação da chamas de cada queimador, o registro é colocado na posição fechado. Ao final do ensaio, o aparelho é levado a temperatura ambiente.

7.5.2.1.1.3 Ensaio a quente

A correta ignição do queimador e a estabilidade da chama, devem ser verificadas individualmente para cada queimador da mesa.

Quaisquer fornos e/ ou grelhadeiras por irradiação colocados abaixo da mesa, a gás ou elétrico, são operados de acordo com 7.3.3.

Fornos operam inicialmente por 30 minutos, a grelhadeira por irradiação se puder operar sozinha, por 15 minutos. Onde o forno e a grelhadeira por irradiação podem operar simultaneamente, a grelhadeira por irradiação é colocada em operação 15 minutos após o forno.

Três grupos de ensaios são realizados sob as condições descritas abaixo.

Se for necessário durante a execução do grupo de ensaios resfriar o aparelho, por exemplo para trocar o gás, as condições iniciais fixadas pelo grupo correspondente do ensaio deve ser restabelecida antes de qualquer ensaio adicional a ser realizado.

Primeiro grupo de ensaio

Os fornos e/ ou grelhadeiras por irradiação são mantidos em operação.

Os ensaios são realizados sem um recipiente.

1) Com o aparelho alimentado sucessivamente com cada um dos gases de referência à pressão nominal, a correta ignição de cada um dos queimadores, ensaiada individualmente de acordo com 7.5.2.1.1.1, são verificadas.

2) Com o aparelho alimentado com o gás limite de descolamento de chama da categoria a qual o aparelho pertence a uma pressão máxima, a ignição, a propagação da chama e a estabilidade da chama são verificadas por cada queimador quando ensaiados individualmente.

Após a verificação da chama de cada queimador, o registro é colocado na posição fechado.

Segundo grupo de ensaios

Para os propósitos do ensaio, o segundo grupo é realizado imediatamente após o primeiro grupo com os fornos ainda em operação.

Entretanto, se o primeiro grupo inclui a operação de uma grelhadeira por irradiação, o aparelho é levado a temperatura ambiente, e então colocado novamente em operação sob as condições requeridas para o primeiro grupo de ensaio.

Um recipiente é colocado centralizado em cada um dos queimadores e das placas térmicas elétricas, de acordo com 7.3.4.

Todos os queimadores da mesa ou das placas térmicas elétricas são operados inicialmente a vazão mínima por 10 minutos, e então, cada queimador é sucessivamente:

_desligado;

_aceso de acordo com as instruções de utilização.

Se há um sistema de ignição, um recipiente não é removido. Se a ignição é realizada com um fósforo, o recipiente é removido para acender o queimador e então recolocado.

Para estes ensaios, os procedimentos que se seguem devem ser utilizados:

1) Com o aparelho alimentado sucessivamente com cada um dos gases de referência a pressão nominal, a correta ignição e a propagação da chama de cada queimador, ensaiado individualmente, são verificadas.

2) Com o aparelho alimentado com o gás limite de descolamento de chama da categoria a qual o aparelho pertence à pressão máxima, ignição, propagação da chama e estabilidade da chama são verificadas para cada queimador quando ensaiado individualmente.

Após a verificação da chama, o registro é colocado da posição máxima para a posição mínima a uma velocidade normal(12). No curso desta operação, a extinção não deve ocorrer.

3) Com os registros dos queimadores da mesa ajustados para a posição mínima, é então verificado que, com o gás de referência à pressão nominal, nenhuma extinção ou retorno da chama é observado:

_durante abertura ou fechamento da porta do forno em velocidade normal (13);

_durante abertura ou fechamento a uma velocidade normal (14) da porta de cada compartimento sucessivamente, se houver várias.

Um intervalo de 15s é observado entre a abertura e fechamento de uma porta.

Terceiro grupo de ensaios

Para os propósitos dos ensaios, o terceiro grupo é realizado imediatamente após o segundo grupo, com os fornos e placas térmicas elétricas ainda em operação.

Entretanto, se o segundo grupo de ensaios inclui a operação de uma grelhadeira por irradiação, o aparelho é levado a temperatura ambiente, quando colocado em operação novamente sob as condições estabelecidas para o ensaio do segundo grupo.

Um recipiente é colocado centralizado em cada queimador e placas térmicas elétricas, de acordo com 7.3.4.

Cada queimador da mesa é alimentado com o gás limite de retorno de chama a pressão mínima. Colocando os registros a velocidade normal (15) da posição máxima para a mínima, é verificado se não ocorre extinção ou retorno da chama.

(12)Operação em velocidade relativamente constante, num período de aproximadamente 1s.

(13)Completa abertura ou fechamento, velocidade relativamente constante, num período de aproximadamente 1s.

(14)Operação em velocidade relativamente constante, num período de aproximadamente 1s.

(15)Operação em velocidade relativamente constante, num período de aproximadamente 1s.

7.5.2.1.1b Formação de Fuligem

No final do ensaio número 3 em 7.5.2.2.1, usando o(s) gás(es) limite de combustão incompleta, à pressão nominal correspondente a categoria do aparelho.

O recipiente cobrindo o queimador é substituído por um idêntico limpo e os requisitos do item 6.2.2, segundo parágrafo, são verificadas após 10 minutos de operação.

7.5.2.1.2 Resistência à corrente de ar

Para este ensaio os painéis superiores laterais montados acima do nível da mesa não são instalados.

Cada queimador deve operar de acordo com as condições de 7.3.1 para cada gás limite de descolamento de chama da categoria a qual pertence o aparelho, sendo os ajustadores imobilizados nas posições determinadas.

O ensaio deve ser realizado com o queimador quente. Para este propósito, o recipiente de 220 mm, descrito em 7.5.2.1.3, contendo a massa de água fria indicada, é colocado sobre o queimador, o qual é operado na sua potência nominal, por 10 min.

O aparelho é alimentado na pressão nominal correspondente à categoria do aparelho (ver 7.1.1 e 7.2).

O manípulo deve ser colocado na posição de vazão mínima; quando a vazão mínima for ajustável, seu valor deve ser ajustado como aquele indicado em 7.5.1.3.2.

O recipiente deve ser removido e o dispositivo de ensaio mostrado na figura A.9 é então colocado de forma que a lâmina do pêndulo esteja no centro do queimador. A distância entre a borda inferior do pêndulo e o plano da trempe deve ser de 25 mm.

O pêndulo é posicionado inicialmente a 30° em relação a vertical, e seu plano de oscilação deve ser paralelo a frente do aparelho. Uma vez posicionado, este é liberado para executar o movimento em um sentido; sendo que, ao atingir o ponto máximo do lado oposto, deve ser seguro, reposicionado a 30° e após 10 s deve ser liberado para movimentação em sentido contrário.

O ensaio deve ser repetido para cada queimador da mesa.

7.5.2.1.3 Resistência ao transbordamento de líquido

Todos os queimadores, incluindo aqueles com um dispositivo supervisor de chama, operados na sua potência nominal e alimentados apenas com o gás de referência sob as condições especificadas em 7.5.2.1.2, são utilizados para manter a ebulição em um recipiente de 160 mm, preenchido com água até 10 mm da borda, sem tampa. Um recipiente de 220 mm é utilizado para queimadores ultra-rápidos. O ensaio é conduzido até que não haja mais derramamento.

A extinção parcial do queimador é tolerada, desde que haja o seu restabelecimento automático em 5 s. Após este ensaio deve ser possível o reacendimento do queimador facilmente.

7.5.2.2 Combustão

7.5.2.2.1 Condições de alimentação

O aparelho deve ser instalado de acordo com as condições definidas em 7.5.2.1.1, com cada um dos queimadores tendo sido previamente ajustados de acordo com as condições especificadas em 7.3.1.

Os ajustadores de ar primário são imobilizados nas posições previamente determinadas.

Quatro ensaios devem ser então realizados de acordo com a tabela 5.

Para um aparelho combinado, o ensaio nº 4 é realizado com todos os elementos da mesa e (se possível) o forno e/ou grelhadeira por irradiação operando simultaneamente. Placas térmicas elétricas devem ser operadas na potência máxima.

Estes ensaios devem ser realizados com e sem a trempe especial removível para recipientes pequenos (minitrempes), se esta for fornecida junto com o aparelho:

a) ensaio nº 1:

- para aparelhos que não possuam ajustadores de vazão de gás ou para aparelhos equipados com estes componentes onde sua função tenha sido anulada, a pressão de ensaio é a máxima indicada em 7.2 para os gases de ensaio usados (ver 7.1.1), apropriados à categoria do aparelho;

- para aparelhos com ajustadores de vazão de gás mas sem reguladores, o ensaio é realizado com o queimador ajustado para dar uma vazão igual a 1,10 vez a vazão nominal;

b) ensaio nº 2:

- a vazão do queimador é ajustada para metade da vazão nominal, usando o registro do queimador, e a pressão de ensaio é a nominal indicada em 7.2;

c) ensaio nº 3:

- o gás-limite de combustão incompleta é utilizado sem mudanças nos ajustes e pressões correspondentes ao gás de referência do ensaio nº 1;

d) ensaio nº 4:

- o ensaio é realizado com o gás de referência na pressão nominal;

- os queimadores são equipados com o injetor apropriado para o gás de referência;

- se existir um ajustador ajustável, ele é ajustado de acordo com as instruções de assistência técnica;

- se os queimadores possuem um ajustador de vazão de gás, eles são ajustados individualmente na vazão nominal dentro da tolerância permitida ($\pm 2\%$);

- se não há ajustadores individuais, verifica-se que a vazão nominal seja atingida, para cada queimador individualmente, dentro da tolerância permitida ($\pm 5\%$).

Se existir uma grelhadeira por irradiação, esta não deve ser operada.

7.5.2.2.2 Amostragem dos produtos da combustão

A amostragem deve obedecer o seguinte:

a) ensaios nos 1, 2 e 3:

1) a amostragem dos produtos da combustão é conduzida com cada queimador em funcionamento;

2) um queimador circular ou um queimador tipo peixe, de comprimento menor que 140 mm, deve ser coberto com um recipiente de 220 mm (definido no anexo B), contendo 3,7 kg de água, se o queimador possuir uma potência acima de 1,2 kW ou 1,8 kg de água, em outros casos;

3) o recipiente é coberto com um dispositivo de amostragem como mostrado na figura A.10;

4) um queimador tipo peixe, de comprimento maior que 140 mm, é coberto com um recipiente retangular, de forma que o comprimento e a largura cubram o queimador em mais de 60 mm em todos os lados, e com 140 mm em altura. Este recipiente contém a mesma quantidade de água do recipiente descrito acima;

5) nenhum recipiente deve ser colocado sobre as grelhadeiras por contato nem colocado sobre queimadores cobertos, se a placa não estiver inteiramente coberta por um recipiente de 220 mm.

No caso anterior, o dispositivo de ensaio é uma cobertura de 500 mm x 300 mm, como mostrado na figura A.11, colocado a uma distância entre 20 mm e 80 mm acima do nível das trempes ou da placa da grelhadeira por contato;

6) os produtos da combustão são coletados 20 min após o início do ensaio, pela sucção destes gases na parte superior do dispositivo de ensaio;

7) a quantidade de CO₂ da amostra deve estar acima de 1%. Um restritor pode ser utilizado para obter a quantidade de CO₂;

8) se for impossível se obter a quantidade de CO₂ acima de 1% sem comprometer o resultado, um valor inferior a 1% é aceitável mas o laboratório de ensaio deve assegurar que a amostra tomada é representativa;

b) ensaio nº 4:

1) cada queimador da mesa deve ser coberto com um recipiente correspondente àquele usado nos ensaios nos 1, 2 e 3, contendo a quantidade de água mencionada anteriormente. Deve haver uma distância de pelo menos 10 mm entre os lados do recipiente e do recipiente vizinho ou do dispositivo de amostragem;

2) se este arranjo for impossível, deve-se escolher, para cada um dos queimadores, um recipiente descrito no anexo B com o qual seja possível atingir esta condição;

3) o ensaio é conduzido com todos os queimadores operados simultaneamente, exceto a grelhadeira por irradiação. O acessório da grelhadeira por irradiação, situado abaixo da mesa de trabalho, é colocado na posição normal de uso. Os produtos da combustão são coletados após 20 min do início do ensaio;

4) um dispositivo de amostragem é colocado sobre o aparelho, como mostrado na figura A.11, escolhido de acordo com o formato da mesa;

5) o dispositivo deve ultrapassar as dimensões da mesa em pelo menos 40 mm. Se o aparelho possui uma tampa móvel ou uma grelhadeira por irradiação que impeça este arranjo, esta deve ser retirada, devendo o dispositivo ultrapassar em 40 mm os lados do aparelho;

6) este dispositivo deve coletar todos os produtos da combustão (incluindo aqueles do forno ou grelhadeira por irradiação em funcionamento), mas não devem alterar o curso de forma a alterar a qualidade da combustão. Em particular, a distância entre 20 mm e 80 mm na qual a base do dispositivo é colocada acima do nível das trempes da mesa deve ser tal que:

- a qualidade da combustão dos queimadores da mesa não seja alterada;
- não haja escape dos produtos da combustão na base do dispositivo de ensaio;
- a quantidade de CO₂ esteja acima de 1%;

7) se a quantidade de CO₂ dos produtos da combustão for menor que 1%, um restritor deve ser colocado na parte superior deste dispositivo, de forma a alterar esta quantidade a um valor ligeiramente acima de 1%. Entretanto, este restritor não é utilizado se alterar a qualidade da combustão ou se, como resultado de sua presença, os produtos da combustão vazarem por fora do dispositivo, devendo o laboratório de ensaio então assegurar que esta amostra seja representativa.

7.5.2.2.3 Análise dos produtos da combustão



Para estes ensaios, o monóxido de carbono é medido por um método seletivo, com sensibilidade de medição de 0,005% em volume.

A quantidade de (CO)_N livre de vapor de água e do excesso de ar (combustão neutra) é dada pela seguinte equação:

$$\% (CO)_N = \% (CO_2)_N (\text{combustão neutra}) \times (CO)_M / (CO_2)_M$$

onde:

$\%(CO)_N$ é a percentagem de CO relativa aos produtos secos e livres de ar;

$\%(CO_2)_N$ é a percentagem de CO₂ calculada para os produtos secos, livres de ar (combustão neutra);

$\%(CO)_M$ e $\%(CO_2)_M$ são as quantidades de CO e CO₂ medidas na amostra durante o ensaio de combustão, expressas nas mesmas unidades.

Os valores de $(CO_2)_N$ (combustão neutra) para os gases de ensaios são dados na tabela 10.

Para medições de CO e CO₂, um método que garanta um erro relativo menor que 6% deve ser utilizado. O uso de analisadores de absorção infravermelho é recomendado.

Tabela 11 (transcrição da tab. 10 da NBR)– Porcentagem de (CO₂)_n

Designação do gás	GRJ10	GRJ11	GSP13	GSP14	GBR20	GBR21	G30	G31
$\% (CO_2)_n$	8,4	8,6	11,2	11,6	12,2	12,5	14,0	13,7

Tabela 12 (transcrição da tab. B.1 da NBR) – Dimensões dos recipientes para ensaio para queimadores a gás

Dimensão		Designação														Tolerância
		6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	
A	mm	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	± 1%
H	mm	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	± 1%
C mín.	mm	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,8	2	2	2	2	2,5	2,5	2,5	2,5	
D mín.	mm	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,8	1,8	1,8	1,8
E	mm	2	2	2	2	2	2,5	2,5	2,5	3	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	+ 0,5 0
Área da base	Cm ²	28	50	78	113	154	201	254	314	380	452	531	615	707	804	

B) ITENS DA NBR 13723-2: 1996

3.1 Rendimento

Os requisitos estabelecidos em 3.1.1 e 3.1.2 são aplicáveis apenas aos queimadores de mesa nos quais a potência nominal é maior que:

1,16 kW (1000 kcal/h), calculado sobre o PCS;

3.1.1 Queimadores descobertos

O rendimento determinado sob as condições de ensaio especificadas em 4.1.1 deve ser maior ou igual que:

52%: calculado sobre o PCS;

4.1 Rendimento

De acordo com a categoria do aparelho, cada queimador, operando com um dos gases de referência citados em 7.1.1 da NBR 13723-1, é ajustado na pressão nominal citada em 7.2 da NBR 13723-1.

4.1.1 Queimadores descobertos

Devem ser utilizados recipientes de alumínio possuindo uma base plana, paredes polidas, sem cabos e de acordo com as dimensões fornecidas na tabela B.1 da NBR 13723-1. Estes recipientes devem ser compostos com suas tampas.

Dependendo da potência nominal do queimador que é ensaiado, o diâmetro do recipiente a ser utilizado e o volume de água que deve estar contido devem ser os fornecidos na tabela 1.

A temperatura inicial da água deve ser de $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ e a temperatura da água ao tempo da extinção do queimador deve ser de $90^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

A temperatura da água máxima observada após a extinção do queimador (temperatura final) deve ser medida.

A temperatura da água deve ser medida, utilizando-se um sensor colocado no centro do volume de água, com resolução menor ou igual a $0,1^{\circ}\text{C}$.

O queimador, coberto com o recipiente de 220 mm, contendo 3,7 kg de água, deve ser operado por 10 min na sua potência nominal. O recipiente de 220 mm é retirado e imediatamente após é substituído pelo recipiente a ser utilizado no ensaio do rendimento.

A medida do consumo de gás inicia-se e termina após a extinção do queimador, com o recipiente colocado no lugar.

V_c é o volume de gás utilizado, em metros cúbicos, corrigido para as condições de referência do poder calorífico pela seguinte equação:

$$V_c = V \times [(P_a + P - W) / 101,3] \times 288 / (273 + t_g)$$

onde:

V é o volume lido, em metros cúbicos, nas condições de ensaio;

P_a é a pressão atmosférica local, em quilopascals;

P é a pressão de alimentação de gás no medidor, em quilopascals;

t_g é a temperatura do gás no ponto de medida, em graus Celsius;

W é a pressão de vapor da água à temperatura tg, em quilopascals;

O rendimento deve ser calculado utilizando-se a seguinte equação:

$$n = 4,186 \times 10^{-3} \cdot M \cdot (t_2 - t_1) \cdot 100 / Vc \cdot H$$

onde:

n é o rendimento em porcentagem;

M é a massa equivalente do recipiente de ensaio, de acordo com as indicações da tabela 1, devendo ser calculada pela seguinte equação:

$$M = M1 + 0,213 \cdot m$$

onde:

M1 é a massa de água utilizada, em quilogramas;

m é a massa de alumínio, correspondente ao recipiente de ensaio e sua tampa, em quilogramas (a massa m deve ser medida);

t1 é a temperatura inicial, em graus Celsius;

t2 é a temperatura máxima da água após a extinção, em graus Celsius;

H é o poder calorífico do gás utilizado, em megajoule por metros cúbicos, da tabela 8.

Os requisitos especificados em 3.1.1 devem ser satisfeitos.

Tabela 13 (transcrição da tab. 1 da NBR parte 2)– Diâmetro do recipiente e massa de água em função da potência do queimador

Potência do queimador kW		Diâmetro interno do recipiente Mm	Massa de água M1 kg
Sobre o PCS	Sobre o PCI		
Entre 1,16 e 1,64	Entre 1,05 e 1,48	220	3,7
Entre 1,65 e 1,98	Entre 1,49 e 1,78	240	4,8
Entre 1,99 e 2,36	Entre 1,79 e 2,12	260 ¹⁾	6,1
Entre 2,37 e 4,20	Entre 2,13 e 3,78	260 ^{1),2)}	6,1

¹⁾ Se o recipiente com o diâmetro de 260 mm não poder ser usado, o ensaio deve ser conduzido sob as condições normais de uso do aparelho, sendo utilizado o recipiente de diâmetro de 240 mm, com a massa de água M1 correspondente, e a potência do queimador deve ser ajustada a 1,98 kW (sobre o PCS) ou 1,78 kW (sobre o PCI).

²⁾ Com um ajuste de potência do queimador para 2,36 kW (sobre o PCS) ou 2,12 kW (sobre o PCI).

ANEXO 3: CLASSIFICAÇÃO DOS QUEIMADORES E OUTROS

1 – CLASSIFICAÇÕES EXISTENTES EM FOGÕES:

1.1 – QUANTO AO COMBUSTÍVEL OU ENERGIA UTILIZADO:

Os fogões se classificam segundo o tipo de combustível ou energia que necessita para seu funcionamento. Temos então:

- Fogões a lenha;
- Fogões a carvão;
- Fogões a querosene;
- Fogões elétricos;
- Fogões a gás.

1.2 – QUANTO AO TIPO DE GÁS UTILIZADO:

No caso dos fogões a gás no Brasil, temos as seguintes divisões por família de gases (ABNT, 1996) conforme tabela 1; onde a primeira família é dos gás manufacturado (GM), a segunda é dos gás natural (GN) e a terceira é dos gás liquefeito de petróleo (GLP).

Nesta tabela temos os gases utilizados para os ensaios. Para cada família, temos os gases que representam, ou que deveriam representar os limites de variações dos gases existentes do mercado que chegam até o consumidor. São gases com alto grau de pureza ou misturas bem especificadas, cujo objetivo é representar o pior caso para cada um dos ensaios solicitados pela norma. Desta forma, se um fogão tem um funcionamento que atende todos os requisitos de norma, onde os ensaios utilizam sempre o gás mais crítico, significa que o fogão terá um comportamento igual ou melhor, em termos de segurança, quando utilizar o gás encontrado no mercado. Isto se o gás encontrado no mercado tiver um comportamento dentro dos limites críticos.

O gás de referência é um gás utilizado para mensurar as características de funcionamento de um produto, ou seja, o rendimento energético de um queimador, a elevação da temperatura do forno quando o forno é aceso, verificar o funcionamento dos acessórios de um fogão, etc.

O gás limite de combustão incompleta é utilizado para ensaios onde é analisado os produtos da combustão, em especial o monóxido de carbono. É o gás que mais produz monóxido de carbono.

O gás limite de retorno de chama é o que tem a maior velocidade de queima, portanto é utilizado para verificar se a chama do queimador, nas mais diferentes condições de funcionamento, não entra no interior do queimador, podendo haver a extinção da chama.

O gás limite de descolamento de chama é utilizado para verificar se a chama está estável, ou seja, se ela não se desloca para fora, além da sua posição normal

A primeira família é referente aos gases manufacturados (GM), com Número de Wobbe entre:

- grupo : 22,0 MJ/m³ e 25,0 MJ/m³ (sobre o PCS).

A segunda família é referente aos gases naturais (GN), com Número de Wobbe entre:

- 53,8 MJ/m³ e 59,5 MJ/m³ (sobre o PCS).

A terceira família é referente aos gases liquefeitos (GLP), com Número de Wobbe entre:

- 77,9 MJ/m³ e 90,8 MJ/m³ (sobre o PCS).

1.3 – QUANTO A INSTALAÇÃO:

Para fogões a gás temos as seguintes classificações, segundo sua forma de instalação (ABNT, 1996):

- f) Classe 1: aparelhos independentes, ou seja, aparelhos que não permanecem em contato lateral com os móveis de uma cozinha.
- g) Classe 2, subclasse 1: aparelhos de embutir entre dois móveis, ou seja, aparelhos que permanecem em contato lateral com os móveis de uma cozinha.
- h) Classe 2, subclasse 2: aparelho de embutir entre dois móveis com mesa removível, ou seja, aparelhos que permanecem em contato lateral com os móveis de uma cozinha e possuem também uma mesa removível.

Classe 3: aparelhos de embutir, ou seja, aparelhos que estão no interior de um móvel.

1.4– QUANTO À CONVERSÃO PARA DIFERENTES GASES

Quanto ao tipo de conversão, temos fogões de duas categorias (ABNT, 1996):

- Categoria I : fogões que somente podem funcionar com uma família ou grupo de gases específico, onde é possível ser feito a regulagem do ar primário e troca de injetores no caso dos grupos.

- Categoria II : fogões que podem ser convertidos para uma outra família, sendo possível a substituição de injetores e registros, além de ser feito a regulagem do ar primário.

- Categoria III: fogões que podem ser convertidos para qualquer família, sendo possível a substituição de injetores e registros, além de ser feito a regulagem do ar primário para cada família ou grupo. Todos os produtos no Brasil são desta categoria. No Brasil todos os produtos saem das fábricas para funcionar com gases da terceira família, sendo que a

conversão para as outras famílias geralmente é feita pela rede de assistência técnica autorizada pelo fabricante.

2- CLASSIFICAÇÃO DOS QUEIMADORES DA MESA:

2.1- QUANTO À DISPOSIÇÃO CONSTRUTIVA:

Os queimadores de mesa são aqueles que ficam sobre os fogões. São classificados segundo sua disposição construtiva como (ABNT, 1996):

- Cobertos: se possuem algum anteparo que impede que a chama entre em contato com a panela a ser aquecida.

- Descobertos: se não possuem anteparo que impede que a chama entre em contato com a panela a ser aquecida. É o tipo mais comum e será aquele que será focado nas análises que serão feitas.

2.2- QUANTO À SUA POTÊNCIA:

Os queimadores são classificados segundo sua potência nominal (Pn):

- Auxiliares: de 0,23 kW (200 kcal/h) inclusive até 1,16 kW (1000 kcal/h) sobre PCS.

- Semi-rápido: de 1,16 kW (1000 kcal/h) inclusive até 2,30 kW (2000 kcal/h) sobre PCS.

- Rápido: de 2,30 kW (2000 kcal/h) inclusive até 3,50 kW (3000 kcal/h) sobre PCS.

- Ultra-rápido: maior ou igual a 3,50 kW (3000 kcal/h) sobre PCS.

ANEXO 4**TÍTULO:****ANÁLISE DO MÉTODO DE MEDIÇÃO DE MONÓXIDO DE CARBONO EM FOGÕES DOMÉSTICOS****AUTOR:**

FLÁVIO FERNANDES (número USP:1575435)

RESUMO:

FERNANDES, F. *Análise do método de medição de monóxido de carbono em fogões doméstico*. São Carlos, 1996. xxp. Artigo.

O uso de gases hidrocarbonetos em fogões de uso doméstico é quase que total no Brasil e tende a aumentar em todo o mundo, seguindo a tendência de se utilizar a energia elétrica para fins mais nobres e a queima de combustíveis para produção de energia térmica. Pelo fato da maioria dos combustíveis não serem fontes renováveis, é imprescindível sua racionalização. Esta racionalização impacta, no caso de fogões, no aumento da produção de monóxido de carbono. É analisado o método de medição de monóxido de carbono proposto pela norma brasileira com um medidor de célula eletro-química.

PALAVRAS - CHAVE: Medição-monóxido de carbono, Fogão, Projeto-queimadores.

INTRODUÇÃO:

A energia elétrica trouxe facilidades e comodidades para a sociedade, representadas na forma de aparelhos eletrodomésticos. Porém, o aumento da demanda deste tipo de energia não acompanha sua produção a nível global. Por ser uma energia nobre, há uma tendência mundial em utilizar esta forma de energia somente em áreas e equipamentos onde esta é indispensável. Consequentemente, outras formas de energia, como a energia térmica, serão produzidas principalmente através da queima de combustíveis.

O mais antigo eletrodoméstico, o fogão, no Brasil funciona quase na sua totalidade com a queima de gases: o gás liquefeito de petróleo (GLP), gás manufaturado produzido da nafta ou gás natural (GN). Este quadro é particularmente

peculiar no Brasil devido ao subsídio dado pelo governo. Em outros países, onde não há este subsídio, a proporção de fogões elétricos ainda é superior aos a gás.

Grande parte dos combustíveis são de fontes não renováveis. Se torna imprescindível a racionalização do seu uso, fazendo com que os equipamentos sejam aperfeiçoados para aumentar sua eficiência (1). Porém, este aumento da eficiência pode provocar um aumento na produção de poluentes (2), como o monóxido de carbono. Estudos comprovam que fogões a gás têm grande influência na exposição de um indivíduo ao CO (3). Portanto, a medição do CO é fundamental em qualquer análise e desenvolvimento de queimadores para fogões, principalmente os de mesa (aéreos) pôr serem de maior utilização que o forno, onde focaremos nossa análise.

Existem procedimentos de ensaios para a verificação da produção de monóxido em queimadores aéreos na NBR 10079 (4), e os limites que estes podem chegar na norma NBR 10073 (5). O objetivo deste trabalho será analisar a eficácia destes procedimentos na análise de CO.

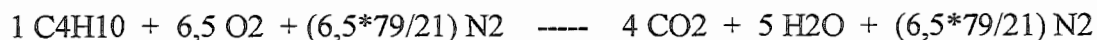
MATERIAL E MÉTODO:

INTRODUÇÃO TEÓRICA

Para a produção de uma chama em um fogão necessitamos de um combustível (hidrocarboneto) e um comburente que no caso é o oxigênio presente no ar atmosférico. Iremos tratar aqui de um queimador que funciona com gases da terceira família (4), onde o gás limite de combustão incompleta é o butano, com 95% de pureza (4).

O princípio de funcionamento de um queimador de fogão a gás, de uso doméstico, se baseia em uma injeção do gás por um orifício (injetor) em uma tubulação geralmente com um venturi, onde na entrada do gás na tubulação ocorre a captação do ar primário que deve variar de intensidade através de reguladores, de acordo com o tipo de gás a ser queimado. Esta mistura de ar - gás chega então aos queimadores onde ocorre a queima e para que isto se dê é necessário a presença do ar secundário.

A combustão estequiométrica do butano segue a seguinte reação (6):



Na prática, para se obter uma queima próxima à estequiométrica, é necessário uma quantidade ainda maior de ar, pois a diluição, temperatura da panela e outros fatores dificultam a combustão. Porém, o excesso de ar carrega um componente inerte (nitrogênio) que é simplesmente aquecido ao passar pela chama (estamos desprezando a formação de óxidos de nitrogênio), ou seja, acaba funcionando como um refrigerante. Quando se tenta aumentar a eficiência de um queimador, não se pode cair no erro de diminuir a entrada do ar (seja primário ou secundário), pois com isto teremos também nos produtos da combustão a presença

em excesso de CO. Este fato é caracterizado visualmente se a chama apresentar pontas amareladas (onde ocorre o depósito de carbono nas panelas), mas só este tipo de observação não é suficiente para alcançarmos valores permissíveis pela norma (5).

Pela norma o valor do CO tabelado (5) é obtido pela seguinte fórmula:

$$\%CO \text{ (tabelado)} = [\%CO(\text{medido}) * 14] / \%CO_2 \text{ (medido)}$$

onde 14 é o valor da porcentagem de dióxido de carbono produzido por uma queima estequiométrica, isento de vapor de água e nitrogênio.

Como pode ser visto é necessário também medirmos o CO₂ para a obtenção do CO(tabelado).

A norma também especifica que os aparelhos utilizados devem ser tais que consigam medir 0,005% no caso do CO e 0,5% no caso do CO₂. Existem 3 tipos de aparelhos conhecidos:

- 1- Ampolas que reagem quimicamente.
- 2- Infravermelho.
- 3- Célula eletro-química.

Trabalhamos com um Testo 342-1 da Testotherm da Alemanha, que possui:

I) célula eletro-química de CO com um erro de +/- 0,002% acima de 0,040% e +/- 5% acima de 0,200%. Com readability de 0,0001%. Com fundo de escala: 0,400%. Com span : de 0% a 0,400%.

II) célula eletro-química de O₂ com um erro de +/- 0,2%. Readability de 0,1%. Com fundo de escala de 21,0%. Span : de 0% a 21%.

III) com cálculo do CO₂ a partir dos valores medidos de O₂ e a escolha do gás combustível feita no menu da parte de combustíveis (no nosso caso, butano). Com erro de +/- 0,2%. Readability de 0,1%. Com fundo de escala de máximo CO₂ medido. Span : de 0% ao valor máximo.

PROCEDIMENTO

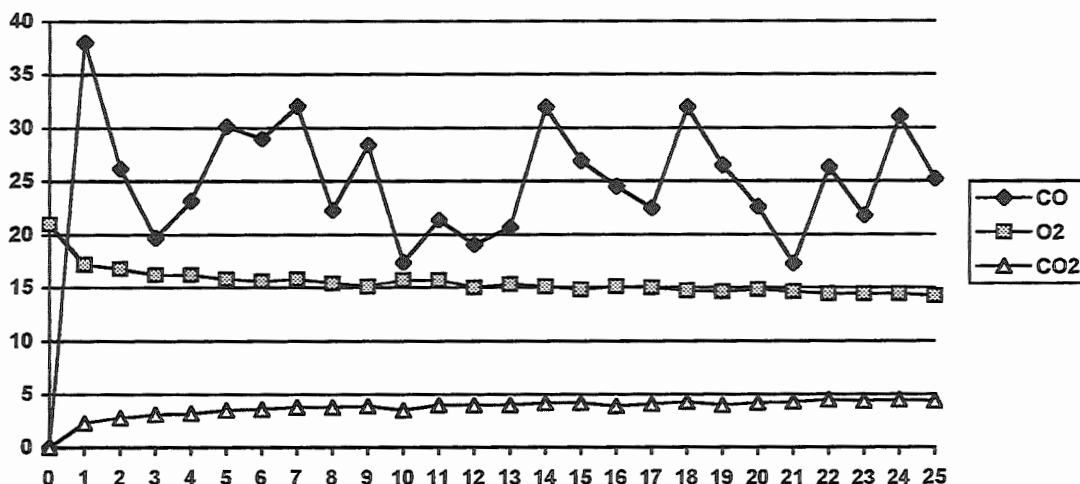
A NBR 10079 especifica o método de ensaio número 1, onde um queimador é colocado para funcionar com gás butano, com uma pressão de entrada do gás de 280 mmca no fogão, com uma panela de 220mm de diâmetro interno (4) com 3,7 kg de água, com uma campana (4) que recobre a panela para capitar os produtos da combustão (sem impedir a entrada do ar secundário).

O procedimento não especifica tempo para se coletar a amostra, referindo-se apenas para fazê-lo quando a água estiver fervendo.

Iremos fazer a medição dos produtos da combustão desde 1 minuto antes de acender o queimador de 1500 kcal/h, até a água estar fervendo em plena intensidade

(24 minutos de funcionamento). Portanto, verificaremos as variações do CO, O₂ e CO₂ durante todo o processo.

RESULTADOS:



Temos na abscissa o tempo em minutos e nas ordenadas os valores de O₂ e CO₂ em % de volume. Com relação a ordenada de CO, os valores devem ser multiplicados por 0,001 para obtermos os valores de % em volume.

Com relação a observação da fervura temos:

a) início (8 minutos e 40 segundos): observação do vapor embaçando um vidro.

b) observação visível (10 minutos e 30 segundos)

c) fervura intensa com a campana (11 minutos e 40 segundos)

d) fervura intensa sem a campana (12 minutos e 25 segundos)

Observações: - pressão ambiente durante o ensaio: 710 mmHg (medido com um barômetro Torricelli, com erro de +/- 1 mmHg).

- temperatura ambiente do início dos ensaios: 14,1 +/- 0,3°C (medido com termômetro de bulbo padrão).

- temperatura ambiente no final dos ensaios: 15,1°C (idem).

DISCUSSÃO:

Podemos observar pelo gráfico que a variação do CO é intensa durante toda a análise. Devido ao fato dos valores medidos serem muito pequenos qualquer oscilação do ar ambiente provoca uma variação na amostra a ser analisada.

Não foi abordada a influência dos seguintes parâmetros nos produtos da combustão:

- variação da pressão ambiente
- variação da temperatura ambiente
- variação do projeto do queimador / potência do queimador
- variação da regulagem do ar primário

CONCLUSÃO:

Concluimos que para o queimador em questão, sob as condições ambientes apresentadas durante o ensaio, um tempo superior a 15 minutos é adequado para a análise dos produtos da combustão, pois verificamos que o gráfico de CO passa a apresentar um comportamento cíclico enquanto que os demais não variam. O tempo de amostragem deve ser de 4 minutos, sendo que a média dos valores respectivos a cada minuto será o valor final da medição.

O procedimento de acordo com a norma(4), cujo tempo seria de 11 minutos e 40 segundos, se encontra ainda em uma faixa transitória.

Para termos uma análise mais abrangente é imprescindível continuarmos os estudos variando os pontos abordados na discussão, onde então poderemos sugerir tempos específicos para cada situação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

1. ARONOV, M.; KAM, V.; BORGESON R. Analysis of design options for reducing the energy consumption of residential gas ovens. *American Gas Association Laboratories*, p. 93 - 104.
2. LÉONARD, S; MULHOLLAND, G.W.; PURI, R.; SANTORO, R. J. Generation of CO and smoke during underventilated combustion. *Combustion and Flame* v. 98, p. 20 -34, 1994.
3. ALM, S.; REPONEN, A.; MUKALA, K.; PASANEN, P.; TUOMISTO, J.; JANTUNEN, M. J. Personal exposures of preschool children to carbon monoxide roles of ambient air quality and gas stoves. *Atmospheric Environment*, v. 28, n. 22, p. 3577 - 3580, 1994.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1987). NBR 10079 - *Fogões, fogões de mesa, fornos e fogareiros a gás de uso doméstico: método de ensaio*. Rio de Janeiro.

5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1987). NBR 10073 - *Fogões, fogões de mesa, fornos e fogareiros a gás de uso doméstico: especificações*. Rio de Janeiro.
6. WYLEN, G. J. V.; SONNTAG, R. E. Fundamentos da termodinâmica clássica. In: ---- *Reações químicas*. Trad.: Eitaro Yamane, 2ª ed., São Paulo, Edgard Blücher, 1976, cap. 12.

GLOSSÁRIO:

Ar primário: ar atmosférico necessário a combustão, que entra na tubulação através de uma depressão causada pela injeção do gás em um tubo venturi.

Ar secundário: ar atmosférico necessário a combustão, que envolve a chama.

Fundo de escala: medida máxima que um equipamento consegue fazer.

Gases hidrocarbonetos: todos os tipos de gases que contém em sua composição somente Hidrogênio e Carbono.

Gás limite de combustão incompleta: é o gás de uma família que mais tende a produzir poluentes quando queimado.

Gás liquefeito de Petróleo (GLP): gases hidrocarbonetos, principalmente butano e propano, que são facilmente armazenados pela facilidade de liquefazê-los, quando submetidos a uma certa pressão. São caracterizados por serem os gases da terceira família.

Gás manufacturado (gás de nafta): gás produzido através do processamento da nafta. Contém muito Hidrogênio . São caracterizados por serem os gases da primeira família.

Gás natural (GN): gás encontrado na natureza, rico em metano, caracterizado como segunda família.

Queimadores aéreos: queimadores que não estão encerrados em um compartimento fechado, como por exemplo um forno.

“Readability”: menor leitura que podemos ler em um equipamento.

Regulador de ar primário: dispositivo localizado na entrada do tubo venturi que permite abrir ou fechar a abertura com a atmosfera e com isto aumentar ou diminuir a entrada do ar primário na tubulação.

“Span”: é a máxima faixa de leitura de um equipamento.

ABSTRACT:

FERNANDES, F. *Análise do método de medição de monóxido de carbono em fogões doméstico*. São Carlos, 1996. xxp. Artigo.

The use of hydrocarbonat gas in home stoves is almost generally in Brazil and the tendence is to grow in all over the world, which follows the idea of using eletric energy for more noble purposes and obtaining thermal energy by burning fuel. Beause of the big number of fuels that aren't renovable, it is so important theirs rationalization. In stoves, this fact could promote the increasing of the carbon monoxide's poduction. The method of measurment of carbon monoxide based on Brazilian standard with a eletric-chemical cell measurer is, in this work, avaluated.

KEY WORD: Carbon monoxide-measurement, Stove, Burner-design.

ANEXO 5: UNIDADES DAS GRANDEZAS BÁSICAS, DERIVADAS E CONVERSÕES

Escala de temperatura: existem duas escalas para medida de temperatura: Fahrenheit e Celsius. Ambas as escalas foram baseadas em dois pontos fixos, de fácil reprodução: o ponto de fusão e o de vaporização da água, quando esta está a 1 atm. Tem-se respectivamente para estes pontos: 0°C (32°F) e 100°C (212°F). As unidades e conversões utilizadas são as que se seguem:

- unidades: Sistema Internacional (SI): graus Kelvin [°K] ou [K].
Sistema Inglês: graus Rankine [°R].
Ambas são escalas de temperaturas absolutas.
- conversões: $[K] = [^{\circ}C] + 273,15$
 $[^{\circ}R] = [^{\circ}F] + 459,67$
 $[^{\circ}C] = \{[^{\circ}F] - 32\} / 1,8$
 $[^{\circ}F] = [^{\circ}C] \cdot 1,8 + 32$

Escala de massa: existem duas escalas de massa, a do SI e a do Sistema Inglês:

- unidades: SI: kilograma [kg]
Sistema Inglês: libra-massa [lbm].
- conversões: $1 [kg] = 2,2046 [lbm]$
 $1 [lbm] = 0,4536 [kg]$

Escala de comprimento: novamente tem-se duas escalas:

- unidades: Sistema Internacional (SI): metro [m].
Sistema Inglês: polegada [pés].
- conversões: $1 [pé] = 12 [pol]$, ou seja, 12 polegadas
 $1 [pol] = 2,540 [cm] = 0,0254 [m]$
 $1 [m] = 39,370 [pol] = 3,2808 [pés]$
 $1 [pé] = 0,3048 [m]$

Escala de tempo: existe apenas uma escala:

- unidades: segundo [s]
- desdobramentos: dependendo do caso pode-se utilizar os desdobramentos de tempo em minutos e horas: $1 [h] = 60 [min] = 3.600 [s]$

As unidades descritas anteriormente são denominadas básicas para o Sistema Internacional. A seguir estão outras unidades denominadas derivadas.

Força: unidade: Newton [N] = [kg] · [m] / [s²]
conversão importante: $1 [kgf] = 9,8067 [N]$

Pressão: unidade: Pascal [Pa] = [N] / [m²]
conversões importantes:
 $1 [atm] = 101,325 [kPa] = 760 [mmHg]^*$
 $760 [mmHg] = 760 [torr] = 14,6959 [lbf] / [pol^2]$
 $1 [atm] = 1,0332 [kgf] / [cm^2] = 760 [mmHg]$
 $1 [atm] = 101,325 [kPa] = 1013,25 [mmbar]$

$$1 \text{ [atm]} = 1,01325 \text{ [bar]}$$

$$1 \text{ [mmHg]} = 13,5951 \text{ [mmca]}^*$$

$$1 \text{ [atm]} = 10.332,276 \text{ [mmca]}$$

Observação importante: as unidades mmHg e mmca são referentes a uma pressão exercida respectivamente no mercúrio e na água, considerando a água com densidade de $1 \text{ kg} / \text{m}^3$ e o mercúrio com uma densidade relativa de 13,5951 e considerando a aceleração da gravidade de $9,8067 \text{ m} / \text{s}^2$. O barômetro é calibrado a uma determinada temperatura e em um local com uma certa aceleração da gravidade. Correções deverão ser feitas, considerando o local e temperatura no momento da medida.

Trabalho ou Energia:	unidade: Joule [J] = [N] . [m] conversões importantes: 1 [cal] = 4,184 [J] 1 [J] = 0,239 [cal] 1 [kcal] = 3,968 [Btu] 1 [kJ] = 0,948 [Btu] 1 [Btu] = 778,26 [pé] . [lbf]
Potência:	unidade: Watt [W] = [J] / [s] conversões importantes: 1 [kW] \cong 860 [kcal] / [h] 1 [kcal] / [h] = 3,968 [Btu] / [h] 1 [HP] = 33.000 [lbf] . [pé] / [min] 1 [kW] = 44.240 [lbf] . [pé] / [min] 1 [HP] = 0,746 [kW]
Densidade:	unidade: [kg] / [m ³]

APÊNDICES

APÊNDICE 1:

ESTUDO DA VARIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO DO GÁS GLP NO BRASIL E SUA INFLUÊNCIA NO FUNCIONAMENTO DE FOGÕES.

RELATÓRIO

OBJETIVOS :

- Estudo da variação de GLP no Brasil, de acordo com as regiões e verificação de seus efeitos em fogões;
- Estudo da variação interna do GLP no cilindro P-13 em função do seu consumo;

1 - Levantamento das Distribuidoras de GLP no Brasil :

Foi feito um levantamento das principais distribuidoras do Brasil, verificando-se que existem 8 companhias que representam 90% do Mercado. A representação varia conforme as diversas regiões do país.

Região	Distribuidora	Origem
Nordeste	Butano	Bahia / Importação.
Sul	SHV / AGIP	Canoas / Imp.
Mato Grosso	Copagás	Paulínia
SP	Ultragás	Paulínia/ SJC Utinga
Paraná	SHV / AGIP	Araucária
RJ / ES	SHV	Duque de Caxias
*Campinas	Petrogás	Paulínia

Obs.:

- SHV é um grupo formado pela Minasgás e pela Supergasbrás;
- Petrogás e Onogás foram adquiridas pelo grupo SHELL;
- Em anexo tem-se uma planilha fornecida pela Petrogás, relativa ao mês de abril deste ano com as quantidades recebidas pelas Distribuidoras das diversas Refinarias do País fornecida pela Petrogás

2 - Levantamento de dados para coleta de amostras :

As informações iniciais para o Projeto foram obtidas através do Projeto GLP, cujas indicações e contatos fornecidos foram importantes para traçar as diretrizes. Conheceu-se parte da situação atual de Distribuição de GLP no Brasil através do Sr. Valtemir Primo, ex - funcionário do Ministério de Minas e Energia e, atualmente consultor na área. Um outro contato importante foi o Sr. Maurício S. Negrão, atualmente na Aliança Metalúrgica, que chegou a realizar um trabalho semelhante no Estado de São Paulo para a Distribuidora Ultragás. O relatório com resultados está anexado, agregando valor a este trabalho.

Pelas regiões levantadas no item 1, verifica-se que existem maiores diferenças na região Sudeste. Assim, coletou-se uma maior quantidade de amostras desta região.

Estimou-se número de amostras a serem coletadas em 12, sendo que 6 serão da região de Campinas (Paulínia), 2 na região de São Paulo (Mauá) e o restante das demais regiões do país.

3 - Levantamento de normas para o Transporte / Armazenagem :

O fato do GLP ser um produto inflamável ocasionou sérias dificuldades no que se referiu ao transporte. Consultou-se o INMETRO e a ABNT para verificar as exigências no transporte e na armazenagem de cilindros (botijões domésticos) e também das amostras coletadas:

- Existência de normas apenas acima de 300 kg;
 - Ficha de Emergência : NBR 7503 / 8205;
 - Envelope : NBR 750
 - EPI / KIT : NBR 11451 / 11450
- Armazenagem : manter em Local arejado
- Levantou-se sobre Lei para Transporte de GLP em São Paulo :
 - Lei 8998 (Lei Estadual de 26/12/96);;

Pode-se observar que tais normas são válidas para as fornecedoras do gás e para transportadoras, não enquadrando desta forma à Ge-Dako, mesmo porque a quantidade transportada manteve-se sempre inferior a 100 Kg. Contudo, houve grande dificuldade para encontrar uma transportadora que realizasse o transporte de apenas 2 botijões, sobretudo de regiões distantes, como de Fortaleza ou do Rio Grande do Sul. A transportadora que se propôs a estar realizando tal transporte foi a LAURIMAR, que já trabalha com as Distribuidoras de Gás. Em termos de amostras, parte das entregas foram feitas pela própria GE-Dako e outra parte, pessoalmente.

Para o estado de SP, em específico na região de Campinas, optou-se pela entrega dos próprios distribuidores a fim de se evitar aumentos nos custos (frete de veículo) e problemas quanto a segurança de transporte;

Em termos de armazenagem, foi feito um comunicado pedindo autorização para Marcos Eugênio do PCP para armazenar os botijões em local apropriado.

4 - Definição de critérios para ensaios :

A. Fogão escolhido :

- Fogão MAGISTER 6 bocas;
- Queimador Normal Protótipo;
- Tubo Venturi N.º 5 - S. Justo;
- Injetor ϕ 0,652 mm a ϕ 0,653 mm Padrão;

A. Queimador escolhido para ensaios :

Queimador Família TD;

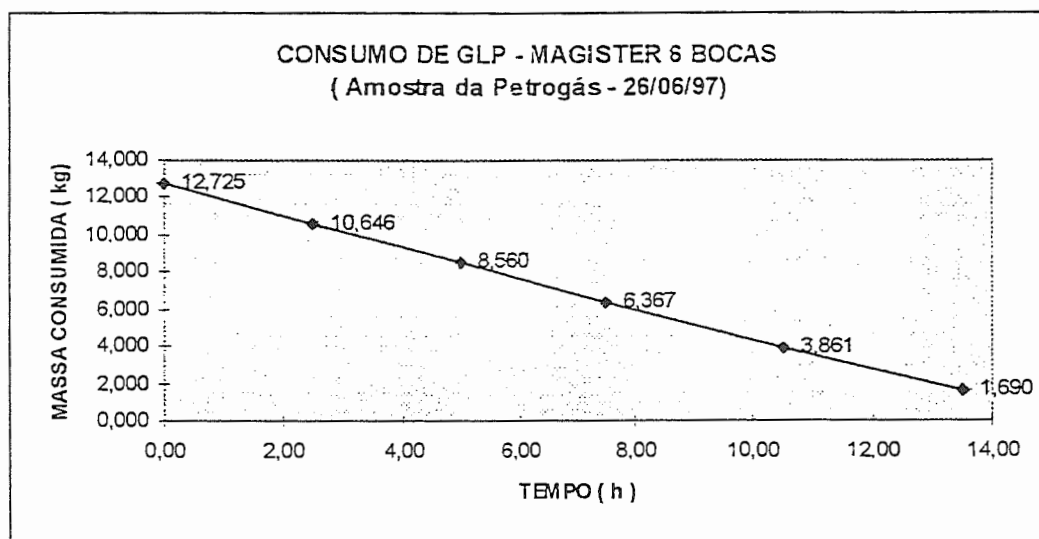
TE	TC	TD
DE	DC	DD

3. Botijão de Gás (GLP) :

Valores Médios :

Botijão	Vasilhame + gás	Vasilhame	Gás
Peso (kg)	27 - 29	13-15	13,00± 0,30
Preço (R\$)	35,00- 45,00	25,00-45,00	6,00-9,00

♦ Os ensaios foram realizados em três diferentes pontos de cada amostra. Os pontos foram definidos com base em um pré-ensaio para verificar o consumo de gás em função do tempo (conforme gráfico de consumo de GLP abaixo):



Ensaio	Tempo (h)	Peso do Gás (Kg)
Primeiro	0 ± 0,5	13,00 ± 0,05
Segundo	6,0 ± 0,5	7,5 ± 0,05
Terceiro	11,0 ± 0,5	2,5 ± 0,05

♦ Os pontos de coleta e ensaios foram definidos de forma que a queima pudesse ser controlada de maneira semelhante para cada botijão e que a pressão de vapor no terceiro ensaio fosse suficiente para poder realizá-lo.

5 - Definição da Coleta de amostras / Locais e distribuidoras :

REGIÃO	DISTRIB.	ORIGEM	QUANT.
Campinas	Agip Licuigás	Paulínia	1
	Butano	Paulínia	1
	Minasgás	Paulínia	1
	Copagás	Paulínia	1
	Petrogaz	Paulínia	1
	Ultragás	Paulínia	1
São Paulo	Ultragás	Mauá	1
	Agiplicuigás	Mauá	1
Fortaleza	Butano	Importado	2
Rio de Janeiro	Supergasbrás	Ducue de Caxias	2
Rio Grande do Sul	Ultragás	Canoas	2
Paraná	Minasgás	Araucária	2
TOTAL			16

Observação :

1. Para a região de Campinas , coletou-se amostras do mesmo dia, variando-se as Distribuidoras com a finalidade de compará-las;
2. Já em relação à outras regiões, o objetivo foi comparar a diferença entre as produções de Refinarias e de Importações;

6 - Procedimento para realização dos Ensaios :

O procedimento para ensaios no LAP foi :

1. Pesar o botijão;
2. Com o botijão completamente cheio, retirar amostra para cromatografia;
3. Ensaiar potência, CON (ensaio nº1), rendimento no queimador família (DD) de um fogão Magister 6B, com tubo Nº5 São Justo, injetor Ø 0,65 mm padrão, queimador Normal protótipo;
4. Medir a massa do botijão;
5. Funcionar o forno por 1 hora;
6. Repetir "5";
7. Calcular cura estimada ;
8. Funcionar forno;
9. Monitorar peso do botijão 30 minutos antes;
10. Repetir "1", "2" (com P = 7,5 Kg), "3", "4", "5", "6", "7", "8", "9";
11. Repetir " 10" (com P = 2,5 kg);

É importante salientar que para o item 3, referente aos ensaios de Potência, CON (nº 1) e rendimento, os ensaios foram feitos de forma agrupada, ou seja, Potência e Rendimentos juntos e no final, aproveitando o pré-aquecimento dos dois primeiros, com medição de CON.

7 - Análise de Cromatografia :

A Cromatografia é importante no sentido de detectar os diferentes componentes do GLP e suas respectivas quantidades percentuais em volume ou massa. Desta forma pode-se conhecer a composição precisa do gás de cozinha utilizado em residências e calcular a Potência e o Rendimento em função desta.

As análises de Cromatografia tiveram início no Laboratório da UNICAMP, porém, após a primeira coleta, detectou-se a impossibilidade por parte dos equipamentos (deveria haver uma disponibilidade de 100 % para tais amostragens, fato não possível por parte da Universidade).

Desta forma procurou-se opções e a empresa que apresentou maior confiabilidade foi a RHODIA. Ela disponibilizou um cromatógrafo gasoso apenas para a GE-DAKO e também alugou cilindros específicos para a coleta de amostras, conforme Norma NBR 6572 para a coleta de amostras de GLP.

A coleta para a cromatografia é feita antes da realização dos ensaios segundo os procedimentos pré-determinados. Após 20 dias foram fornecidos os resultados parciais e no final, um relatório geral com todos os resultados.

Analisou-se 10 hidrocarbonetos distintos (listados no relatório da RHODIA), além do O₂, N₂ e CO₂. A escolha de tais hidrocarbonetos a serem analisados foi feita com base de outras cromatografias realizadas anteriormente pela REPLAN (Refinaria de Paulínia).

A importância de tais resultados parciais está nos cálculos de PCS ou PCI (poderes caloríficos superiores e inferiores, respectivamente) e densidades relativas, a fim de que se possa calcular Potências e Rendimentos, já que o Rendimento depende diretamente dos resultados obtidos do cálculo prévio de Potência (escolha da de panela adequada e massa de água)

8 - Introdução teórica : COMBUSTÃO DE GLP

O processo de Combustão envolve a oxidação dos constituintes do combustível que são capazes de serem oxidados e pode, portanto, ser representado por uma equação química. Durante o processo de combustão, a massa de cada elemento permanece constante.

O combustível utilizado é o GLP (Gases liquefeitos de petróleo), composto principalmente de Propano e Butano, contendo ainda outros hidrocarbonetos leves. A Legislação atual não define uma faixa de porcentagens para cada componente. O GLP analisado é o de uso doméstico, armazenado em botijões P-13.

Quando um combustível constituído por hidrocarbonetos é queimado, o carbono e o hidrogênio são oxidados:

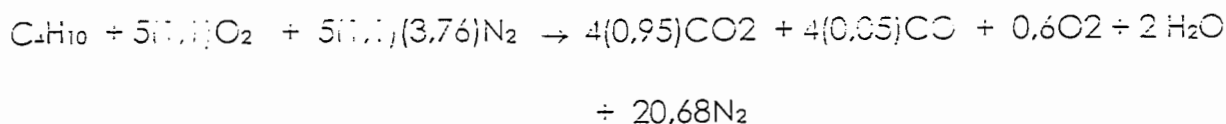
- Combustão completa - BUTANO



A quantidade mínima de ar que fornece o oxigênio suficiente para a combustão completa do carbono, hidrogênio e quaisquer outros elementos do combustível que possam se oxidar, é chamada de "ar teórico". Quando a quantidade de ar fornecido é inferior ao ar teórico, ocorre combustão incompleta e parte do carbono é liberada na forma de monóxido de carbono (CO), ao invés de CO₂. Porém, muitas vezes quando

se tem um pequeno excesso de ar, podem ocorrer pequenas quantidades de CO, devido a vários fatores, de mistura ou de turbulência durante a combustão.

• Combustão incompleta - BUTANO



ONDE: 1,1 corresponde a 10% de ar em excesso;

9 - Levantamento de dados em literatura para cálculo de Potência e Rendimento e %CO :

Para se calcular a Potência e o Rendimento necessita-se de dados de PCS ou PCI e da densidade relativa do gás em relação ao ar.

Potência Nominal : (Norma NBR 13723-1, item 7.5.1.3)

$$P_n = 0,263 * V_n * PCS$$

Onde :

- V_n é a vazão volumétrica corrigida nas condições de pressão e temperatura;
- PCS é o Poder Calorífico Superior;

Rendimento : (Norma NBR 13723-2, item 4.1.1)

$$\eta = M * C_p * (T_2 - T_1) * 100 / (V_c * PCS)$$

Onde :

- V_c é o volume lido nas condições de pressão e temperatura de ensaio;
- PCS é o Poder Calorífico Superior;
- T_1 é a temperatura inicial;
- T_2 é a temperatura final;
- $C_p = 4,186 * E(-3)$ MJ/kg.°C;
- M é a massa equivalente ao recipiente de ensaio (vide norma);

Define-se Poder Calorífico como a quantidade de calor liberada pela unidade de massa (combustível sólido ou líquido) ou volume (combustível gasoso) quando queimado completamente saindo os fumos do sistema resfriados a temperatura T_f igual a temperatura de entrada da mistura combustível T_e . Tem-se o Poder Calorífico Superior quando aproveita-se a quantidade do Calor de condensação e Inferior par o Calor de Vapor de água.

Estes valores são ponderados de acordo com a composição de cada botijão. Assim, de forma diferente aos ensaios de Norma (feitos com Propano ,Butano ou Propeno com alto grau de pureza), calculou-se o PCS e a densidade relativa por componente., cujos dados individuais foram obtidos de tabela com propriedades de Gases da Norma Americana ASTM D 3588, conforme é feito também pela CONGÁS.

Como estes ensaios com GLP não seguiram totalmente os procedimentos da Norma NBR 13723-1 e 2 (uso de GLP), procurou-se padronizar com outro órgão credenciado para tais ensaios, utilizando as mesmas fontes e fatores de conversões. Isto pode ser

exemplificado pelo fato de encontramos em literatura condições de Pressão e Temperatura diferentes daquelas de ensaio e fórmulas, sendo necessário convertê-las.

Ensaio de Combustão - CO N.º 01 : (Norma NBR 13723-2, item 6.3.2)

Os ensaios de %CO foram feitos conforme norma NBR 13723-1, item 6.3.2, apesar do gás GLP não estar conforme a norma. Conforme norma, mediram-se os valores de %CO à pressão de 350 mmHg e a quantidade máxima permitida é de 1500 ppm (para ensaios com gás Butano).

Uma outra fonte utilizada foram as especificações e MSDS da MATHESON, com dados de toxicidade e segurança dos gases.

OBS : O material utilizado como fonte de Literatura se encontra em anexo.

10 - Pré-teste :

Realizou-se um pré teste em botijão de GLP da Petrogás, a fim de estimar os níveis mais adequados para os ensaios. Utilizou-se a distribuidora Petrogás devido esta ser fornecedora de GLP para a GE-Dako atualmente. Também tem como objetivo a determinação dos tempos de ensaios para:

- Potência;
- Rendimento;
- CO;

Gráfico de pré-teste em anexo : Consumo de GLP

Além disto, foram feitos ensaios com Butano e Propano (puros), para que se tivesse uma previsão do comportamento do injetor .

11 - Tratamento de Dados :

1º parte :

Distribuição em Campinas / variação entre distribuidoras

DISTRIBUIDORAS DE PAULÍNIA

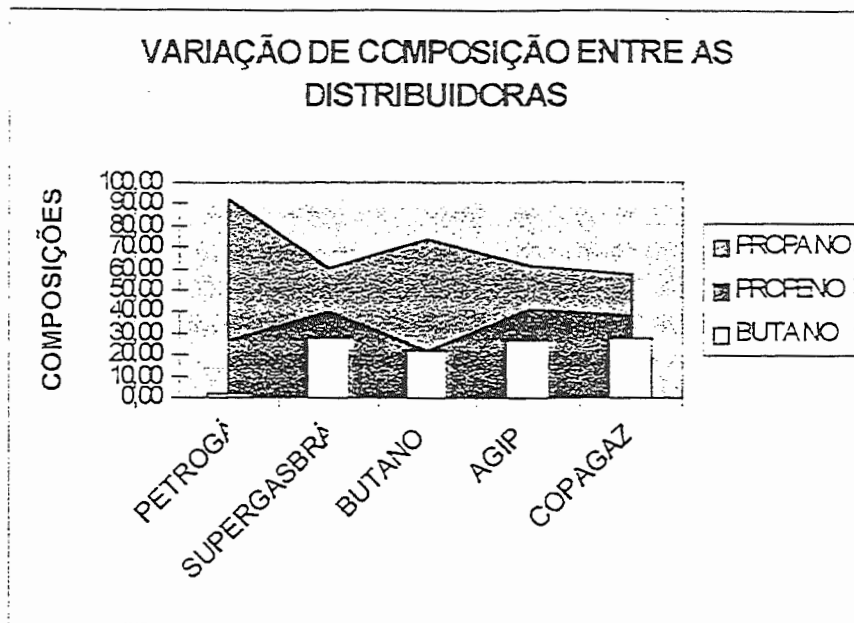
PETROGÁS
SUPERGASBRÁS
BUTANO
AGIPLIQUIGÁS
COPAGAZ

Os resultados comparativos de composições podem ser observados na tabela abaixo :

COMPONENTE	PETROGÁS			SUPERGASBRAS			BUTANO			AGIP			COPAGAZ		
	% M/M	% M/M	% M/M	% M/M	% M/M	% M/M	% M/M	% M/M	% M/M	% M/M	% M/M	% M/M	% M/M	% M/M	% M/M
	1 - A	1 - B	1 - C	2 - A	2 - B	2 - C	3 - A	3 - B	3 - C	4 - A	4 - B	4 - C	5 - A	5 - B	5 - C
METANO	0,100	0,000	0,000	0,350	0,000	0,000	0,150	0,000	0,000	0,400	0,000	0,000	0,660		0,300
ETENO	0,150	0,030	0,000	1,750	0,030	0,000	0,100	0,030	0,000	2,170	0,000	0,000	2,680		0,000
ETANO	4,480	1,700	0,120	9,150	0,780	0,000	2,990	0,340	0,000	9,370	1,000	0,000	10,900		0,000
PROPENO	27,040	25,590	22,430	40,540	31,920	2,610	21,910	16,640	3,000	41,370	34,210	3,450	38,800		7,350
PROPANO	65,540	70,270	71,650	20,070	18,840	3,050	52,030	47,480	15,020	19,700	18,800	3,600	18,550		6,550
PROPANOS*	92,580	95,860	94,080	60,610	50,760	5,660	73,940	64,120	18,020	61,070	53,010	7,050	57,350		13,900
ISO-BUTANO	0,890	0,970	2,180	9,740	15,960	23,170	5,480	8,400	15,640	9,170	15,070	22,970	9,200		21,840
2-BUTENO- CIS/TRANS	0,460	0,530	1,290	5,530	9,510	17,050	8,080	12,620	27,780	5,110	9,000	16,230	5,820		16,230
1,3-BUTADIENO	0,030	0,030	0,070	0,320	0,590	0,920	0,410	0,700	1,390	0,200	0,610	0,530	0,320		0,920
BUTANO(0,6)/BUT ENO	0,570	0,680	1,760	10,400	17,490	39,000	6,470	9,970	23,970	10,360	16,640	33,060	10,600		29,530
ISOBUTENO	0,140	0,160	0,440	2,040	4,700	13,490	1,900	3,720	13,020	2,000	4,460	19,560	2,150		17,050
BUTANOS*	2,090	2,370	5,740	28,030	48,250	93,630	22,340	35,410	81,800	26,840	45,800	92,350	28,090		65,570
N-PENTANO	0,010	0,010	0,030	0,070	0,130	0,650	0,020	0,030	0,150	0,060	0,110	0,570	0,060		0,500
NITROGÊNIO	0,670	0,010	0,010	0,020	0,030	0,050	0,410	0,090	0,010	0,090	0,010	0,010	0,060		0,010
OXIGÊNIO	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,050	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,003		0,010
DIOXIDO DE CARB.	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010		0,010

Para fazer a comparação entre as distribuidoras foi necessário partir do princípio que uma mesma refinaria envia o mesmo gás (de determinado lote) para as diversas distribuidoras. Assim, precisei me certificar de que as amostras coletadas eram da mesma " produção " da refinaria de Paulínia.

COMPOSIÇÕES (%)			
	PROPENO	PROPANO	BUTANO
PETROGÁS	27,04	65,54	2,09
SUPERGASBRAS	40,54	20,07	28,03
BUTANO	21,91	52,03	22,34
AGIP	41,37	19,7	26,84
COPAGAZ	38,8	18,55	28,09



Ao se comparar as composições médias das amostras, nota-se uma mesma tendência, com exceção da amostra da Petrogás, que foi obtida pelo fornecimento diário à empresa (fornecedor atual).

Fazendo uma análise geral de " Propanos " e " Butanos ", verifica-se uma quantidade superior de leves no GLP produzido neste período. Na primeira amostra , por exemplo, vendeu-se praticamente propano no lugar de GLP. Outro dado a ser salientado é a alta concentração de Propeno em todos eles, fato de certa forma surpreendente.

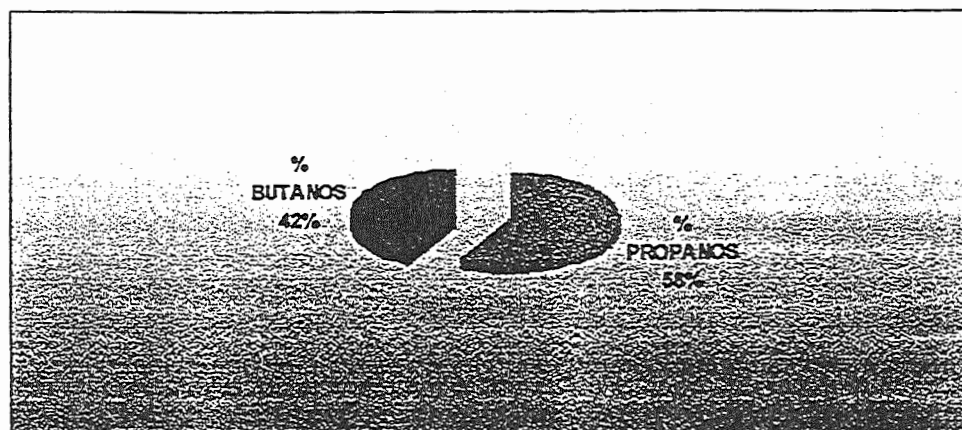
2º parte :

Distribuição Nacional / variação Regional (Refinarias e Importações)

Posteriormente, fez-se um estudo com amostras de várias regiões do país, conforme definido no início . Os resultados são apresentados na planilha de Comparações de Composições em anexo.

Mais uma vez verifica-se altas concentrações de leves , com exceção da amostra de Fortaleza, que ao contrário das outras, continha praticamente apenas Butano. (vendido como GLP).

COMPOSIÇÃO MÉDIA DAS AMOSTRAS COLETADAS



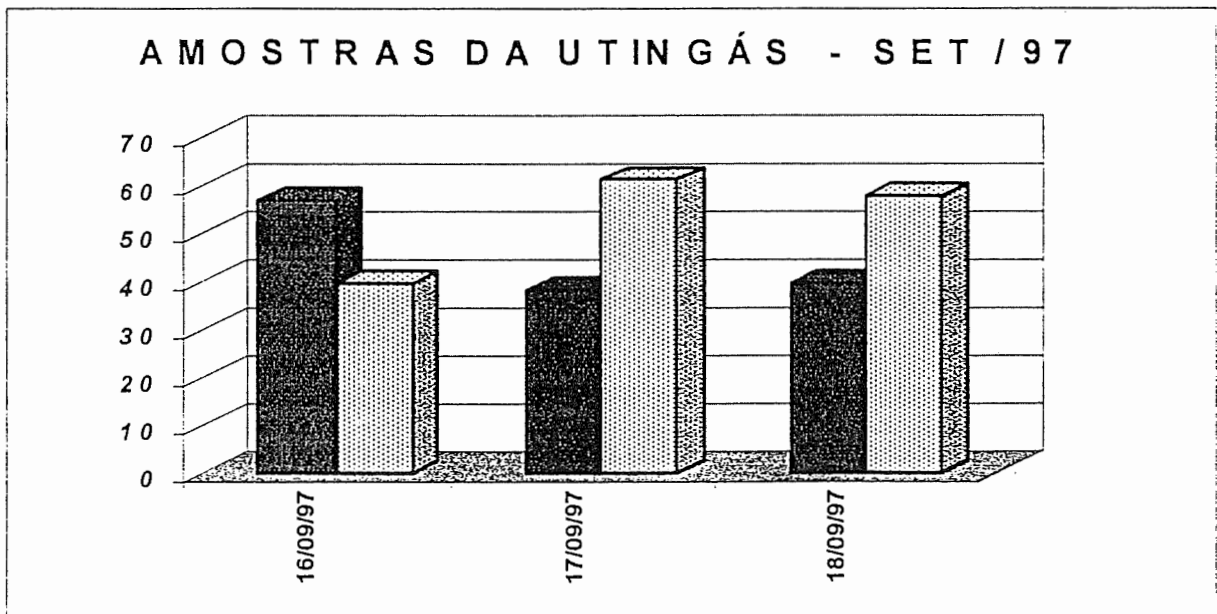
Os gráficos apresentados mostram as variações de composição do GLP no Brasil. Verifica-se grandes diferenças entre as diversas regiões, sobretudo em relação à região Nordeste, que também importa GLP da América Latina, gás rico em butano.

Um outro ponto levantado no decorrer da realização dos ensaios foi a necessidade de se verificar a variação diária na produção de uma determinada refinaria.

Assim, estabelecendo-se contatos com a Utingás, empresa intermediária entre algumas refinarias e as Distribuidoras, pode-se coletar amostras em dutos vindos da própria refinaria de Paulínia e fazer a análise cromatográfica das mesmas. É importante salientar que a maneira de controle da qualidade do gás é feita através de medições de Densidade e Pressão de Vapor, e não da composição do gás por cromatografia. De acordo com a empresa, existem períodos do ano em que o gás fornecido possui uma densidade considerada boa e em outros períodos não. Um outro ponto importante é que no período de baixas na produção, uma refinaria pode receber o GLP de outra refinaria, dificultando assim o rastreamento da distribuição, que pode variar então, de forma aleatória.

Uma outra informação, está no fato da qualidade estar associada aos direcionamentos de produção de cada refinaria. Assim, se uma refinaria tem uma produção de Propano direcionada para a Indústria, a qualidade do GLP pode ser inferior, uma vez que será resultante da produção do produto principal.

Tais dados podem ser verificados em relatórios fornecidos pela Utingás (controle interno), com dados das refinarias de Paulínia e de São José dos Campos (REVAP). Também existem dados da variação da densidade no primeiro semestre de 1997, fornecidos pela Copagaz, além de dados de cromatografia e poderes Caloríficos Superiores e Inferiores.



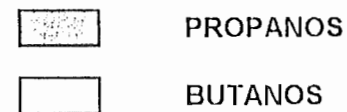
PROPANOS;



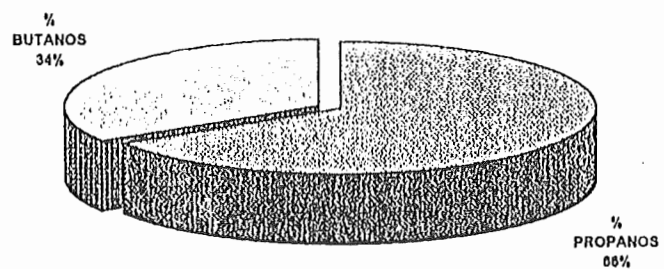
BUTANOS

No gráfico acima ocorrem comparações de composições de produções sucessivas da Replan. Nota-se a variação de uma mesma refinaria.

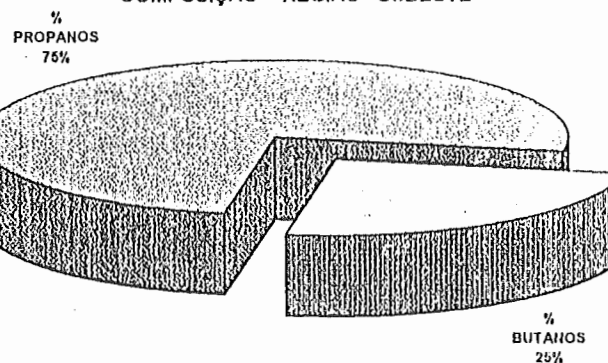
COMPOSIÇÃO DO GLP NO BRASIL



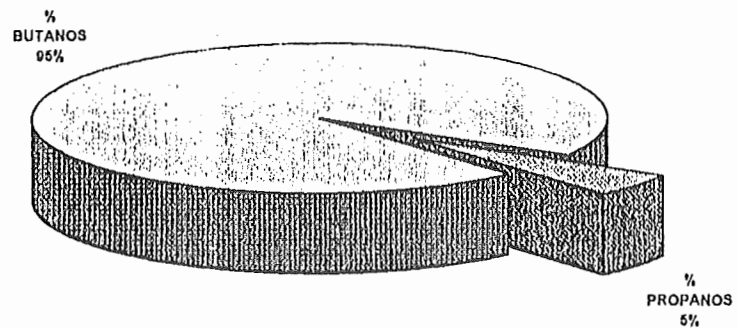
COMPOSIÇÃO - REGIÃO SUL



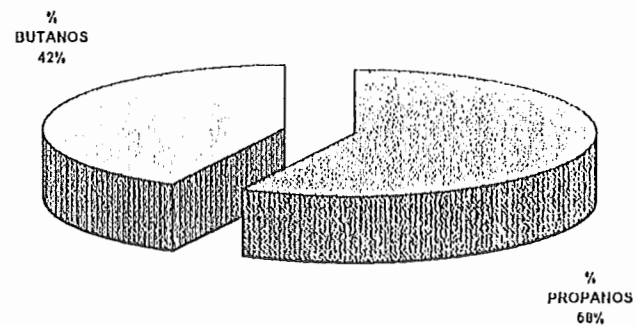
COMPOSIÇÃO - REGIÃO SUDESTE



COMPOSIÇÃO - REGIÃO NORDESTE



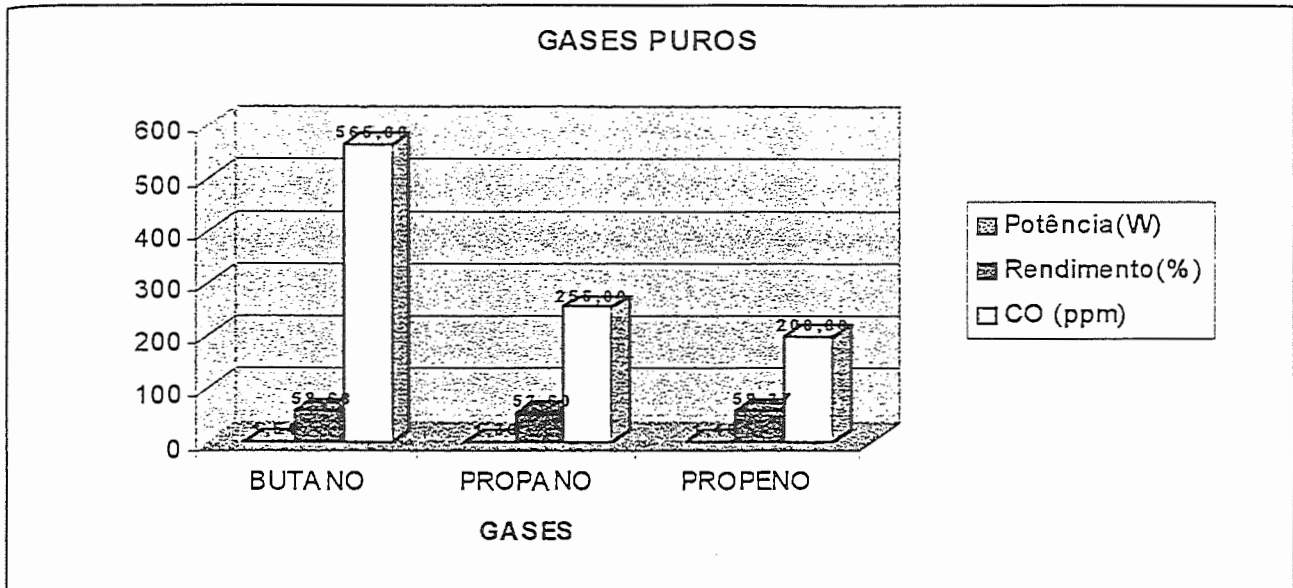
COMPOSIÇÃO MÉDIA DO BRASIL



3^o parte :

INFLUENCIA DA COMPOSIÇÃO NO DESEMPENHO VARIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO INTERNA DO BOTIJÃO EM FUNÇÃO DO CONSUMO

Para analisar a influência da composição no desempenho do fogão foram feitos ensaios com base em Norma NBR, contudo sem segui-la totalmente, já que o GLP não é um gás padrão de norma para estes ensaios. A critério de comparação, foram feitos ensaios com propano, propeno e butano puros, obtendo-se assim valores máximos e mínimos de Potência e Rendimento.

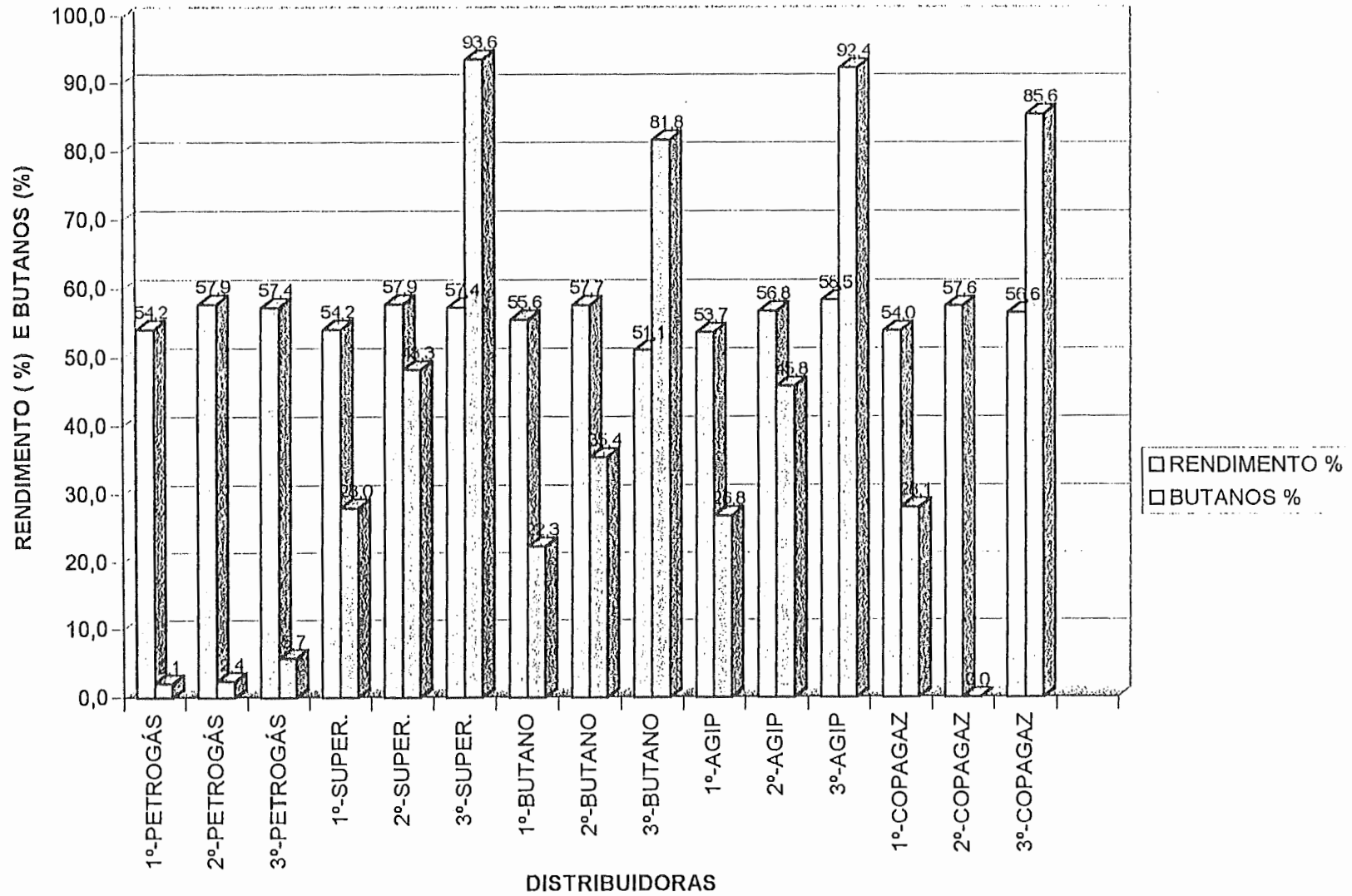


Os resultados para o butano e o propano já eram esperados, uma vez que o butano é o gás padrão para os ensaios de potência, rendimento e CO de norma A. A expectativa esteve em torno do propeno, já que as análises parciais de cromatografia indicavam uma alta quantidade deste. Comparando-se os resultados, não nota-se diferenças grandes em relação à potência, apesar do butano apresentar um maior poder calorífico e do propeno apresentar um menor PCS. O maior rendimento foi do propeno, juntamente com os menores valores de CO.

Também verificamos comparações entre amostras, confrontando-se regiões distintas. Contudo, analisou-se com maior ênfase a região Sudeste, já que o maior número de amostras foi proveniente desta região.

Seguem os gráficos comparativos por região :

REGIÃO SUDESTE - RENDIMENTO X % BUTANOS



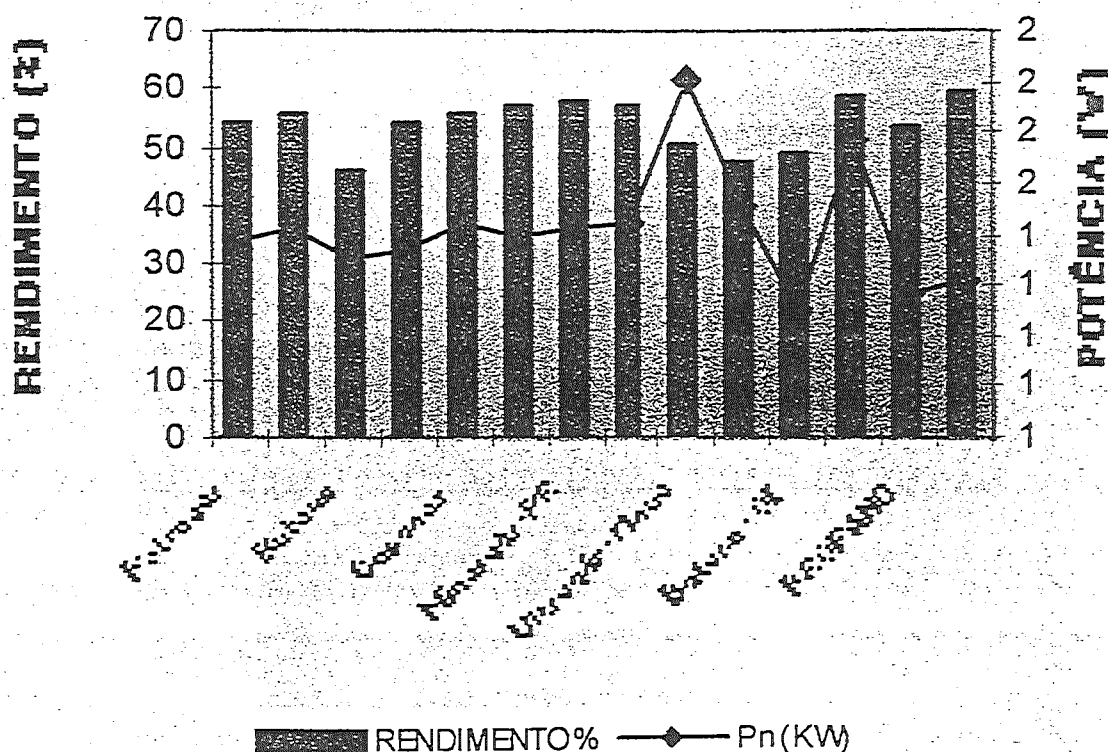
Influência da composição inicial no desempenho:

	POTÊNCIA(KW)	%BUTANOS	RENDIMENTO(%)	CO (ppm)
Petrogás	1,443	2,090	54,173	431
Ultragás -Mauá	1,391	13,790	57,000	186
Minasgas-PR	1,455	29,170	57,693	161
Ultragás - RS	1,477	36,120	56,783	238
Butano - CE	1,587	93,010	48,994	181

Nos gráficos comparativos por região, verificou-se as variações de potência, rendimento e CO em função da quantidade de butano.

De forma geral, deu-se uma maior ênfase para a região Sudeste devido o maior número de amostras

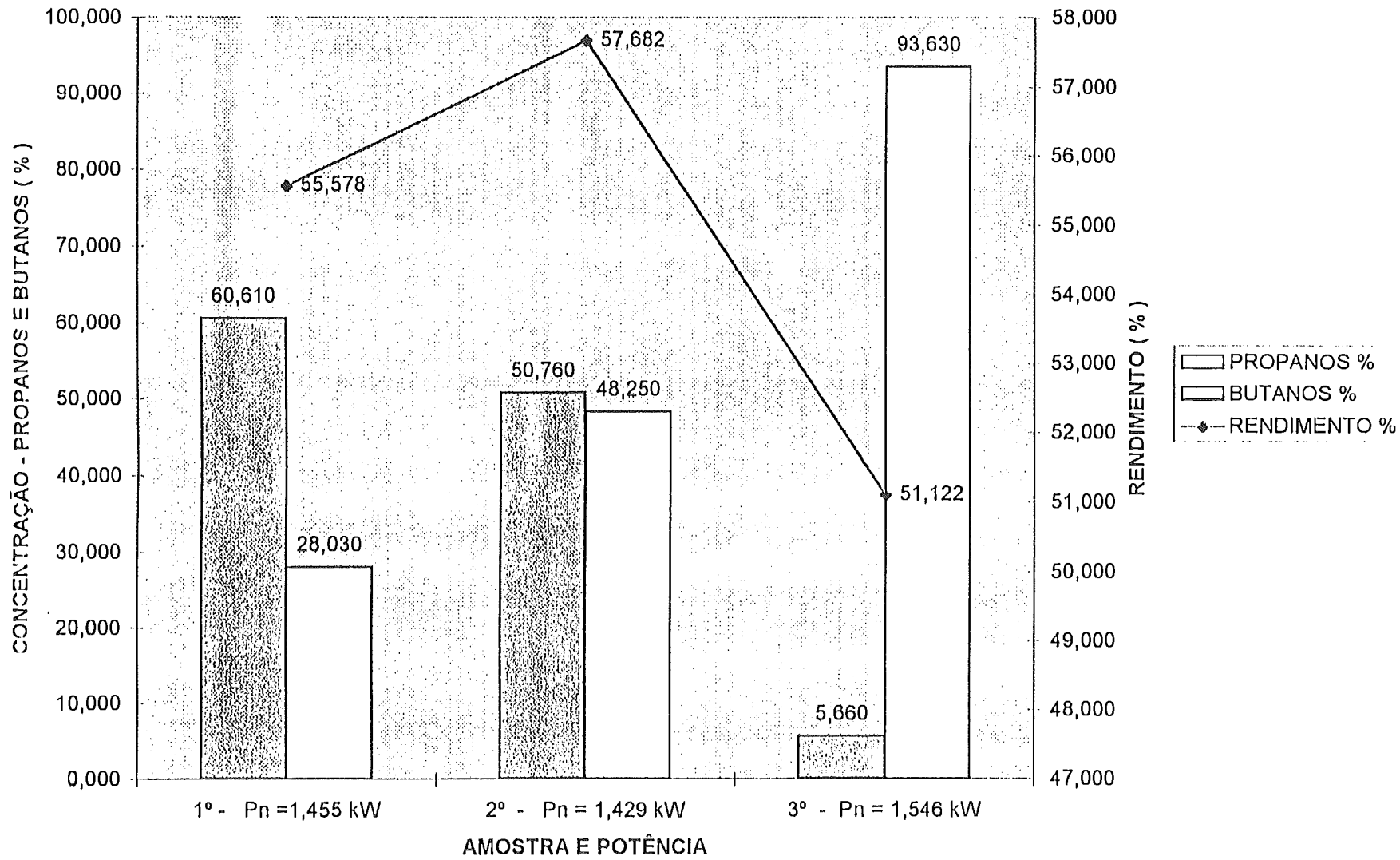
AMOSTRAS X RENDIMENTO X POTÊNCIA



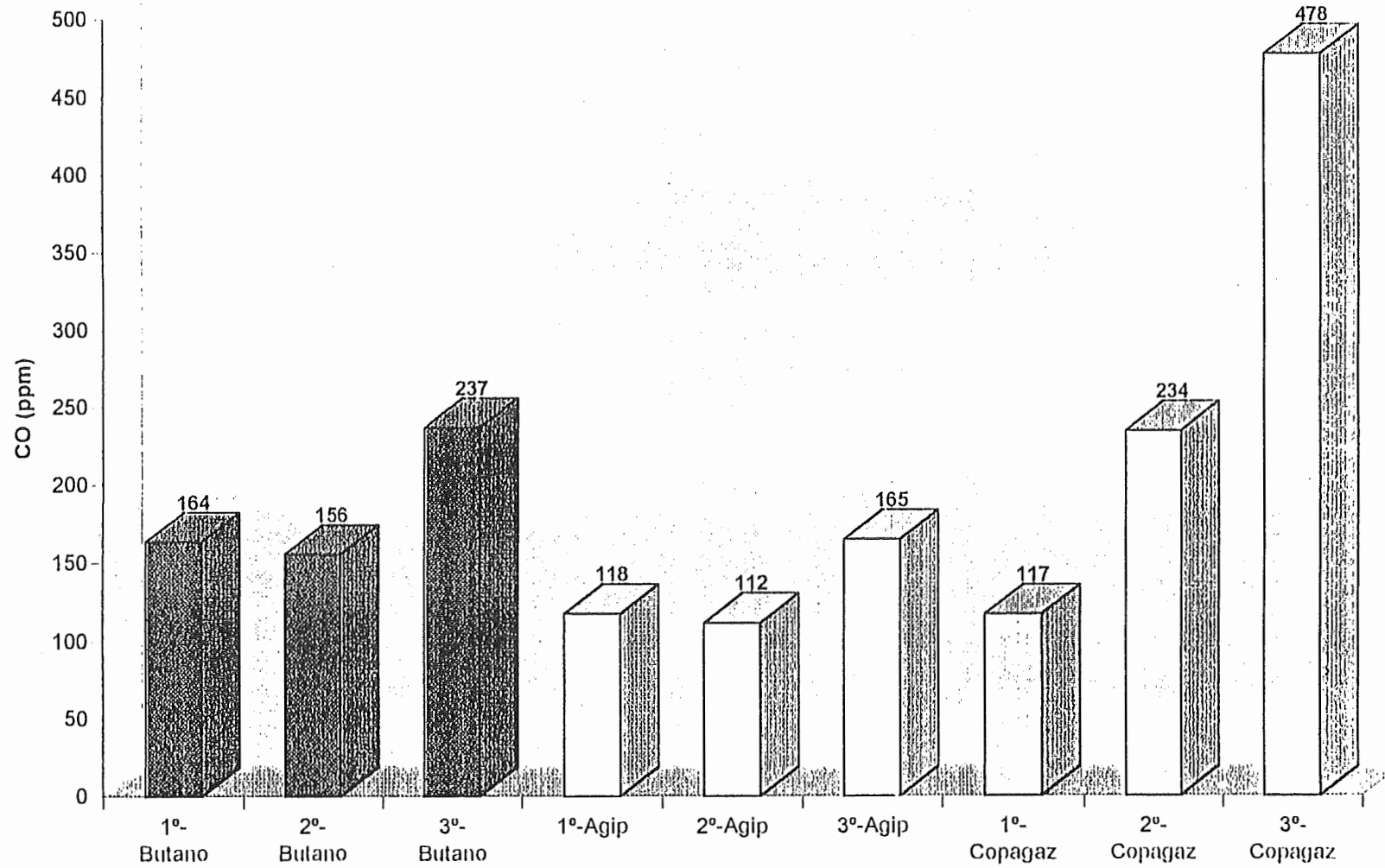
A variação da composição interna do botijão foi um resultado bastante acentuado e os gráficos comparativos de regiões também salientaram tal variação.

Assim, os gráficos de variação interna mostram como o aumento de concentração de butano no final do botijão causa alterações na potência e no Rendimento.

VARIAÇÃO DE COMPOSIÇÃO INTERNA - SUPERGASBRÁS (PAULÍNIA)



Varição interna de CO



12 - Conclusão :

12.A VARIACÃO REGIONAL

A nível de variações regionais, podemos verificar que existem diferenças significativas em todo país. Contudo nada se pode afirmar de como elas ocorrem, uma vez que o número de amostras foi relativamente pequeno, podendo cairmos no erro ao generalizar características de apenas determinada produção (safra). Contudo, sabemos que existem diferenças no que se refere às refinarias e além disso, de como funciona o abastecimento, seja auto-suficiente, proveniente de outras refinarias ou até mesmo de Importações de várias regiões mundiais.

Em termos de importações, muito se tem discutido sobre o país de procedência. De forma concreta, podemos citar a grande quantidade de "Propanos" encontrada nas amostras de oriundas de Mauá, tanto das distribuidoras Ultragás quanto da Agipliquigás. É que boa parte do GLP vendido em São Paulo é proveniente de importações, que chegam em São Sebastião, vindas do Oriente Médio. Este gás apresenta altas quantidades de Propanos, além de alto grau de pureza. Tal fato também pode ser comprovado pelos estudos da Ultragás (em anexo).

Uma outra variação do tipo regional é no que se refere às características do GLP de Fortaleza e de Porto Alegre. A expectativa que se tinha era de um gás rico em "Propanos" no Nordeste e o oposto no Sul do país. Tal fato foi levantado exatamente de maneira contrária, ou seja, um gás rico em "Butanos" no Nordeste e em "Propanos" na região Sul. é um fator positivo, visto que em locais de temperaturas menores é indicado gases mais voláteis para que o consumo seja mais eficaz..

12.B COMPARAÇÃO ENTRE DISTRIBUIDORAS :

A comparação entre Distribuidoras foi feita na região de Campinas, utilizando a Refinaria de Paulínia - REPLAN. Comparou-se 6 grandes distribuidoras, porém descartou-se a amostra proveniente da Ultragás, uma vez que esta não estava compatível com os produtos do mercado (amostra muito "perfeita"), podendo causar discrepância.

Em termos comparativos, nota-se que todas as amostras apresentaram altas concentrações de "PROPANOS" (compostos com até 3 carbonos). As amostras da Petrogaz e da Butano, apresentaram uma maior quantidade de PROPANO, contudo as amostras da Supergasbrás, Agip. e Copagaz demonstraram altas quantidades de PROPENO, fato que não estava nas expectativas. O PROPENO possui um PCS (poder calorífico superior) menor, mas este fato será analisado posteriormente, em termos de influência no fogão.

Através das cromatografias, pode-se verificar que as amostras seguem uma mesma tendência, ou seja, apresentam maior quantidade de "PROPANOS". Desta forma, confirma-se a hipótese de que a *composição do gás depende principalmente da refinaria proveniente* e conseqüentemente das características de sua produção e não da Distribuidora. As diferenças que ocorrem em relação às Distribuidoras são relativas à qualidade dos botijões (segurança) e custos. A qualidade dos botijões está diretamente ligada à sua permanência no mercado

sem vistorias (existem botijões com mais de 40 anos em plena utilização). As variações do gás ocorrem em menor quantidade para aquelas que possuem maior número de tanques de armazenagem, misturando gases de diferentes produções. Geralmente o controle é feito por medições de densidade, sem verificar a composição. Segue em anexo reportagem sobre o projeto de qualidade de botijões que já está em vigor.

ANEXO :

DISTRIBUIDORA DEVERÁ USAR O PRÓPRIO BOTIJÃO

Origem : Da Sucursal de Brasília ;

Edição : São Paulo Sep 3, 1997;

A partir de 8 de outubro, as empresas distribuidoras de gás só poderão vender o combustível em seus próprios botijões. A regra está no código de auto-regulamentação das distribuidoras, cujo prazo de adesão terminou ontem. O código obriga as distribuidoras a se responsabilizarem pela segurança de seus botijões, que serão fiscalizados pelo Departamento Nacional de Combustíveis. Para viabilizar a troca de botijões entre as empresas, as distribuidoras instalaram 10 centros de troca. Segundo o Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Gás, de novembro de 1996 até julho, o setor investiu R\$ 60 milhões na requalificação de 1,6 milhões de botijões e na compra de 2,7 milhões de botijões novos.

Um levantamento da Comissão do Consumidor da Câmara dos Deputados indica que vazamentos de gás causam 45 incêndios por dia no país. Só neste ano foram registrados 5.217 casos de vazamento em São Paulo. O estado é campeão em ocorrências. Entre 94 e 95, segundo o Corpo de Bombeiros, aconteceram 11.374 vazamentos. Em segundo lugar está o Ceará com 1.356 casos no mesmo período.

As principais causas são má conservação de botijões e erro no manuseio por parte do consumidor.

Também segue como complemento, relatórios técnicos fornecidos pela Utingás, mostrando as variações diárias e mensais das refinarias REPLAN e REVAP.

12.C INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO NO DESEMPENHO E VARIAÇÃO DE COMPOSIÇÃO INTERNA :

A composição interna apresentou grandes alterações no decorrer da utilização do botijão. Através dos gráficos, pode-se verificar o consumo de "leves" no início e assim, um aumento da concentração de pesados, que são consumidos mais no final e a potência, o rendimento e a % CO refletem tais variações.

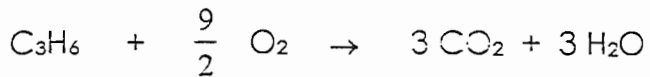
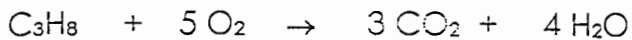
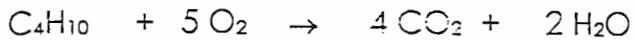
De forma geral, ocorreram aumentos de potência, rendimento e % CO. Pode-se dizer que estes aumentos estão diretamente relacionados à elevação da concentração de "BUTANOS". Este aumento não implica em um aumento do componente, mas sim na sua proporção em relação aos outros componentes que são consumidos inicialmente.

Para a Potência o motivo é o fato do BUTANO apresentar um PCS (poder calorífico superior) de 128,63 MJ/m³, maior que dos outros componentes. E como já citado no início, a Potência é diretamente proporcional ao PCS. Como o PCS foi calculado em função da concentração dos componentes de cada cromatografia, o aumento da

concentração de BUTANO causou um aumento do PCS e assim, um aumento na potência.

No caso do Rendimento, o aumento pode ser verificado em função do volume do gás utilizado ser maior quando se tem uma quantidade maior de BUTANO (maior densidade). Como o Rendimento é inversamente proporcional ao volume de gás utilizado, tem-se o aumento.

Em termos de % CO, também notou-se um aumento no decorrer da utilização do botijão. Neste caso, verifica-se com a análise dos gases puros que a maior taxa de CO foi para o BUTANO (565 ppm), seguida do PROPANO (255 ppm) e PROPENO (200 ppm). Isto pode ser comprovado pelas próprias equações de Combustão :



Verifica-se no caso das combustões que quanto maior a quantidade de carbonos, maior a quantidade de CO₂ liberada. Assim explicam-se os maiores valores de CO no final do botijão. Para diferenciar o PROPANO e o PROPENO, podemos analisar o tipo de ligações entre seus carbonos. O PROPENO apresenta dupla ligação e esta possui maior facilidade de quebra, liberando menor quantidade de CO quando comparada com o PROPANO.

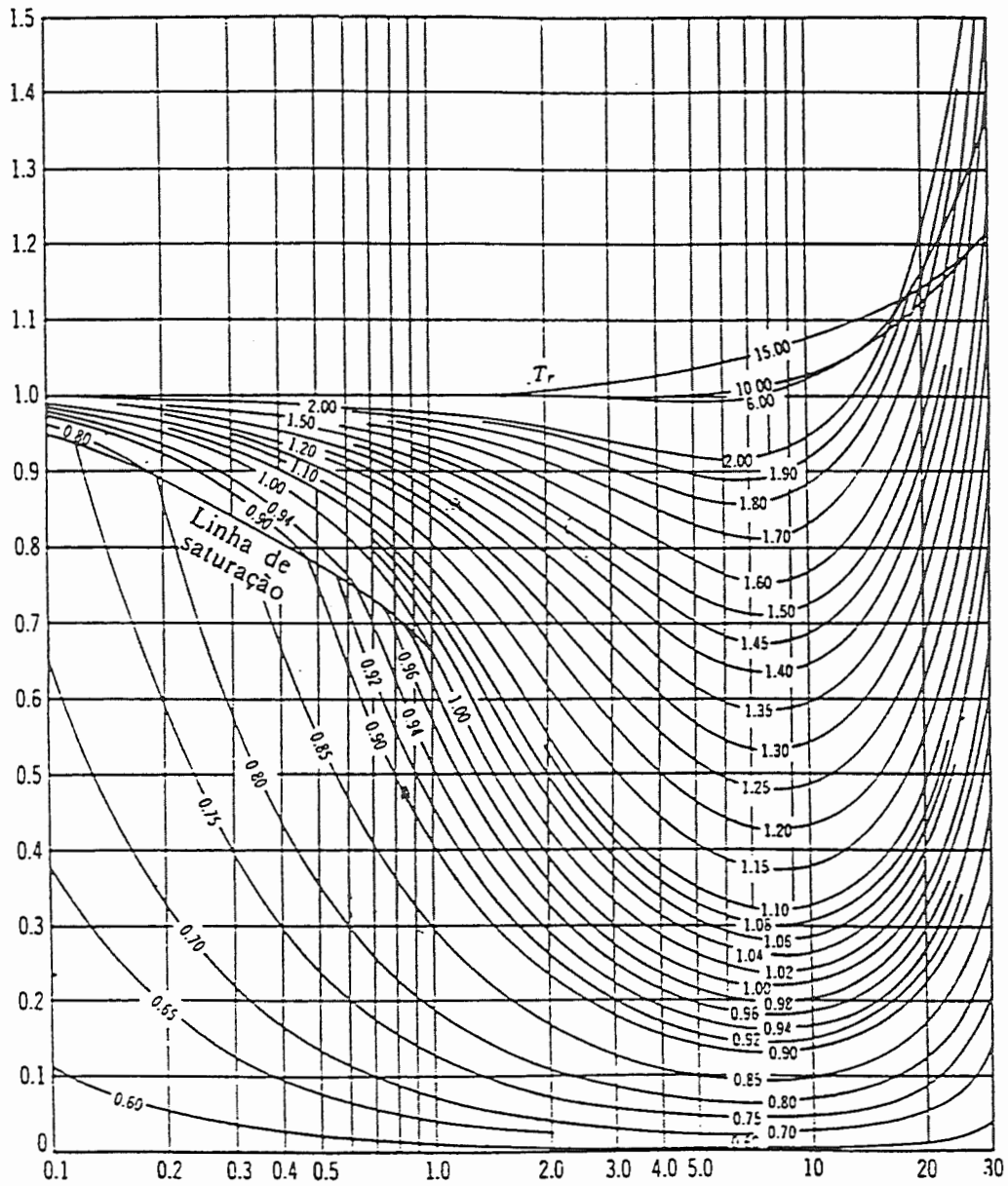
RESULTADOS COMPARATIVOS FINAIS

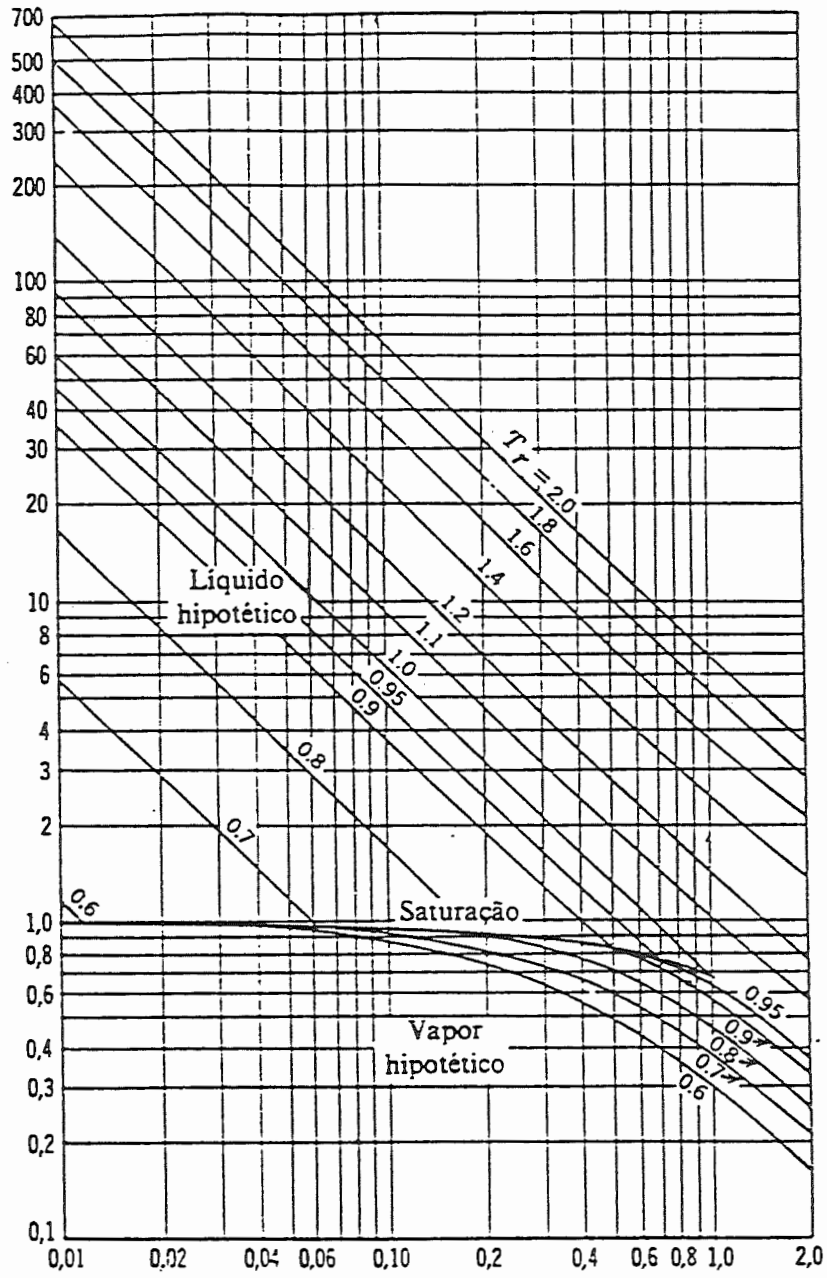
AMOSTRA	ENSAIO	PROPANOS %	BUTANOS %	TOTAL %	PCS kcal /m ³	PCS MJ /m ³	DENSIDADE RELATIVA	Pn (MJ/H)	RENDIMENTO %	CO UNDILUTED %
	1º	92,580	2,090	94,670	23168,667	97,003	1,487	1,443	54,173	431
	2º	95,860	2,370	98,230	23367,971	97,837	1,507	1,376	57,860	347
Patross	3º	94,080	5,740	99,820	23635,522	98,957	1,532	1,371	57,387	351
	1º	60,610	28,030	88,640	24507,943	102,610	1,565	1,455	55,578	363
	2º	50,760	48,250	99,010	26096,005	109,259	1,715	1,429	57,682	365
Supercargas	3º	5,660	93,630	99,290	29401,773	123,059	1,946	1,546	51,122	408
	1º	73,940	22,340	96,280	24478,841	102,488	1,587	1,426	53,708	364
	2º	64,120	35,410	99,530	25456,029	106,579	1,666	1,427	56,835	356
Butano	3º	18,020	81,800	99,820	28409,192	118,944	1,881	1,490	58,464	357
	1º	61,070	26,840	87,910	24367,063	102,020	1,555	1,438	53,973	338
	2º	53,010	45,800	98,810	25896,431	108,423	1,701	1,442	57,575	332
Apeliquados	3º	7,050	92,350	99,400	29259,192	122,502	1,937	1,527	56,602	365
	1º	57,350	28,090	85,440	24356,457	101,976	1,546	1,459	55,443	317
	2º	-	-	-	-	-	-	-	-	234
Cocagaz	3º	13,900	85,570	99,470	28761,167	120,417	1,903	1,508	56,851	473
	1º	60,200	34,740	94,940	25785,463	107,959	1,656	1,449	57,373	347
	2º	48,780	50,610	99,390	26871,955	112,508	1,754	1,476	57,378	305
Superg R.	3º	13,480	85,710	99,190	29127,882	121,953	1,919	1,511	58,718	737
	1º	66,780	29,170	95,950	24642,159	103,172	1,606	1,455	57,693	361
	2º	19,950	79,270	99,220	28415,789	118,971	1,880	1,492	57,606	353
Minasgás-PR	3º	9,730	88,770	98,500	29049,880	121,626	1,926	1,492	59,430	726
	1º	62,200	36,120	98,320	25785,463	107,959	1,656	1,477	56,683	298
	2º	23,380	76,530	99,910	26871,955	112,508	1,754	1,532	57,783	430
Ultragás - RS	3º	12,860	86,800	99,660	29577,700	123,836	1,950	1,523	60,517	359
	1º	83,190	13,790	96,980	24194,000	101,295	1,560	1,391	57,000	366
	2º	77,850	21,700	99,550	28415,789	118,971	1,880	1,394	58,279	290
Ultragás - Mauá	3º	-	-	-	29049,880	-	1,926	-	-	484
	1º	-	-	-	25785,463	-	1,656	-	-	356
	2º	85,960	13,340	99,300	26871,955	112,508	1,754	1,348	61,356	315
Ágio - Mauá	3º	69,260	30,760	100,020	29127,882	121,953	1,919	1,428	61,014	352
	1º	5,270	93,010	98,280	24478,841	102,488	1,587	1,587	48,994	381
	2º	0,720	98,880	99,600	25456,029	106,579	1,666	1,506	51,102	614
Butano - CE	3º	0,560	97,340	97,900	28409,192	118,944	1,881	1,405	58,276	-
BUTANO		-	-	-	30722,000	128,627	2,007	1,542	58,676	565
PROPANO		-	-	-	23698,000	99,219	1,522	1,393	53,597	255
PROPENC		-	-	-	22395,000	93,763	1,450	1,403	69,375	200
	1º	56,720	39,670	96,390	25454,817	106,574	1,665	-	-	-
UTINGÁS	2º	38,210	61,240	99,450	27512,001	115,187	1,807	-	-	-
(se cromatograf.)	3º	39,630	57,850	97,480	26790,357	112,165	1,760	-	-	-



APÊNDICE 2:

GRÁFICOS PARA CÁLCULO DA COMPOSIÇÃO DE UMA MISTURA DE BUTANO E PROPANO DE DUAS FASES, UTILIZANDO-SE O PROCEDIMENTO DESCRITO NA PARTE DE TEORIA DOS GASES.





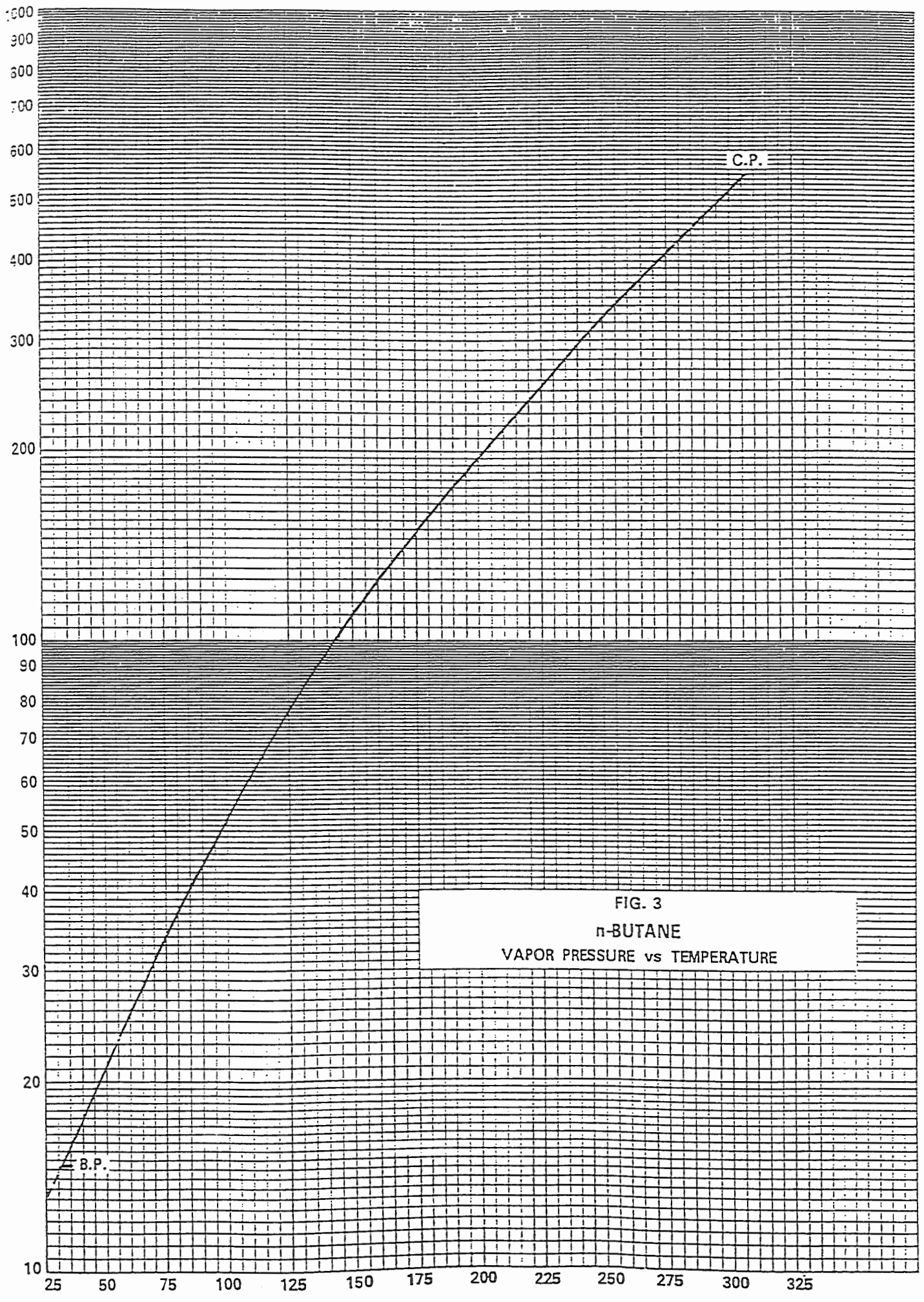


FIG. 3
n-BUTANE
VAPOR PRESSURE vs TEMPERATURE

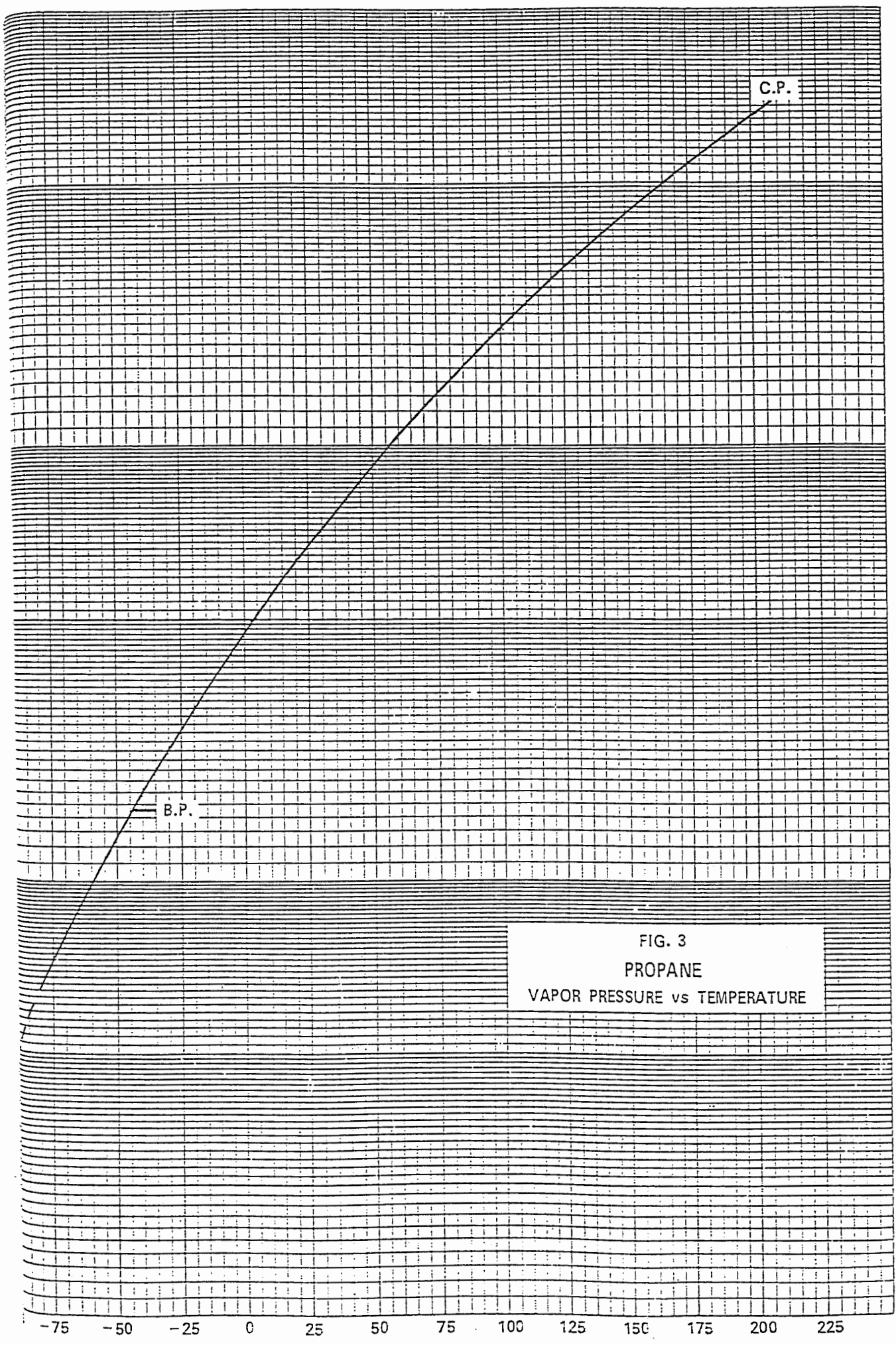
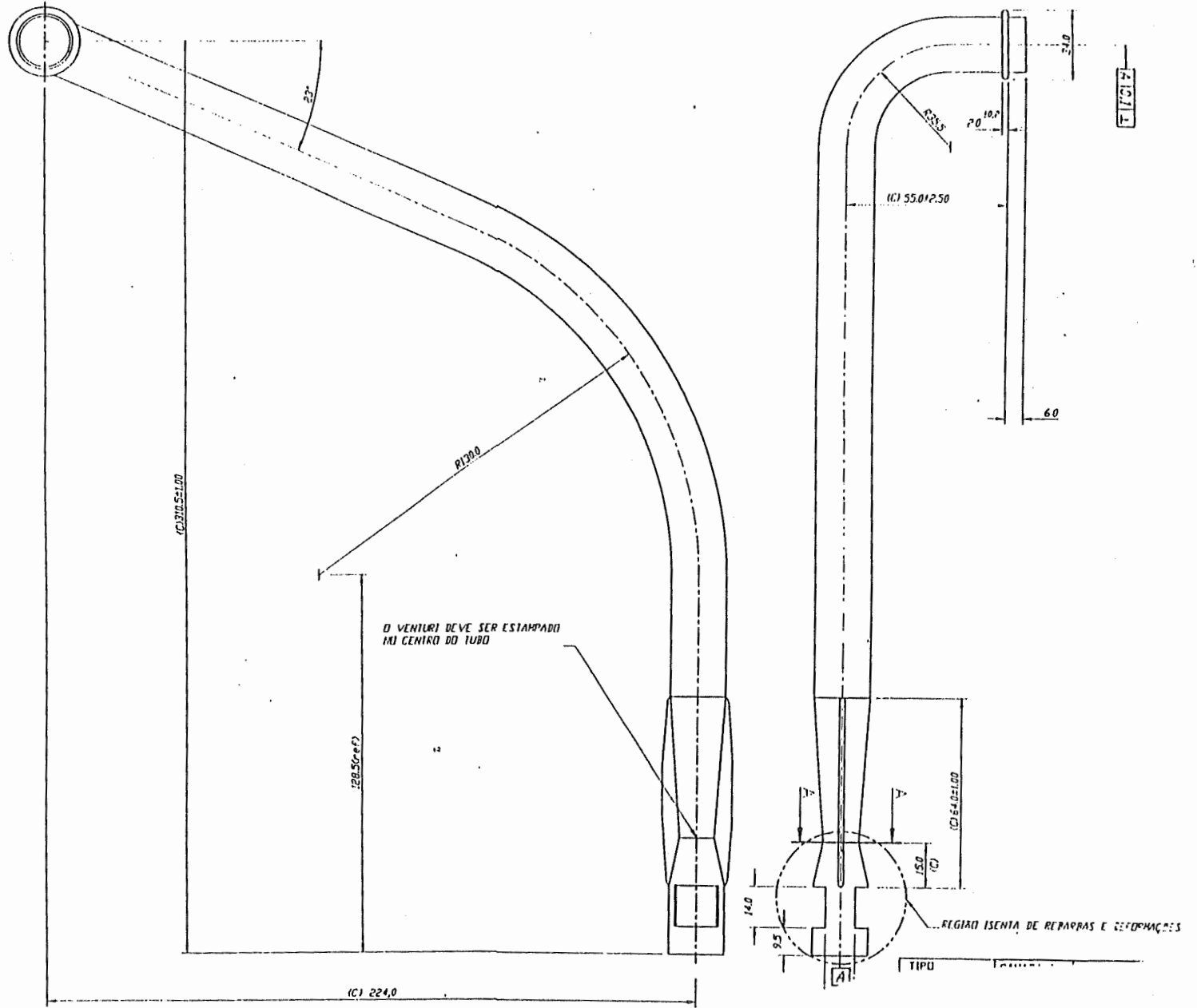
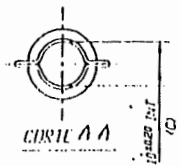
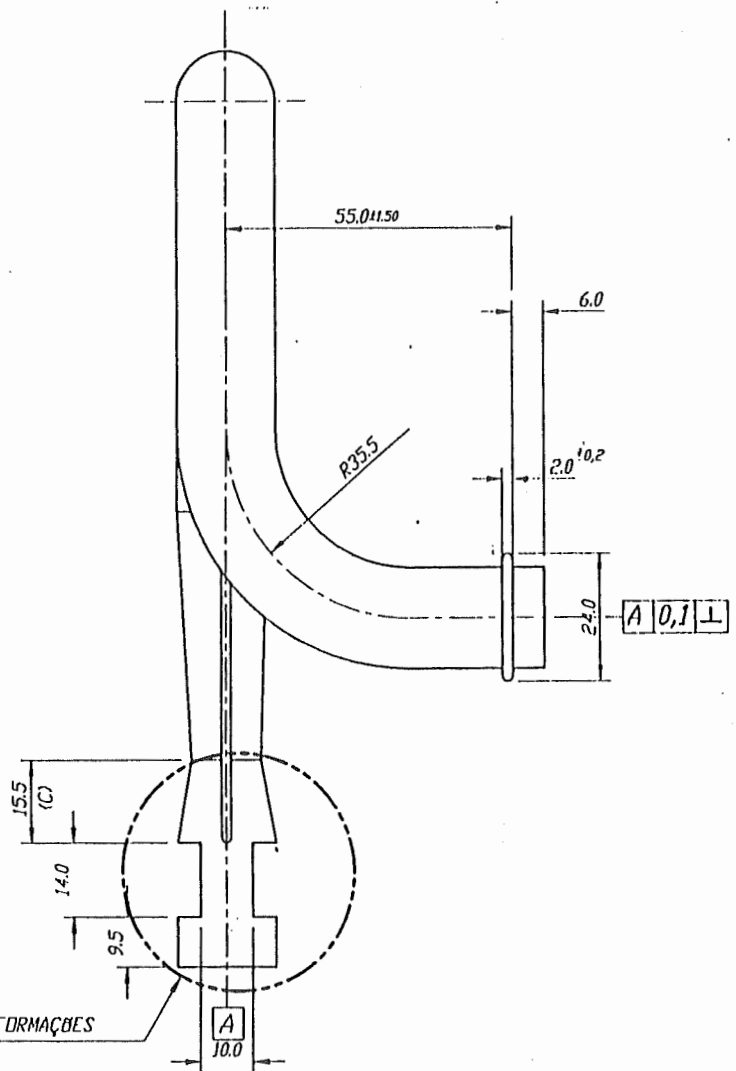
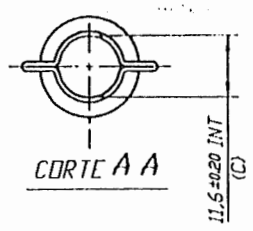
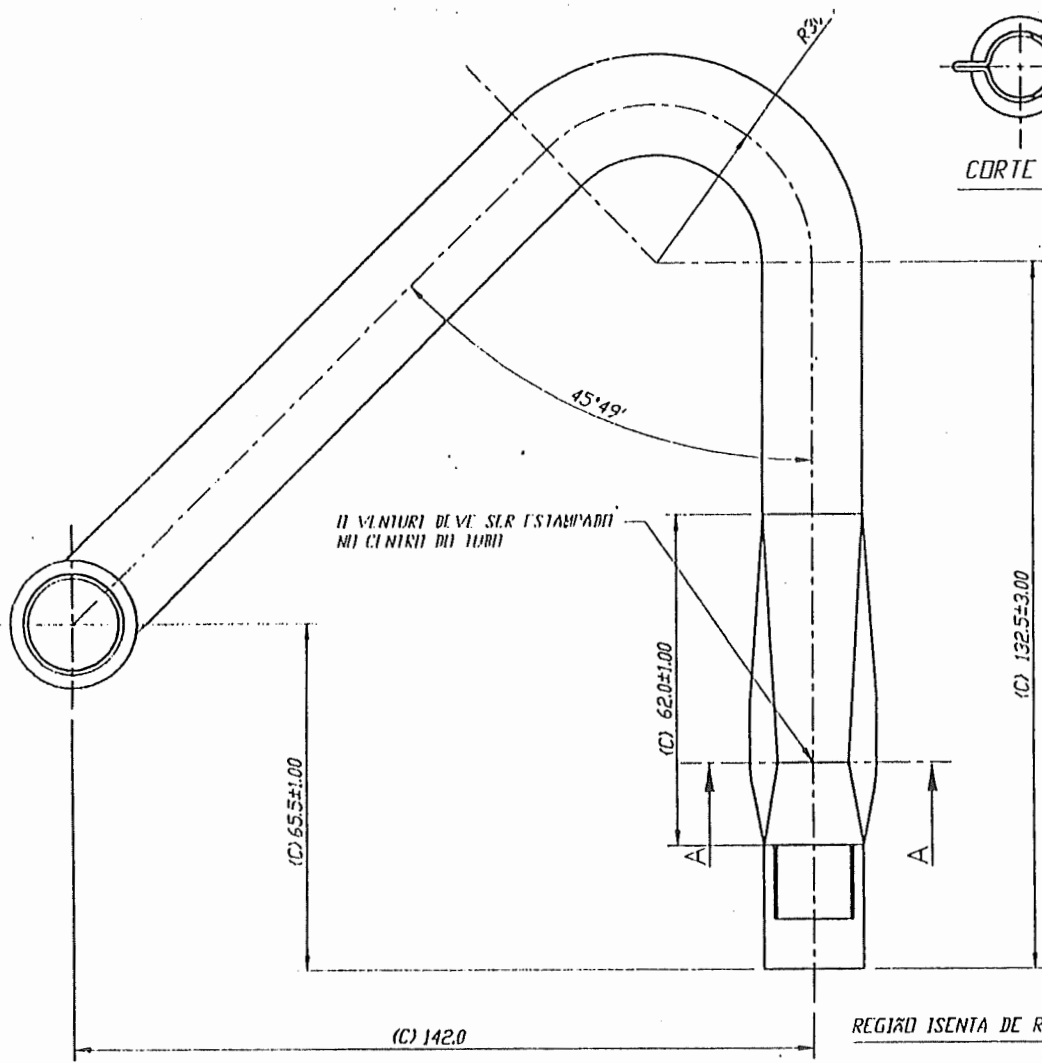


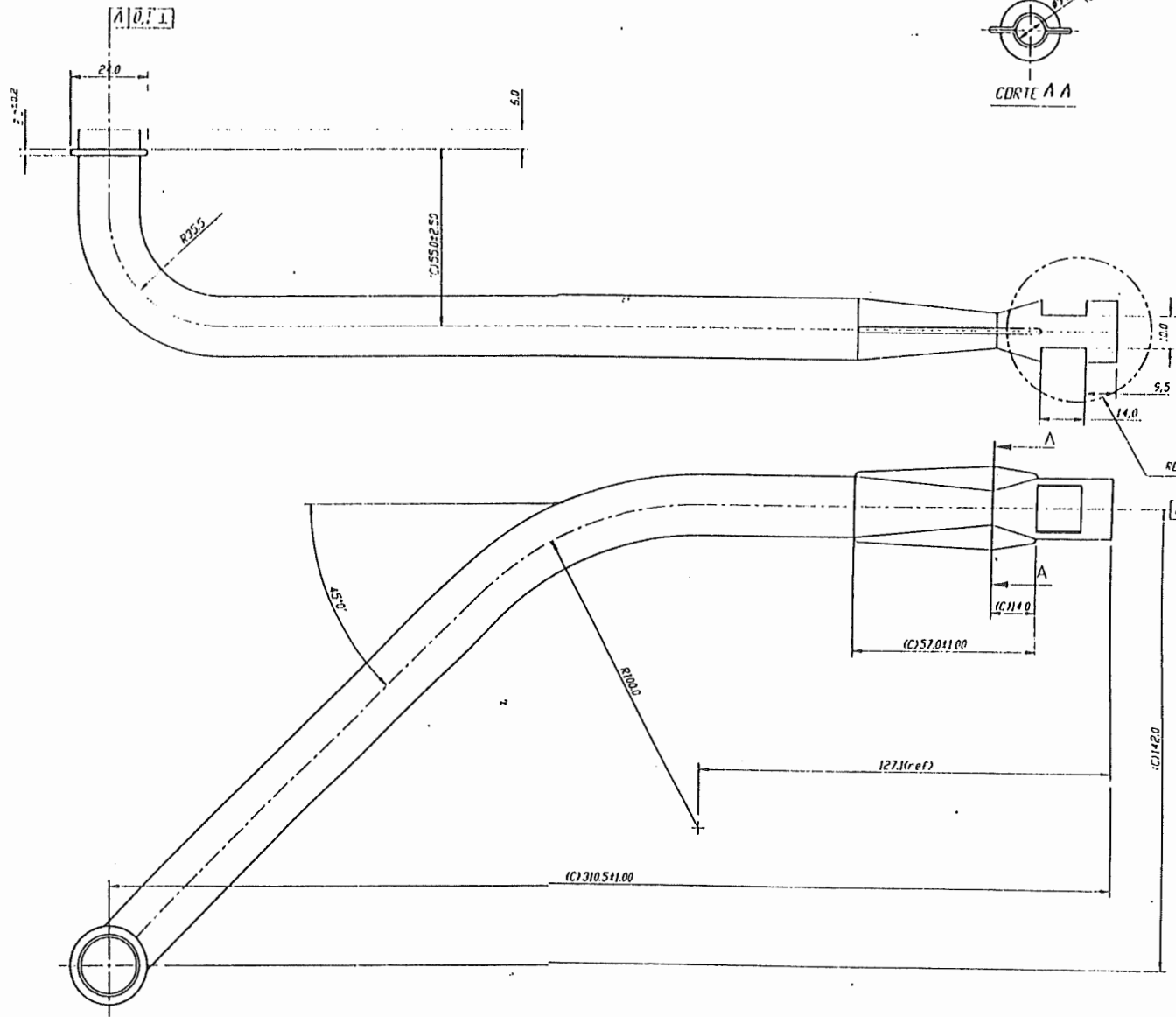
FIG. 3
PROPANE
VAPOR PRESSURE vs TEMPERATURE

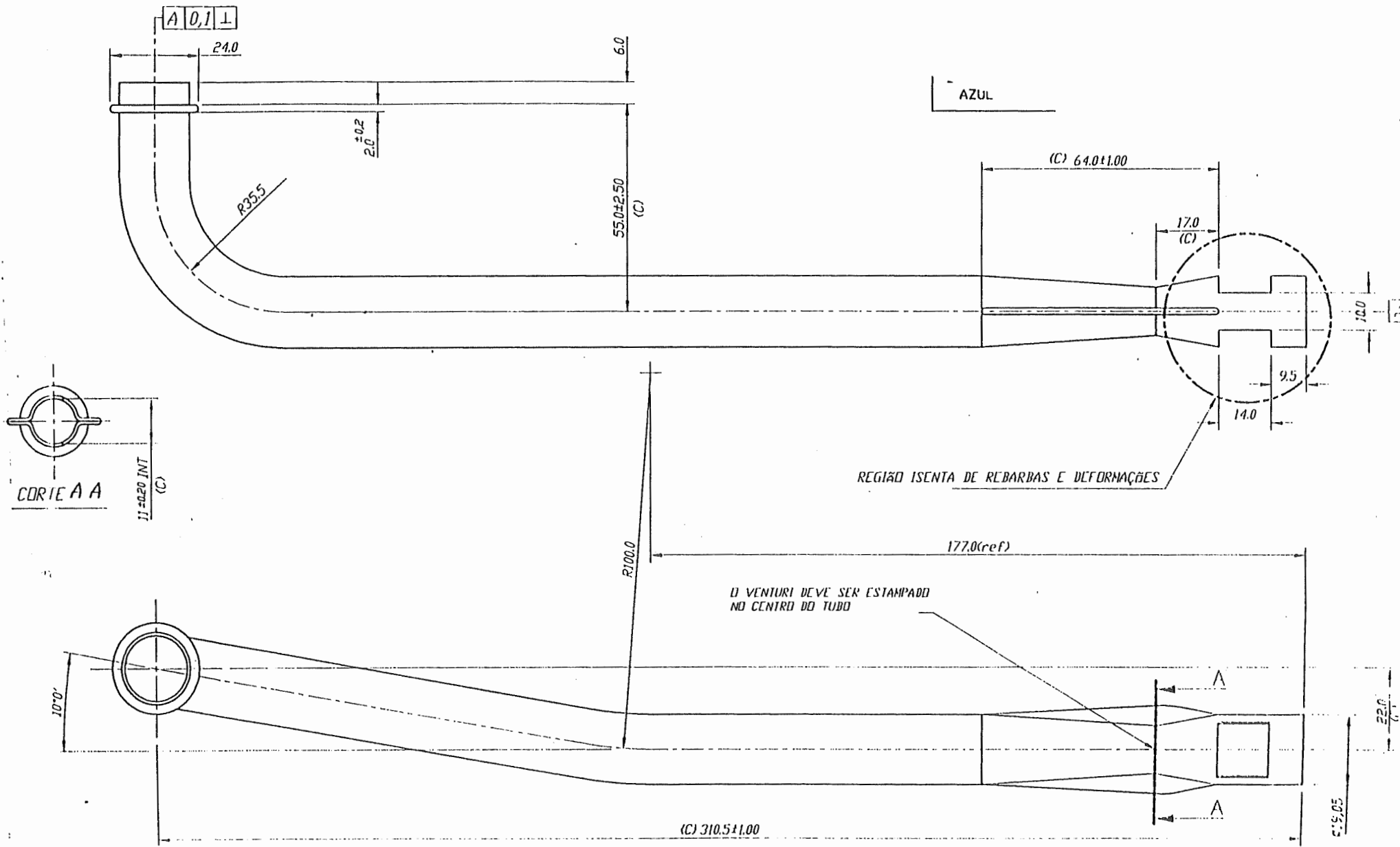
APÊNDICE 3:

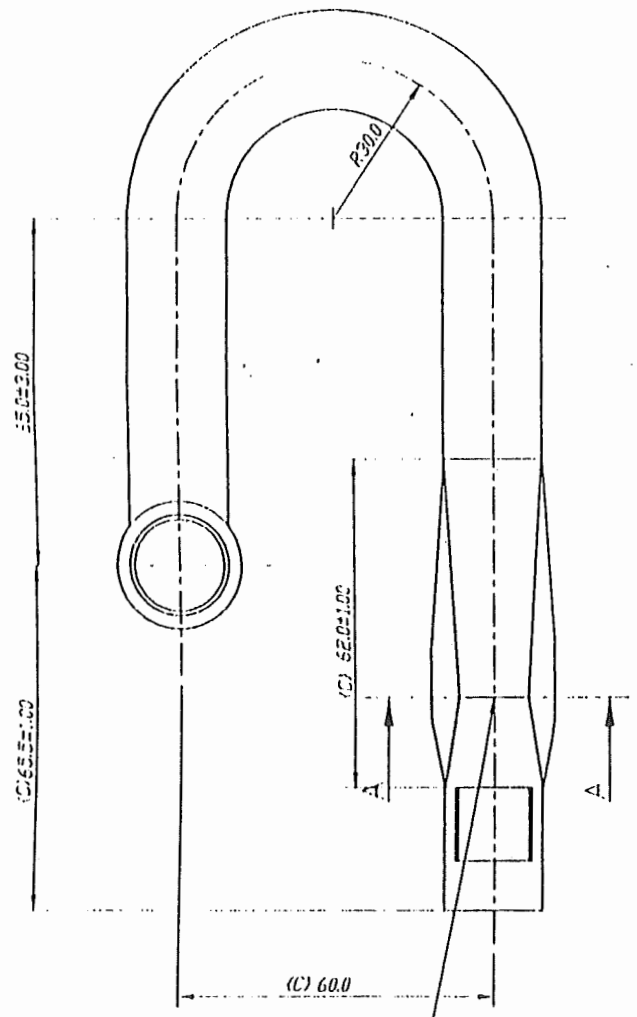
TUBOS VENTURI DOS QUEIMADORES DA MESA DE UM FOGÃO DOMÉSTICO



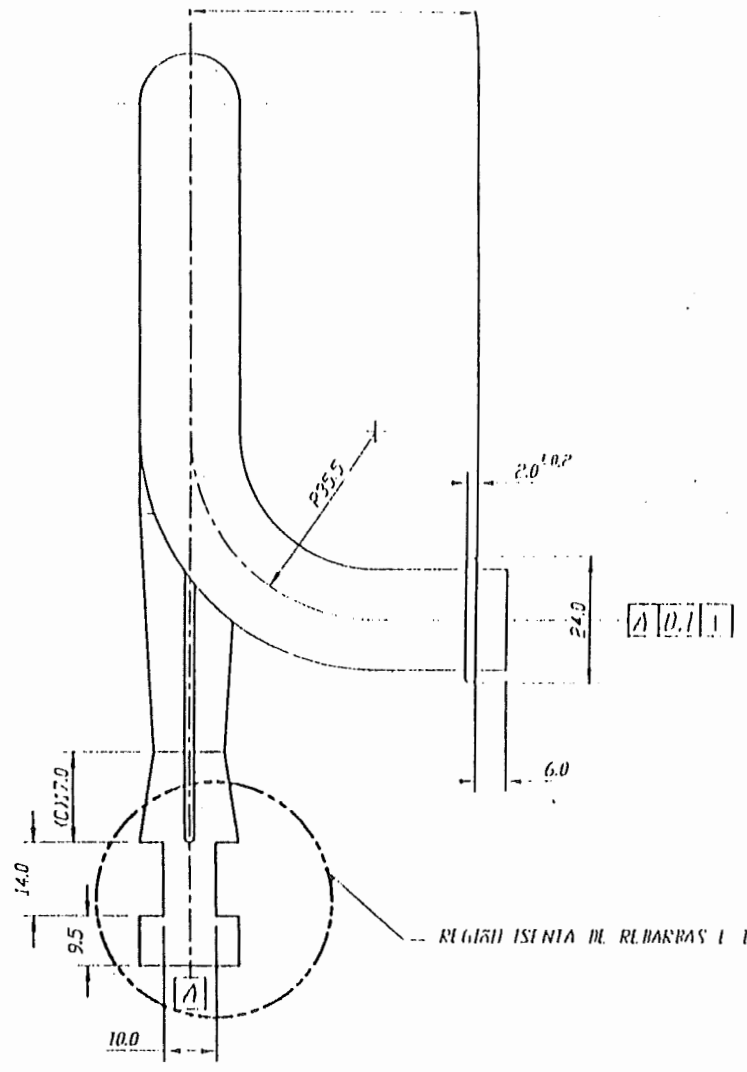




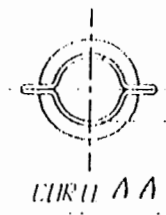




O VENTURI DEVE' SRLR ESTIPADU
 MI CENTRU DI TUBU



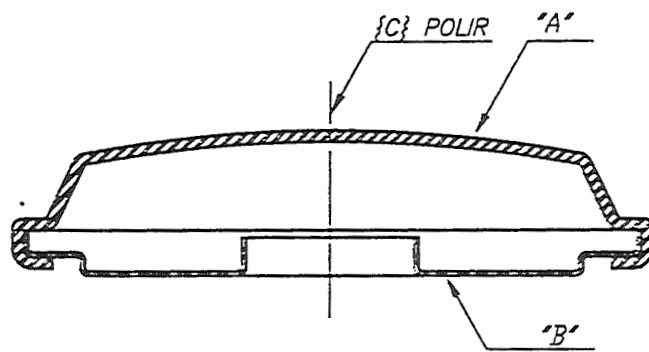
REGIONI ISENTIA DE REDARBAS I DE TURMAÇHUS



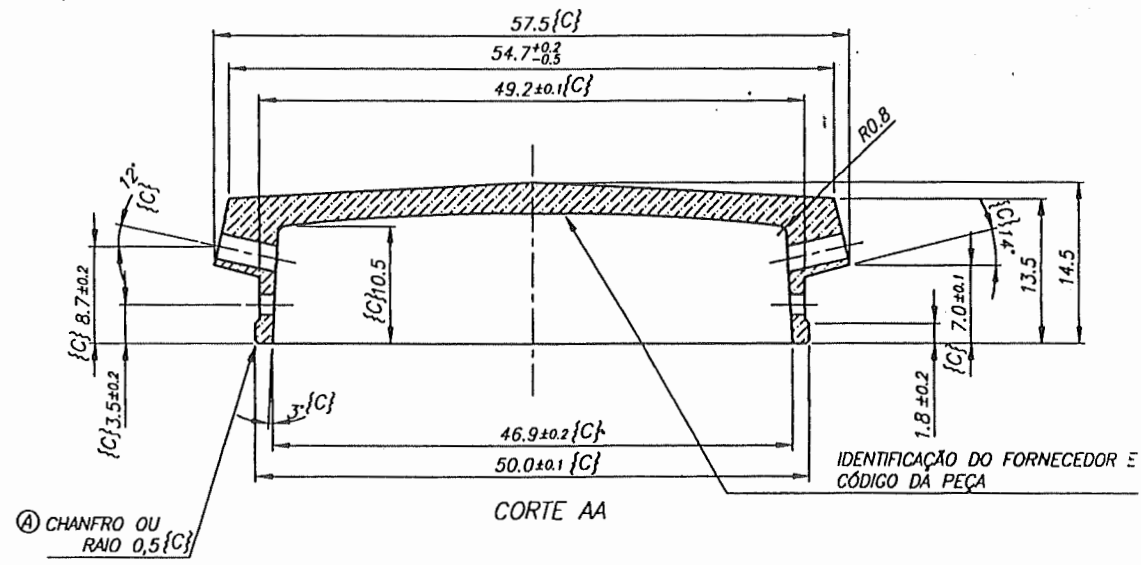
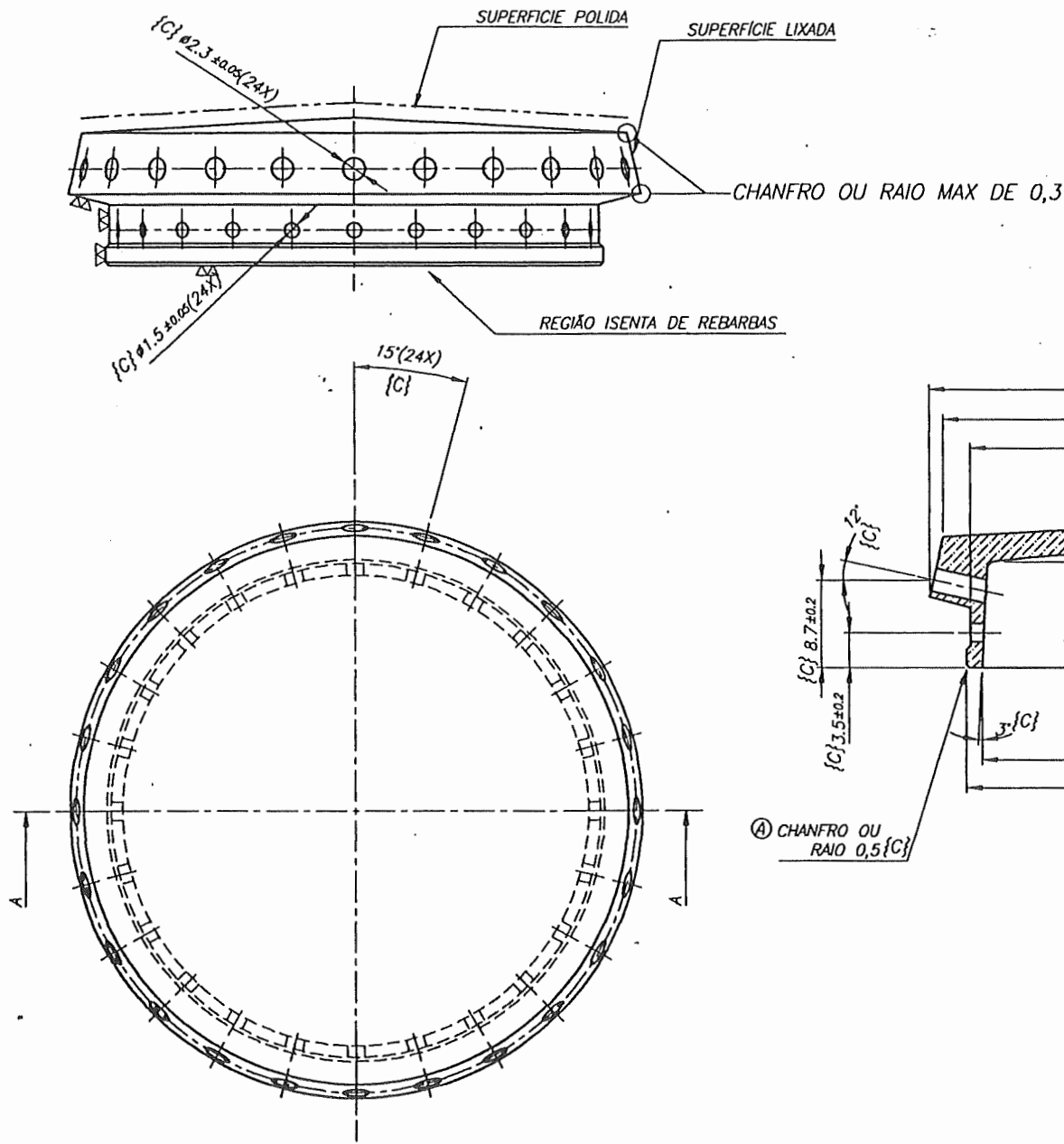
10.5 ± 0.20

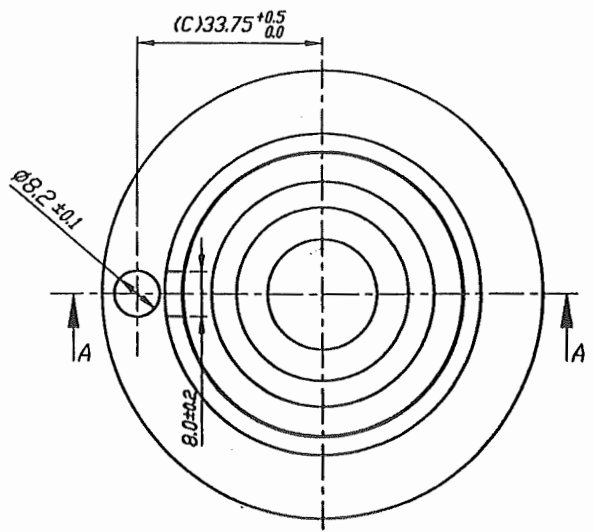
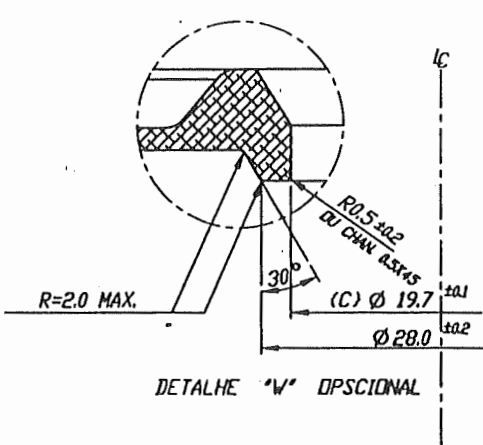
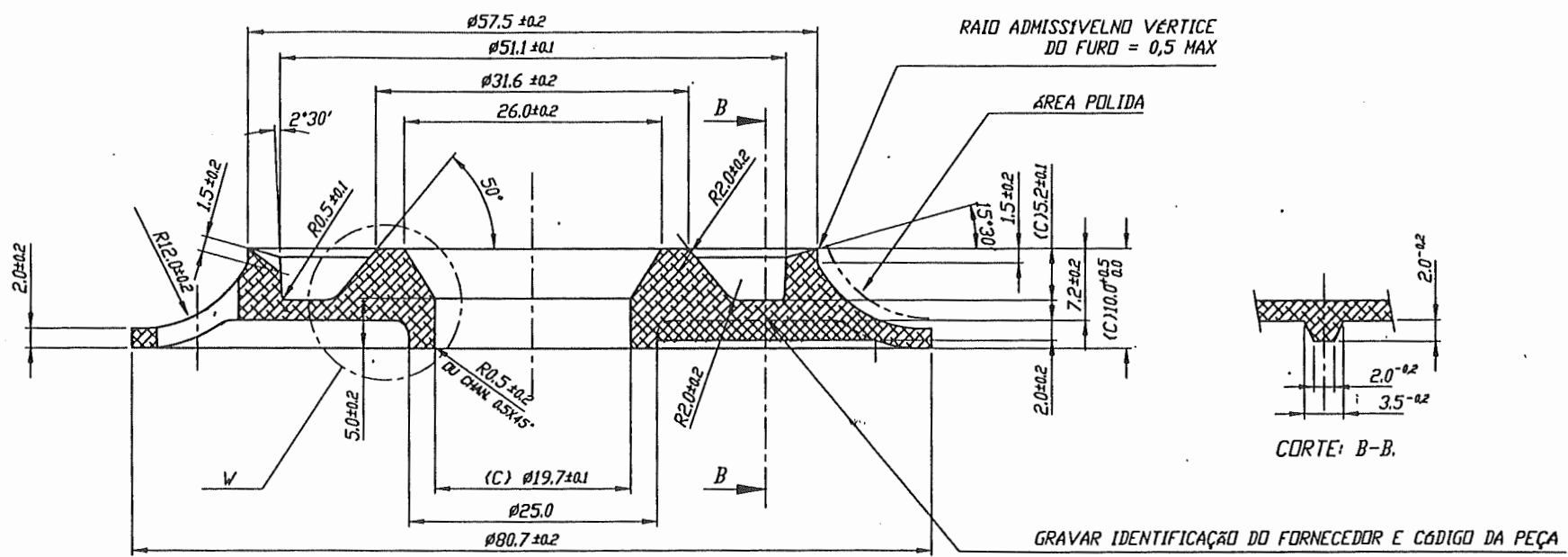
APÊNDICE 4 :

QUEIMADORES DA MESA DE UM FOGÃO DOMÉSTICO



NOTA: CONJUNTO CRAVADO ESTANQUE





GLOSSÁRIO

ajustador do ar primário (*primary air adjuster*): Dispositivo que permite à aeração de um queimador ser fixada em um valor predeterminado de acordo com as condições de fornecimento. A operação de mudança de fixação deste dispositivo é chamada de “ajuste do ar primário”.

ar primário (*primary air*): Volume de ar arrastado pelo deslocamento do gás no injetor.

ar teórico (*theoretical air*): Volume de ar necessário para a combustão estequiométrica de uma unidade de volume de gás.

circuito da combustão (*combustion circuit*): Sistema que consiste em uma câmara de combustão e um circuito para a remoção dos produtos da combustão.

CNTP - Condição Normal de Temperatura e Pressão (*normal reference conditions*):

T= 0 °C, P= 101,3 kPa (1013 mbar)(760 mmHg), seco

condição de referência de ensaio (*reference test conditions*):

T= 15 °C, P= 101,3 kPa (1013 mbar) (760 mmHg)

conversão (*conversion*): Operação realizada por um especialista em um aparelho no momento da mudança de gás.

densidade relativa do gás (*gas relative density*): Razão da massa de um volume de gás seco pela massa de um igual volume de ar seco sob as mesmas condições de temperatura e pressão.

descolamento da chama ou soprimento (*flame lift*): Fenômeno caracterizado pelo movimento parcial ou total da base da chama para longe das aberturas do queimador.

estabilidade da chama (*stability of flames*): As chamas são consideradas estáveis nas aberturas do queimador, quando os fenômenos de descolamento ou retorno de chama não ocorrem.

fogão (*cooker*): aparelho de cocção que consiste em uma mesa com dois ou mais queimadores, podendo ou não conter:

- um ou mais forno(s), com ou sem termostato;
- uma ou mais grelhadeira(s) por contato;
- uma ou mais grelhadeira(s) por irradiação.

formação de fuligem (*sooting*): Fenômeno que aparece quando ocorrem pontas amarelas e que se caracteriza por um depósito de fuligem nas superfícies em contato com as chamas ou com os produtos da combustão.

gargalo (throat): Componente que faz a conexão do queimador à tubulação que conduz o gás. Este item é responsável pelo posicionamento do queimador em relação à mesa.

injetor (injector): Componente que regula a passagem do gás para o interior de um queimador aerado. Existem dois tipos de injetores:

- a) injetor calibrado, onde a seção do orifício de saída é fixa;
- b) injetor ajustável, onde a seção do orifício de saída é variável.

número de Wobbe (Wobbe number): Razão entre o poder calorífico de um gás, por unidade de volume, e a raiz quadrada da densidade relativa do mesmo gás. O número de Wobbe pode ser superior ou inferior, dependendo se o poder calorífico é superior ou inferior. O número de Wobbe é expresso em megajoule por metro cúbico de gás seco (MJ/m³), sob as condições de referência.

$$\text{Wobbe} = \frac{\text{PCS ou PCI}}{\sqrt{\text{densidade relativa}}}$$

poder calorífico (calorific value): Quantidade de calor produzida pela combustão completa a uma pressão constante de 101,33 kPa (1013,25 mbar) (760 mmHg) de uma unidade de volume ou massa de gás, com os constituintes da mistura de combustão estando a 15°C e 101,33 kPa (1013,25 mbar) (760 mmHg), e os produtos da combustão sendo levados às mesmas condições.

A seguinte distinção é feita entre dois poderes caloríficos:

- a) poder calorífico superior (PCS): a água produzida pela combustão é considerada condensada;
- b) poder calorífico inferior (PCI): a água produzida pela combustão é considerada como estando na forma de vapor.

Os poderes caloríficos são expressos nas seguintes unidades de energia referidas:

- a) pela unidade de volume de gás seco medido na condição de referência de ensaio. Eles são então expressos em megajoule por metro cúbico (MJ/m³); ou
- b) pela unidade de massa de gás seco. Eles são então expressos em megajoule por quilograma (MJ/kg).

pontas amarelas (yellow tipping): Fenômeno caracterizado pela presença de coloração amarela no topo de um cone azul de uma chama aerada.

potência (heat input): Produto da vazão em volume ou massa pelo poder calorífico do gás (convertido para as mesmas condições de referência). É expresso em quilowatts (kW).

potência nominal de um queimador (nominal heat input of a burner): Valor da potência de um queimador, como declarado pelo fabricante.

pressão de fornecimento de gás (gas supply pressure): Pressão manométrica medida na conexão de entrada do aparelho. Ela é expressa em quilopascal (kPa) [milibar (mbar)].

NOTA - 1 kPa = 10 mbar = 7,5025 mmHg. = 102 mm H₂O.

queimadores (burners): Componentes que permitem a queima do gás, podendo ser de dois tipos:

a) queimadores não aerados: queimadores nos quais o ar para combustão é obtido inteiramente na saída do queimador;

b) queimadores aerados: queimadores nos quais parte do ar para a combustão, chamado de “ar primário”, é arrastado pelo fluxo de gás e é misturado ao gás antes da saída do queimador. O ar remanescente, denominado “ar secundário”, é obtido após a saída do queimador. Estes queimadores consistem em:

- um injetor de gás;
- um corpo (base) formando o tubo de mistura;
- um espalhador com abertura para a saída da mistura ar-gás.

queimadores cobertos (*covered burners*): Queimadores da mesa para os quais os recipientes a serem aquecidos são afastados do contato direto com as chamas, por meio da interposição de uma superfície (placa), onde eles repousam. Um queimador coberto pode ser:

a) permanente: projetado para ser usado apenas com a placa em posição;

b) temporário: projetado de tal forma que ele possa também ser usado como um queimador descoberto após a retirada da placa removível.

queimadores descobertos (*uncovered burners*): Queimadores da mesa para os quais os recipientes a serem aquecidos estão em contato direto com as chamas.

queimadores principais (*principal burners*): Queimadores destinados a assegurar a função térmica do aparelho. Eles são denominados “Queimadores” nesta Norma.

razão de aeração primária (*primary aeration rate*): Relação entre o volume de ar introduzido ao nível do injetor por unidade de volume de gás.

registro (*tap*): Dispositivo destinado a isolar o fornecimento de gás para um queimador e eventualmente ajustar sua vazão de gás durante o uso.

regulador de pressão (*governor*): Dispositivo que mantém uma pressão de saída sensivelmente constante, quando a pressão de entrada no aparelho e a vazão de gás variam dentro de uma faixa de valores determinados.

retorno de chama (*light back*): Fenômeno caracterizado pelo retorno da chama para o interior do queimador.

trempe (*pan support*): Suporte colocado acima do queimador descoberto, que suporta os recipientes a serem aquecidos e os mantém a determinada distância do queimador.

vazão mássica (*mass rate*): Massa de gás que passa em uma unidade de tempo. A vazão mássica é expressa em quilogramas por hora (kg/h) ou gramas por hora (g/h).

vazão volumétrica (*volume rate*): Volume de gás que passa em uma unidade de tempo. A vazão volumétrica é expressa em metros cúbicos por hora (m^3/h) ou decímetros cúbicos por hora (dm^3/h), com o gás sendo medido seco e sob as condições de referência de ensaio.