



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**

FACULDADE DE ENGENHARIA

ENGENHARIA MECÂNICA

5° Ano

Estágio Profissional

**ANÁLISE DA TECNOLOGIA COMBINADA DE  
TRANSPORTE DE GÁS NATURAL EM MAPUTO**

**Discente:**

Bento Vicente Fondo

**Supervisores:**

Eng.º Mocomoque Domingos Júlio – UEM

Eng.º Amândio Pedro Guiticua – ENH - KOGAS

Maputo, Julho de 2022



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**

FACULDADE DE ENGENHARIA

ENGENHARIA MECÂNICA

5º Ano

Estágio Profissional

**ANÁLISE DA TECNOLOGIA COMBINADA DE  
TRANSPORTE DE GÁS NATURAL EM MAPUTO**

**Discente:**

Bento Vicente Fondo

---

**Supervisores:**

Eng.º Mocomoque Domingos Júlio – UEM

---

Eng.º Amândio Pedro Guiticua – ENH - KOGAS

---

Maputo, Julho de 2022

**AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar agradeço a Deus pela proteção e vida que me tem concedido.

De Seguida, agradeço a toda minha família em especial a minha querida esposa Assina Rufino, minha mãe Felizarda Chimole, ao meu pai Vicente Fondo que Deus o tenha, meu tio Bento Chimole, minhas irmãs e irmãos, pelo apoio moral e financeiro prestado ao longo desta caminhada.

Agradeço também a empresa ENH – KOGAS, SA pelo apoio na elaboração do presente relatório e pelo seu contributo na disponibilização do material ao seu dispor para a redação do presente relatório.

Meus agradecimentos são também extendidos ao Eng.º Mocomoque Domingos Júlio supervisor deste trabalho atribuído pelo Departamento de Engenharia Mecânica, ao Eng.º Amândio Pedro Guitícua supervisor atribuído pela empresa ENH – KOGAS, SA pelas contribuições na realização deste relatório, aos demais colegas: Eng.ºs Justino Stefane Nhaguagua e Tomás Jorge Mbombe pelo acompanhamento durante as actividades.

E por fim a todos um MUITO OBRIGADO!!!

**ÍNDICE**

1. Introdução.....	1
1.1. Objectivos.....	2
1.1.1. Objectivo geral.....	2
1.1.2. Objectivos específicos.....	2
1.2. Metodologia.....	2
1.3. Campo de aplicação.....	2
2. Revisão bibliográfica.....	3
2.1. Gás natural.....	3
2.2. Propriedades do físicas e químicas do GN .....	3
2.3. Panorama nacional do GN .....	5
3. Gasoduto de distribuição do gás natural maputo.....	6
3.1. Contexto actual .....	6
3.2. Estação de Regulação Intermédia.....	7
3.3. Válvulas Reguladoras de Pressão .....	8
3.4. Inconvenientes da tecnologia de distribuição por meio de gasoduto tradicional	10
4. Projecto de uma rede de distribuição de gn em maputo por meio de combinação de tecnologias - CNG .....	10
4.1. Fases do projecto.....	11
4.1.1. Estação de enchimento .....	12
4.1.2. Armazenamento.....	13
4.1.3. Tipos de gasodutos virtuais.....	14
4.1.4. Transporte dos MAT's .....	16
4.1.5. Estação de descompressão .....	17
4.1.6. Rede de distribuição .....	19
4.1.7. Estação de Medição do cliente.....	19
4.2. Dimensionamento do gasoduto de distribuição de GN por via de Gasoduto Virtual – CNG .....	20
4.2.1. Dimensionamento da Estação de descompressão de GN em Maputo .....	20
4.3. Escolha da capacidade dos MAT's .....	22
4.3.1. Cálculo de número de camiões.....	22
4.3.2. Tempo de estrada do MAT .....	23
4.3.3. Volume efetivo do módulo.....	23
4.3.4. Cálculo do tempo de consumo do MAT.....	24
4.3.5. Cálculo do número de MAT's.....	24

4.3.6.	Tempo total gasto por camião .....	24
4.3.7.	Número de cabines .....	25
4.3.8.	Esquema de distribuição de GN por distrito .....	25
4.4.	Cálculo da rede interna de distribuição de GN .....	25
4.4.1.	Marcha de cálculo.....	26
4.5.	Cálculo da estação de enchimento.....	27
4.5.1.	Escolha do compressor .....	27
4.5.2.	Cálculo do tempo de enchimento dos MAT's.....	28
4.5.3.	Cálculo do diâmetro do gasoduto .....	29
4.6.	Dimensionamento de um posto de abastecimento veicular .....	29
4.6.1.	Capacidade dos cilindros veicular .....	30
4.6.2.	Cálculo do aproximado do consumo de gasolina por distrito de GN.....	30
4.6.3.	Cálculo do número de MAT's por posto.....	30
4.6.4.	Capacidade de abastecimento de GN por posto .....	31
4.6.5.	Cálculo do número de veículos atendidos por cada Posto de Abastecimento .....	31
4.6.6.	Cálculo do número de veículos atendidos em Maputo .....	31
4.6.7.	Escolha do dispenser .....	31
4.6.8.	Cálculo do diâmetro dos tubos do posto de abastecimento.....	32
4.7.	Quantidade de GN necessário a demanda do projecto.....	32
5.	Impacto sócio – económico do projecto.....	33
5.1.	Impacto Ambiental.....	33
5.2.	Vantagens do projecto.....	34
5.3.	Desvantagens do projecto .....	35
6.	Recomendações.....	36
7.	Conclusão.....	37
8.	Bibliografia .....	38
9.	Anexos.....	39

**LISTA DE SÍMBOLOS**

GN	Gás Natural
ENH	Empresa Nacional de Hidrocarbonetos
CPF	Central Processing Facility
ROMPCO	Republic of Mozambique pipeline company
MGC	Matola Gas Company
PRS	Pressure Reduction Station
IRS	Intermediate Regulation Station
PRV	Pressure Regulation Station
CMS	Customer Metering Station
PRP	Painel de Redução de Pressão
MTA	Módulo de Troca Automática
CNG	Compressed Natural Gas
SMV	Sistema de Medição de Vazão
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
LNG	Liquefied Natural Gas
NGH	Natural Gas Hidrates
EP	Empresa Pública
GNV	Gás Natural Veicular
F	Factor de simultaneidade
H	Perda de carga no trecho
Q	Vazão do gás
S	Densidade relativa do gás

L	Comprimento do trecho da tubulação
$D_i$	Diâmetro interno do tubo
$K_G$	Coefficiente de caudal
$P_e$	Pressão de entrada no filtro/regulador
$P_s$	Pressão de saída no filtro/regulador
V	Velocidade no elemento filtrante
$C_G$	Coefficiente de caudal do regulador
MTA	Modulo de Armazenamento e Transporte

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Níveis de GN para que haja combustão.....	4
Figura 2. Comparação das densidades dos gases metano e butano.....	4
Figura 3. Gasoduto da ROMPCO.....	6
Figura 4. Tratamento do GN na estação intermedia de redução.....	7
Figura 5. Gasoduto de distribuição da EK.....	8
Figura 6. Rede de distribuição no contexto actual.....	9
Figura 7. Rede de distribuição no contexto mais abrangente.....	11
Figura 8. Comparação entre as tecnologias de transporte do GN.....	11
Figura 9. Compressor de GN (Fonte: GALILEO).....	12
Figura 10. Cilindro de armazenamento GNC.....	13
Figura 11. MAT (fonte Neogas).....	13
Figura 12. Gasoduto virtual 6.3 (fonte: White Martins).....	14
Figura 13. Gasoduto virtual 6.0 Bitrain (fonte: White Martins).....	15
Figura 14. Gasoduto virtual 3.0 (fonte: White Martins).....	15
Figura 15. Gasoduto móvel tipo cesto (fonte: White Martins).....	16
Figura 16. Transporte dos MAT's (fonte: White Martins).....	17
Figura 17. Estação de descompressão de GN (fonte: White Martins).....	18
Figura 18. Painel de Redução de Pressão.....	19

Figura 19. Estação de medição do cliente.....	19
Figura 20. Troca dos módulos.....	24
Figura 21. Modelo de distribuição por distrito.....	25
Figura 22. Tecnologia de transporte Galileo.....	30
Figura 23. Dispenser da Galileo.....	31

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Constituição básica de GN.....	3
Tabela 2. Capacidade do equipamento instalado no IRS.....	8
Tabela 3. Quantidade de combustíveis vendidos no mercado nacional.....	20
Tabela 4. Cálculos dos tempos do projecto.....	23
Tabela 5. Resumo dos recursos do projecto residencial.....	25
Tabela 6. Especificações técnicas do compressor de GN.....	28
Tabela 7. Capacidade dos cilindros de CNG.....	30
Tabela 8. Demanda de Gás para o projecto.....	32
Tabela 9. Custos entre GLP, Gasolina e GN.....	33

## RESUMO

O gás natural (GN) pode ser transportado por via de Gasoduto, Gás Natural Comprimido (CNG), Gás Natural Liquefeito (LNG) e Hidratos de Gás Natural (NGH), sendo a tecnologia de transporte por via de Gasoduto a mais comum e por via disso considerada de tradicional. Não obstante o transporte de GN por via de gasoduto ser o mais utilizado e mais económico, o mesmo é inteiramente dependente das quantidades de GN transportado para ser economicamente viável. Outras tecnologias de transporte de GN como LNG surgem como opções para o abastecimento a zonas distantes (onde o gasoduto se torna inviável), e o CNG usado para abastecimento a pequenos consumidores cujas quantidades não justifiquem a construção de gasodutos ou que se localizem em zonas de difícil acesso. O presente trabalho visa analisar a combinação de tecnologias de transporte de GN: o Gasoduto tradicional e o Gasoduto Virtual (vulgo CNG), por forma a tornar viável o abastecimento de GN aos pequenos consumidores (domésticos, industriais de pequeno porte, padarias, restaurantes, hotéis, lavandarias, postos de abastecimento veicular, etc.). A elaboração do presente trabalho teve como recurso consultas bibliográficas, consultas a técnicos com elevada experiência no ramo, visitas a projectos em funcionamento e pesquisas na internet.

**Palavras chave:** Tecnologia Combinada. Transporte. Gás natural comprimido.

**ABSTRACT**

Natural Gas (NG) can be transported through pipeline, Compressed Natural Gas (CNG), Liquefied Natural Gas (LNG), Natural Gas Hydrates (NGH), with the pipeline transport technology being the most common and by way considered traditional. Although the transport via pipeline is the most used and most economical, it is entirely dependent on the quantities of NG transported to be economically viable. Other NG transport technologies such as LNG appear as the option for supplying distant areas where the pipeline becomes unfeasible), and CNG used for supplying small consumers whose quantities do not justify the construction of pipeline or that are located in areas of hard access. The present work aims to analyse the combination of NG transport technologies: the traditional gas pipeline and the virtual Gas pipeline (commonly known as CNG), in order to make the supply of NG to small consumers (domestic, small industrial, bakeries, restaurants, hotels, laundries, vehicular gas station, etc.). the elaboration of the present work had as resources bibliographical consultations, consultations with the technicians with high experience in the field, visit to projects in operation and researches on the internet.

**Keywords:** Combined Technology. Transport. Compressed natural gas.

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento sócio – económico de um país está inteiramente ligado a existência dos recursos minerais e a capacidade de exploração dos mesmos. Moçambique possui vários recursos minerais (carvão mineral, pedras preciosas, petróleo, GN, etc), no entanto continua na lista de países pobres do mundo devido ao fraco poder económico para o financiamento de projectos de exploração dos mesmos.

A descoberta de Jazigos de petróleo e gás em Moçambique é visto pelos Moçambicanos como uma esperança para o desenvolvimento do país e redução do nível de dependência com o exterior no respeitante a matriz energética.

Maputo em particular, possui uma rede de distribuição de gás natural inaugurado por sua Excia. antigo Presidente da República de Moçambique Armando Emílio Guebuza no ano de 2014, porém, volvidos 8 anos os munícipes ainda não têm este recurso disponível para o uso nas residências ou veículos, continuando assim na total dependência de combustíveis importados (gasolina, diesel, GLP, petróleo de iluminação, etc) mesmo em casos que poderiam usar o GN como alternativa acessível e abundante no nosso país.

Este facto deve – se a fraca abrangência deste gasoduto, que até então só beneficia a indústria, central termoelétrica; restaurantes, lavandarias, hospitais, etc., porém o caro munícipe não é abrangido pelo projecto por se considerar pequeno consumidor. É este munícipe que é o mais sacrificado com o elevado preço dos combustíveis no mercado nacional.

A presente abordagem introduz no mercado nacional um novo modelo de transporte de GN o vulgo CNG por forma a aumentar o nível de abrangência do gasoduto e minimizar o nível de dependência dos combustíveis importados (gasolina, gasóleo, GLP, etc).

Este modelo de distribuição trará uma nova dinâmica no uso de GN, prevê abranger em grande número o consumidor doméstico e veicular por forma a aliviar o uso do GLP, a gasolina e electricidade, com esta resolução pode – se aumentar a capacidade de exportação de energia eléctrica consequentemente atrai – se divisas (Dólar) no mercado nacional.

## 1.1. OBJECTIVOS

### 1.1.1. Objectivo geral

- Analisar a tecnologia combinada de transporte de GN em Maputo.

### 1.1.2. Objectivos específicos

- Descrever a rede de distribuição por meio de gasoduto tradicional,
- Descrever a rede de distribuição por meio da combinação de tecnologias,
- Projectar um sistema de distribuição de GN por via de gasoduto tradicional,
- Projectar um sistema de distribuição de GN por via de gasoduto virtual CNG,
- Projectar um sistema de abastecimento veicular - GNV
- Analisar o impacto sócio - económico da tecnologia combinada de distribuição de GN.

## 1.2. Metodologia

- Revisão bibliográfica sobre as tecnologias de transporte de GN,
- Visita a projectos similares em Maputo,
- Pesquisa na internet,
- Consultas a técnicos seniores do ramo.

## 1.3. Campo de aplicação

O presente projecto de distribuição de GN é aplicável a:

- Residências,
- Estabelecimentos comerciais,
- Postos de abastecimento veicular.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Gás natural

O GN é um combustível fóssil que resulta da decomposição de material orgânico soterrado e submetido à intenso calor e pressão ao longo de milhares de anos. É constituído maioritariamente por moléculas de Metano (CH<sub>4</sub>) geralmente acima dos 70% em volume misturado com alguns hidrocarbonetos nomeadamente: etano, propano, butano e gases NO<sub>x</sub> num percentual de até 0.01% e impurezas.

Tabela 1. Constituição básica de GN

Nr	Componentes	Valor(%)	Nr	Componentes	Valor(%)
01	Metano	94.2030	06	I-Pentano	0,0688
02	Etano	2.1162	07	N-pentano	0,0038
03	Propano	0.8849	09	Hexano	0,0964
04	I-Butano	0.2203	10	Heptano	0,0427
05	N-Butano	0.2600	11	C <sub>8+</sub>	0,01128
			12	Nitrogénio	2.0407
	<b>Total</b>				<b>100</b>

### 2.2. Propriedades do físicas e químicas do GN

#### a) **Combustão do GN**

O GN entra em combustão quando este entra em contacto com uma fonte de calor na presença de oxigénio sendo a percentagem de GN de 5% a 15% na mistura ar/combustível, o que confere-lhe maior segurança no seu uso ou seja: abaixo de 5% teremos insuficiência de gás na mistura ar combustível e acima de 15% teremos insuficiência de ar na mistura ar/combustível em ambos os casos não haverá combustão.

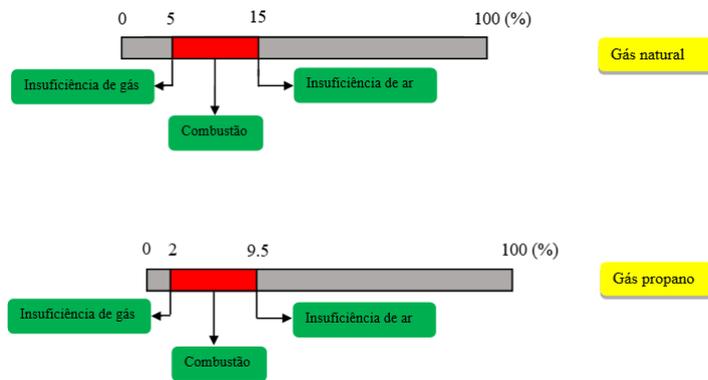
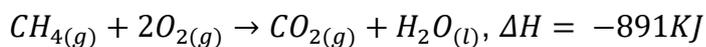
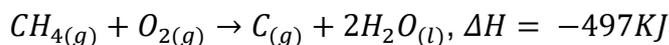
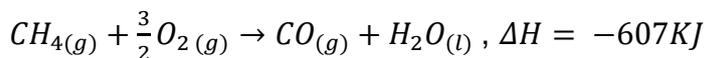


Figura 1. Níveis de GN para que haja combustão

- **A reação de combustão completa do GN resulta:**



- **Combustão incompleta do GN:**



## b) Densidade

A densidade do GN é cerca de  $0.68\text{Kg/m}^3$ , é mais leve que o ar cuja densidade é de  $1.225\text{Kg/m}^3$  em condições normais de temperatura e pressão. Esta característica faz com que o GN se dissipe rapidamente no ar em casos de fuga tornando-o menos susceptível a incêndio. Esta característica constitui uma notória vantagem na exploração desse recurso energético comparativamente a outros gases derivados do petróleo, ex.: gás Butano, etc.



Figura 2. Comparação das densidades dos gases metano e butano

**c) Vazão**

Vazão pode ser definida como sendo a quantidade volumétrica ou mássica de um fluido que escoar através de uma secção de uma tubulação ou canal por unidade de tempo.

**Vazão Volumétrica** – é definida como sendo a quantidade em volume que escoar através de certa secção em um intervalo de tempo considerado. Calcula – se pela formula:

$$Q = \frac{V}{t}, \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

**Vazão mássica** – é definida como sendo a quantidade em massa de um fluído que escoar através de certa secção em um intervalo de tempo considerado.

$$Q_m = \frac{m}{t}, \left[ \frac{Kg}{s} \right]$$

Onde:

Q – Vazão volumétrica

Q<sub>m</sub> – vazão mássica

V – Volume

t – Tempo

**2.3. Panorama nacional do GN**

Moçambique possui grandes reservas de GN na província de Inhambane distrito de Inhassoro e Govuro (Temane e Pande respectivamente), Cabo Delgado (Bacia do Rovuma), Sofala ainda em pesquisa. Actualmente estão em exploração as reservas de Pande e Temane sob responsabilidade da Multinacional Petrolífera Sul Africana SASOL, é também responsável pela refinação e remoção de impurezas no GN na estação de tratamento junto ao jazigo de Temane. A exploração do GN teve início em 2004 no campo de Temane com uma capacidade contratual de 120 MGJ/a (milhões de Giga joules/ano) e um investimento inicial de 1,2 biliões de USD tendo mais tarde sofrido um

incremento de 120 para 183 MGJ/a com a entrada de funcionamento do Jazigo de Pande em 2009. Do gás produzido nos jazigos de Pande e Temane, 80% deste gás é exportado para África do Sul e o remanescente vendido no mercado nacional sendo que a maior parte do mesmo é usado na geração de energia elétrica pelas centrais termoelétricas.

Em janeiro de 2022 o Instituto Nacional de Petróleo (INP) anuncia a chegada da plataforma flutuante CORAL SUL FLNG na Bacia do Rovuma em Cabo Delgado, esta plataforma tem como objectivo a produção de LNG para a exportação. Tem a capacidade de produção anual de 3,4 milhões de toneladas.

### 3. GASODUTO DE DISTRIBUIÇÃO DO GÁS NATURAL MAPUTO

#### 3.1. Contexto actual

O gás extraído dos jazigos de Pande e Temane em terra (Onshore) segue o seu tratamento nas Instalações de Processamento Central (CPF) e entra no gasoduto de transmissão da ROMPCO (Republic of Mozambique Pipeline Company) com o diâmetro de 26 polegadas à uma pressão de 120 bar. Este gasoduto tem uma extensão total de 865 km de Pande/Temane em Moçambique até Secunda/Joanesburgo na África do Sul. A 525 km de Pande/Temane na província de Maputo na vila de Ressano Garcia está conectado o gasoduto para o fornecimento de gás à província de Maputo, este gasoduto é da responsabilidade da empresa moçambicana Matola Gas Company, SA (MGC).

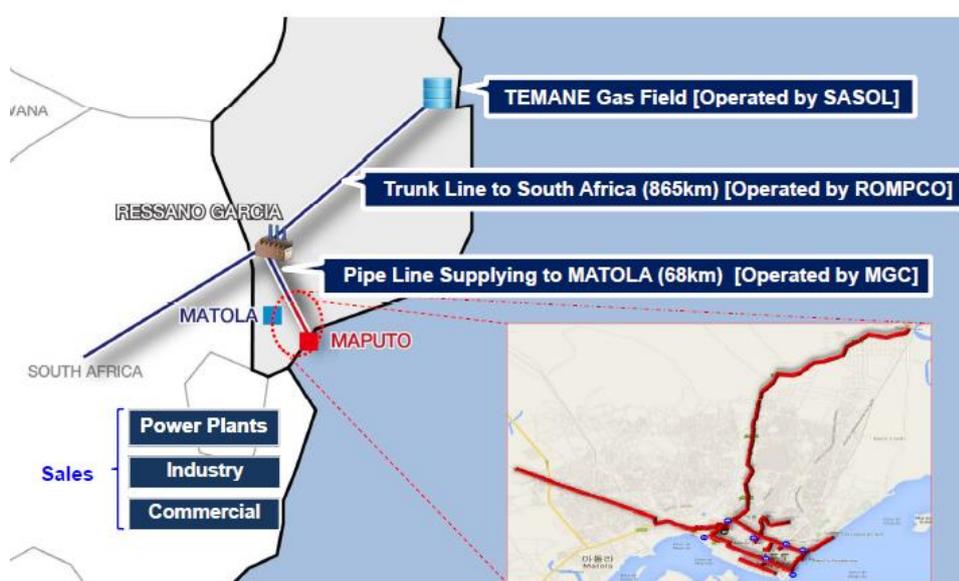


Figura 3. Gasoduto da ROMPCO

Na vila de Ressano Garcia a MGC reduz a pressão do GN de 120bar para 45bar na sua primeira Estação de Redução de Pressão (PRS#1 – “Pressure Reduction Station 1”) e segue-se um gasoduto de transmissão de 67,7 km de extensão e diâmetro de 8 polegadas soterrado a profundidade mínima de 1,2m até a segunda Estação de Redução de Pressão (PRS#2) localizada em Malhampsene, Município da Matola onde a pressão é reduzida de 45 bar para 10 bar. Nas proximidades do PRS#2 em Malhampsene, à uma pressão de 45 bar, o gás é derivado até ao “Pig- launcher”, estação a partir da qual é alimentado o gasoduto da ENH- Kogas, SA (EK – ENH Kogas, SA).

Deste ponto o GN segue através de um gasoduto de diâmetro 250mm com uma extensão de 11,371km, à uma pressão de 45 bar, soterrado à uma profundidade de até 1,2m e sob a responsabilidade da empresa EK até a Estação Intermédia de Regulação (IRS – “Intermediate Regulation Station”).

### 3.2. Estação de Regulação Intermédia

O IRS está localizado no bairro Luís Cabral, na antiga SONEFE, junto a nova central termoelétrica. Recebe o gás vindo da MGC e trata – o nos seguintes modos:



Figura 4. Tratamento do GN na estação intermedia de redução

O GN é filtrado, medido, aquecido se necessário e reduzido a sua pressão de 45 bar até 10 bar e por meio de um gasoduto de diâmetro 150mm com extensão 19,103Km, de tubos de aço ordinário revestido de polímeros é transportado até as válvulas reguladoras de pressão (PRV – “Pressure Regulation Valve”) que se encontram espalhadas ao longo da cidade de Maputo num total de 8 PRV’s, nestas válvulas a pressão novamente é reduzida e regulada de 10 a 4bar.

A tabela a seguir mostra os principais equipamentos instalados e as respectivas capacidades.

Tabela 2. Capacidade do equipamento instalado no IRS

Equipamento	IRS	
	Quantidade	Capacidade
Filtros de Gás	2	12.945 $\frac{m^3}{h}$
Contador de Gás	2 (tipo turbina)	12.945 $\frac{m^3}{h}$
Aquecedor de Gás	2 (elétrico)	12.945 $\frac{m^3}{h}$
Reguladores de Gás	2 (de serviço e emergência)	12.945 $\frac{m^3}{h}$
Válvulas de Segurança	2	12.945 $\frac{m^3}{h}$

O IRS, tem um funcionamento ininterrupto, ou seja, fornece o gás 24h/dia, 365 dias/ano. Para que não haja falha no fornecimento de GN duas linhas idênticas foram instaladas havendo possibilidade de "by pass" entre as linhas para casos de manutenção.

### 3.3. Válvulas Reguladoras de Pressão

São responsáveis pelo recebimento do gás, filtração, redução e regulação do mesmo à 4bar, níveis considerados seguros em zonas urbanas. Destes, partem gasodutos de feitos de tubos de polietileno de alta densidade transportando o gás a baixa pressão 4bar numa extensão total de cerca de 29km, à uma profundidade de 1,2m até ao consumidor final.



Figura 5. Gasoduto de distribuição da EK

**Onde:**

- 1 – Válvula Reguladora de Pressão (PRV#1), localizado no terminal rodoviário da Junta,
- 2 – Válvula Reguladora de Pressão (PRV#2), localizado na Av. Moçambique,
- 3 – Válvula Reguladora de Pressão (PRV#3), localizado na Av. de Angola,
- 4 – Válvula Reguladora de Pressão (PRV#4), localizado na Av. FPLM,
- 5 – Válvula Reguladora de Pressão (PRV#5), localizado na Av. Julius Nherere,
- 6 – Válvula Reguladora de Pressão (PRV#6), localizado na Av. Julius Nherere,
- 7 – Válvula Reguladora de Pressão (PRV#7), localizado na Av. 24 de Julho,
- 8 – Válvula Reguladora de Pressão (PRV#8), localizado na Av. OUA.

Nestes termos, temos a empresa com os seguintes clientes:

- Central termoelétrica,
- Indústria e
- Comerciantes: restaurantes, lavandarias, hospitais, etc

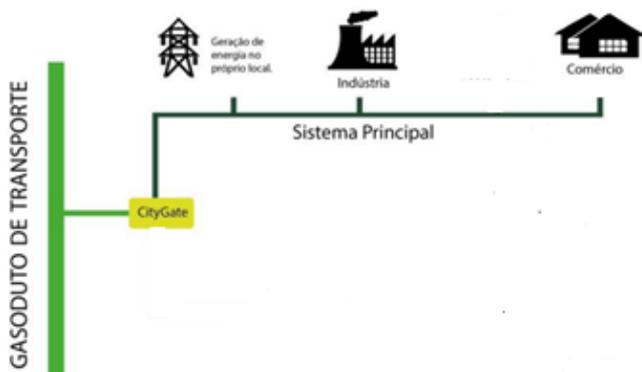


Figura 6. Rede de distribuição no contexto actual

Logo percebe – se de antemão que a distribuição deste recurso energético em Maputo tem pouca abrangência visto que o mesmo não abrange directamente os munícipes tanto no contexto doméstico assim como no veicular, continuando os mesmos sufocados com alta nos preços dos combustíveis líquidos e o GLP. Peso embora na província de Inhambane tenha munícipes a beneficiar – se do gás natural nas suas residências, no

entanto este número ainda é muito reduzido comparando com a globalidade de municípios que projecto prevê abrangir.

### **3.4. Inconvenientes da tecnologia de distribuição por meio de gasoduto tradicional**

São os seguintes inconvenientes de distribuição por meio do gasoduto tradicional:

- Inviável para pequenos consumos,
- Elevados custos de implantação,
- Aumento de consumidores causa queda de pressão considerável tornando o sistema ineficiente.

## **4. PROJECTO DE UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GN EM MAPUTO POR MEIO DE COMBINAÇÃO DE TECNOLOGIAS - CNG**

A combinação de tecnologias vulgo CNG surge como alternativa para ultrapassar os inconvenientes do método tradicional de distribuição, consiste basicamente no transporte de gás em cilindros agrupados em atrelados denominados Módulos de Armazenamento e Transporte (MAT) até a uma estação de consumo localizada próximo aos clientes.

A implantação do projecto resultará no aumento do raio de abrangência do gasoduto podendo abranger em grande escala o consumidor doméstico e veicular em Maputo, será de mais valia para a vida dos Moçambicanos em Maputo, na medida que aliviará o custo de vida dos mesmos que vem se agravando com a subida exponencial dos combustíveis a nível mundial.

Os Moçambicanos em Maputo poderão ter a disposição um recurso energético totalmente nacional e por consequência disso é barato conforme veremos na presente abordagem.

A figura abaixo mostra de forma generalizada a composição do modelo proposto na presente abordagem, partindo de princípio que o gasoduto tem existência física nas artérias da cidade de Maputo e Marracuene.

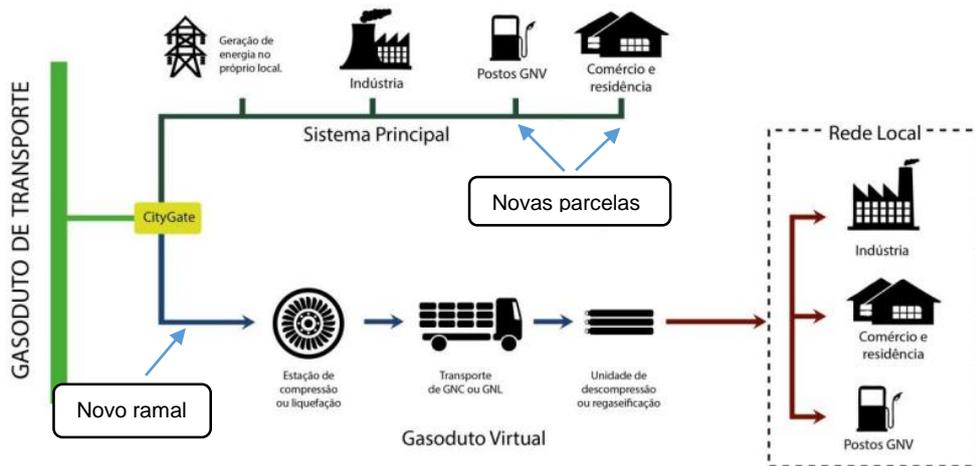


Figura 7. Rede de distribuição no contexto mais abrangente

O uso da tecnologia CNG pode criar e desenvolver mercado para o GN, até que seja viabilizada a construção do gasoduto. O crescimento da demanda de gás, suprida por GNC, pode vir a viabilizar a construção de um gasoduto no futuro. A Figura 8 ilustra o uso das tecnologias de transporte de gás natural, comparando o volume de gás natural transportado com a distância do transporte.

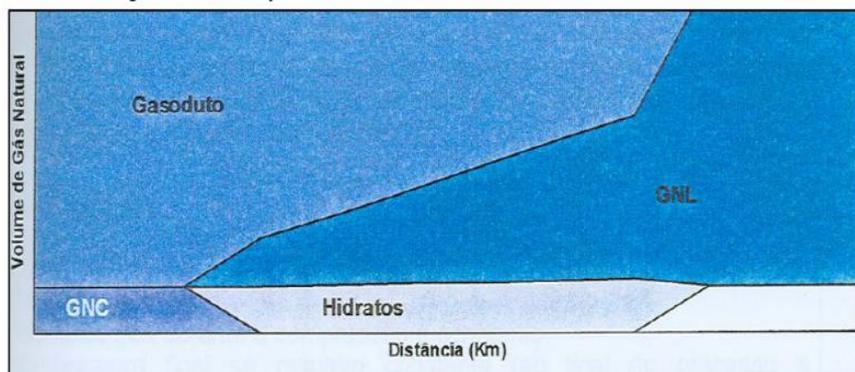


Figura 8. Comparação entre as tecnologias de transporte do GN

#### 4.1. Fases do projecto

Neste modelo de distribuição, o GN é succionado apartir de uma fonte e passa pelas seguintes fases:

- Compressão (estação de enchimento),
- Armazenamento,
- Transporte,

- Descarga (estação de descompressão),
- Rede de distribuição e
- Estação de medição do cliente.

#### 4.1.1. Estação de enchimento

Nesta estação será feito o enchimento dos MAT's, para tal deverá estar equipada de compressor de gás com capacidade de compressão de gás até uma pressão de 250 – 300bar. Aconselha – se que a estação de enchimento se localize fora de zonas residências devido ao ruído provocado pelo compressor durante longos tempos de enchimento. A compressão do gás tem menor custos quando maior for a pressão de sucção. Logo propõe – se o enchimento no próprio IRS onde há possibilidade de se ter uma linha com uma pressão de 45bar e conseqüentemente poupa – se energia com a compressão e tem – se também caudais próximos ao máximo do compressor resultando em menores tempos de enchimento.



Figura 9. Compressor de GN (Fonte: GALILEO)

O GN é comprimido e acondicionado em cilindros a temperatura ambiente e pressão próxima a condição de mínimo factor de compressibilidade aproximadamente a 250bar. A compressão do GN leva a redução do seu volume à 268 vezes menor nas condições de 1atm e 20°C comparativamente ao volume ocupado em condições normais motivo pelo qual consegue – se transportar maiores volumes no estado comprimido.

Para garantir que a resistência mecânica dos cilindros que compõem os MAT's não fique comprometido durante o enchimento dos mesmos, no compressor de gás está instalado um pressostato que cortará o fluxo de gás quando os MAT's estiverem a pressão desejada e conseqüentemente ordena a paragem do compressor. O mesmo pressostato voltará a abrir o fluxo de gás quando a pressão ajustante for mais baixa que o limite

programado. Sendo assim o pressostato é programado com um limite mínimo (pressão de arranque) e um limite máximo (pressão de corte).

#### 4.1.2. Armazenamento

O gás comprimido é armazenado em cilindros metálicos com a capacidade de resistência mecânica a pressão de armazenamento de cerca de 250bar e agrupados em atrelados, estando conectados entre si por meio de tubos de aço inox para o transporte a esse conjunto denomina – se módulo de armazenamento e Transporte (MAT) gás.

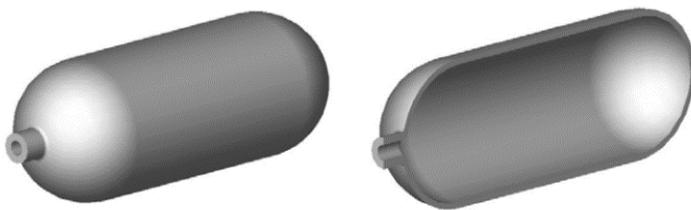


Figura 10. Cilindro de armazenamento GNC

##### 4.1.2.1. Tipos de MAT's

Existem no mercado vários tipos de MAT's que variam de acordo com a necessidade dos clientes, a figura abaixo mostra um modelo do fabricante Neogas.



Figura 11. MAT (fonte Neogas)

São responsáveis pelo acondicionamento do gás comprimido até a estação de consumo, alimentam o PRP de gás à alta pressão de normalmente na faixa de 250bar através de tubos de aço de secção redonda a devidamente fixos e suportes para evitar possíveis vibrações do gasoduto com o fluxo do gás.

#### 4.1.3. Tipos de gasodutos virtuais

Existem vários modelos de gasodutos virtuais a saber:

- White Martins, empresa Brasileira
- Neogas, empresa Norte Americana,
- Galileo, empresa Argentina,
- FIBA Tecnologias, empresa Brasileira, entre outros.

No presente trabalho nos cingiremos nos produtos das empresas White Martins e Galileo.

As figuras abaixo mostram diversos MAT's da empresa White Martins e as respectivas capacidade em  $m^3$ .

##### a) Gasoduto Móvel 6.3



Figura 12. Gasoduto virtual 6.3 (fonte: White Martins)

- Ideal para clientes de grande consumo,
- Maior capacidade de mercado,

- Comprimento reduzido, o que facilidade de manobra, etc

**b) Gasoduto Móvel 6.0 Bitrain**

**Gasoduto Móvel - 6.0 Bitrain**

- Ideal para clientes com perfil intermediário de consumo, dando maior flexibilidade à operação
- Módulos intercambiáveis
- Otimização da logística de distribuição

Comprimento	16.600mm
Altura	3.697mm
Largura	2.600mm

Modelos	Capacidade (m <sup>3</sup> )	Pressão (bar) de válvulas	Sistema de abertura	Sistema de Descarga	Peso Vazio (Kg)	Peso Cheio (Kg)
Parafusadeira	6.000	250	manual	cascata (20%, 30% e 50%)	33.760	38.160

Figura 13. Gasoduto virtual 6.0 Bitrain (fonte: White Martins)

- Ideal para clientes de consumo intermediário
- Oferece maior flexibilidade a operação
- Otimização da logística de distribuição

**c) Gasoduto Móvel 3.0**

**Gasoduto Móvel - 3.0**

- Ideal para clientes com perfil intermediário de consumo
- Adequado para clientes com área restrita de operação

Comprimento	6.900mm
Altura	3.697mm
Largura	2.600mm

Modelos	Capacidade (m <sup>3</sup> )	Pressão (bar) de válvulas	Sistema de abertura	Sistema de Descarga	Peso Vazio (Kg)	Peso Cheio (Kg)
Parafusadeira	3.000	250	manual	cascata (20%, 30% e 50%)	18.180	20.380

Figura 14. Gasoduto virtual 3.0 (fonte: White Martins)

- Ideal para clientes de consumo intermediário
- Adequado para clientes com área restrita de operação

#### d) Gasoduto Móvel em Cesto

Ideal para abastecimento de um posto de abastecimento veicular, conjunto de residências muito próximas umas as outras como caso dos prédios existentes na cidade de Maputo sem muito espaço para manobras.

**Cesta de Cilindros**



Cesta Modelo	Cilindro	Cap. Nom. (litros)	Cap. Nom. (m³)	Altura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Pressão (bar)	Peso Total (Kg)
3x3	100.340.250 CrMo	900	273	1.750	1.220	1.220	250	1.400
3x4	100.340.250 CrMo	1.200	364	1.750	1.220	1.415	250	1.760
4x4	100.340.250 CrMo	1.600	485	1.750	1.415	1.415	250	2.245
3x3	125.340.250 CrMo	1.125	341	2.050	1.220	1.220	250	1.655
3x4	125.340.250 CrMo	1.500	455	2.050	1.220	1.415	250	2.090
4x4	125.340.250 CrMo	2.000	607	2.050	1.415	1.415	250	2.670
3x3	140.340.250 CrMo	1.260	382	2.250	1.220	1.220	250	1.840
3x4	140.340.250 CrMo	1.680	510	2.250	1.220	1.415	250	2.320
4x4	140.340.250 CrMo	2.240	679	2.250	1.415	1.415	250	2.960

Figura 15. Gasoduto móvel tipo cesta (fonte: White Martins)

#### 4.1.4. Transporte dos MAT's

Os MAT's são transportados com recurso ao uso de veículos especiais que possuem mecanismos mecânicos para o engate rápido dos atrelados. O mecanismo de engate rápido que permite o operador facilidades de manuseio no momento de troca dos MAT's, chegado a estação de descompressão com o camião devidamente posicionado o operador deverá desengatar o MAT cheio substituindo – o com um outro que esteja vazio para o seu enchimento.

O transporte dos MAT's deve ser efectuado de acordo com o especificado neste presente projecto, para que seja garantido fornecimento contínuo do GN.

O transporte gasoduto virtual pode ser feito fora deste período em casos de extrema necessidade depois de devida avaliação e autorização pelo responsável hierárquico.



Figura 16. Transporte dos MAT's (fonte: White Martins)

#### **4.1.5. Estação de descompressão**

É responsável pelo recebimento dos MAT's, tratamento nos mesmos módulos acima mencionados e fornecer ao cliente o GN a uma pressão estável e recomendado internacionalmente.

Esta estação deve – se localizar próximo ao cliente para maior viabilidade económica do projecto. É composto por seguinte equipamento principal:

- Módulo de Troca Automática (MTA),
- Painel de Redução de Pressão (PRP) e
- Sistema de Medição de Vazão (SMV).

##### **4.1.5.1. Módulo de Troca Automática (MTA)**

É um equipamento automatizado que fica conectado aos módulos que transportam o GN Comprimido e ao Painel de Redução de pressão. É accionado quando o estoque de CNG do atrelado termina, trocando automaticamente para a próxima atrelado, garantindo assim o fornecimento ininterrupto.

#### 4.1.5.2. Painel de Redução de Pressão (PRP)

Tem como função reduzir a pressão do gás de 250 Bar (pressão da carreta) para 2 a 10 Bar, de acordo com a necessidade do projecto. A redução da pressão é feita por estrangulamento do gás resulta no esfriamento do mesmo, a este é o efeito chama – se efeito Joule Thomson, por isso o PRP está equipado de um sistema de aquecimento eléctrico que é ativado sempre que se verifiquem temperaturas baixas do gás.

#### 4.1.5.3. Sistema de Medição de Vazão (SMV)

Controla o consumo do cliente e mede a pressão e a vazão instantânea. Através de um modem, o sistema envia as informações de vazão, pressão e consumo para a sala de controle central, que programa a substituição do atrelado vazio. O objetivo é manter a rede do cliente abastecida ininterruptamente.



Figura 17. Estação de descompressão de GN (fonte: White Martins)

#### 4.1.5.4. Painel de Redução de pressão

- Apresenta uma tubulação em inóx,
- Válvula de bloqueio de alta pressão,
- Sistema de filtros,
- Sistema de aquecimento eléctrico.



Figura 18. Painel de Redução de Pressão

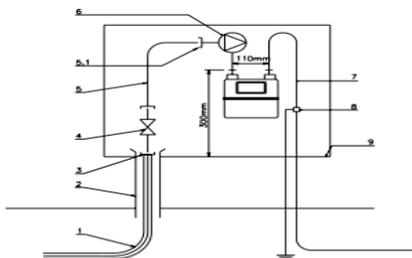
#### 4.1.6. REDE DE DISTRIBUIÇÃO

A rede de distribuição será responsável pela entrega do GN ao cliente, será de tubos de polietileno de alta densidade, suportando uma pressão máxima de gás de até 6bar, este gasoduto conduzirá o gás até ao cliente numa pressão de escoamento de 4bar. O uso deste tipo de material tem as seguintes vantagens competitivas:

- Baixo custo,
- Simplicidade de instalação,
- Não se deteriora por corrosão e
- Flexível.

#### 4.1.7. Estação de Medição do cliente

Compreende a fase final do projecto, nesta estação o gás chega à uma pressão de aproximadamente 4bar, é filtrado, reduzido a pressão para cerca de 27mbar pressão de serviço dos equipamentos e quantificado o consumo do cliente. Localiza – se logo a entrada das residências.



POS	DESCRIÇÃO	OBSERVAÇÕES
1	RAMAL DE EDIFÍCIO	PE SDR 11
2	BANHA METÁLICA	
3	TRANSIÇÃO PE/CU	COBRE REVESTIDO
4	VÁLVULA 1/4 DE VOLTA	JUNÇÃO ESFEROCONICA
5	CURVA DE LIGAÇÃO	JUNÇÃO ESFEROCONICA
5.1	TAMPÃO NA SAÍDA DE 5	JUNÇÃO ESFEROCONICA
6	REDUTOR DE PRESSÃO	B6 VSI
7	CURVA DE LIGAÇÃO AO CONTADOR(G4)	
8	LIGAÇÃO A TERRA	FIO CONDUTOR DE SECCAO AZEULADA
9	CAIXA DE ENTRADA DE EDIFÍCIO	S2300
10	CONTADOR (a definir pelo concessionário)	

Figura 19. Estação de medição do cliente

#### 4.2. Dimensionamento do gasoduto de distribuição de GN por via de Gasoduto Virtual – CNG

Pretende – se com no presente trabalho dimensionar uma rede de distribuição de GN para o fornecimento de GN as residências da cidade de Maputo por via de combinação de tecnologias – CNG num raio máximo de 50 Km, em simultâneo o projecto deve fornecer GN aos postos de abastecimento veicular, a capacidade a instalar será o equivalente a capacidade fornecida de GLP no mercado nacional. A tabela abaixo mostra estaticamente o consumo de GLP, gasolina no mercado nacional segundo o MIREME.

Tabela 3. Quantidade de combustíveis vendidos no mercado nacional

Produto	Unidade	Anos				
		2016	2017	2018	2019	2020
Gasolina	m <sup>3</sup>	399 055	394 649	399 135	439 068	430 884
JET-A1	m <sup>3</sup>	84 040	75 214	70 895	80 612	44 015
GPL	TM	13 491	30 530	40 435	35 821	40 435
Gasóleo	m <sup>3</sup>	1 100 099	1 117 631	1 234 054	1 245 080	1 074 763
Petróleo de Iluminação	m <sup>3</sup>	33 735	22 350	13 154	11 564	10 523

#### 4.2.1. Dimensionamento da Estação de descompressão de GN em Maputo

##### 4.2.1.1. Cálculo aproximado da quantidade de GLP consumido em Maputo

Para o dimensionamento da estação de consumo é preciso calcular a demanda do GLP por forma a fornecer o mercado com a quantidade equivalente de GN. Segundo os dados da tabela acima tem – se:

$$m_{GLP} = 40435TM = 40435000Kg$$

$$\rho_{GLP} = 2,5 \frac{Kg}{m^3}$$

Pode se assumir uma distância máxima de transporte dos MAT de 50Km e a velocidade de 60Km/h.

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow V = \frac{m}{\rho} = \frac{40435000}{2,5} = 16174000m^3$$

O calculo será feito assumindo que o consumo por Província é igual, tendo 11 Províncias em Moçambique, fica:

$$Q_{anual} = \frac{16174000}{11} = 1470363,64 \frac{m^3}{a}$$

O consumo diário calcula – se

$$Q_{diaria} = \frac{1470363,64}{356} = 45432,58 \frac{m^3}{d}$$

Para corresponder a demanda de consumo de GLP, o novo projecto deve ter capacidade de fornecimento de  $45432,58 \frac{m^3}{d}$  de GN em Maputo.

Para maior eficácia do projecto o fornecimento será em cascata, sendo constituído por um total de 5 estações, uma por cada distrito.

Considerando que a cidade de Maputo tem 5 distritos urbanos nomeadamente:

- Distrito Urbano KaMpfumo,
- Distrito Urbano Nihamankulu,
- Distrito Urbano KaMaxaquene,
- Distrito Urbano KaMavota e
- Distrito Urbano KaMubukwana.

Para a simplificação do projecto vamos criar um modelo matemático nos seguintes termos:

- Reduzir o problema para apenas 1 distrito o distrito maior demanda e apartir dos resultados deduziremos os requisitos se para os restantes distritos,
- Consumo é igual por distrito,
- Distância da estação de enchimento à estação de descompressão e no máximo 50km.

Com base nos resultados ter – se – à por aproximação os dados dos restantes distritos e com a entrada do projecto em funcionamento em função do consumo diário pode – se adequar o fornecimento com realidade de consumo do determinado distrito.

**4.2.1.2. Cálculo do consumo médio por segundo num distrito**

$$Q_{méd} = \frac{45432,58 \frac{m^3}{d}}{5} = 9086,5 \frac{m^3}{d} = 378,6 \frac{m^3}{h} = 0,105 \frac{m^3}{s}$$

**4.2.1.3. Cálculo do diâmetro do gasoduto**

$$Q = v * A = v * \frac{\pi * D^2}{4} \rightarrow D = \sqrt{\frac{4 * Q}{v * \pi}}$$

Onde:

$V$  – velocidade do gás em [m/s]

$Q$  – vazão do gás em [ $m^3/s$ ]

$D$  – diâmetro da tubagem [mm]

**Pressuposto**

A velocidade de escoamento do gás não deve ultrapassar os 15 m/s em qualquer ponto da rede para a secção de tubagem com pressão de serviço em média pressão e os 10 m/s para a secção de tubagem com pressão de serviço em baixa pressão, para evitar que surjam fenómenos vibratórios ou ruídos normalmente associados a velocidades elevadas.

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0,105}{15 * \pi}} = \sqrt{0,0089m^2} = 0,0943m = 94,3mm$$

Escolhe – se tubos de diâmetro normalizado de 110mm.

**4.3. Escolha da capacidade dos MAT's**

Uma vez que o fornecimento do GN será em cascata, para viabilizar a capacidade de fornecimento do projecto em termos logísticos propõe – se a escolha de MAT's com a capacidade máxima em termos volumétricos. Segundo fabricante White Martins escolhe –se MAT's 6.3 com a capacidade de  $6.235 m^3$ .

**4.3.1. Cálculo de número de camiões**

A estimativa do numero de camiões é feita com base na demanda em [ $\frac{m^3}{dia}$ ], distância percorrida L.

Tabela 4. Cálculos dos tempos do projecto

Item	Unid.	Fórmula
Tempo de viagem do Módulo	[h]	$T_{mod}^v = \frac{2L}{V_{med}}$
Tempo de consumo por módulo	[h]	$T_{mod}^{cons} = \frac{V_{mod}^{ef}}{Q_{med}}$
Tempo total gasto por módulo	[h]	$T_{mod}^{Tot} = T_{mod}^a + T_{mod}^v + T_{mod}^{cons}$

#### 4.3.2. Tempo de estrada do MAT

A velocidade média do camião de transporte depende da rota e do tráfico, para o presente caso optou – se por uma velocidade média de 60km/h, velocidade considerável normal para o transporte dos módulos.

$$T_{mod}^v = \frac{2 * L}{V_{med}}$$

Onde:

$T_{mod}^v$  – Tempo de viagem [h],

L – Distância desde a estação de enchimento a estação de descompressão [km],

$V_{med}$  – Velocidade média do camião [ $\frac{Km}{h}$ ]

$$T_{mod}^v = \frac{2 * L}{V_{med}} = \frac{2 * 50}{60} = 1,7h \cong 2h$$

#### 4.3.3. Volume efetivo do módulo

O rendimento de um modulo na transferência é de 95% para o CNG, logo o volume efetivo calcula – se:

$$V_{mod}^{ef} = 95\% * V_{mod}^{Tot} \text{ - Condição válida para CNG}$$

Onde:

$V_{mod}^{ef}$  – Volume efectivo do módulo [ $Nm^3$ ]

$V_{mod}^{Tot}$  – Volume total do módulo [ $Nm^3$ ]

$$V_{mod}^{ef} = 95\% * 6235 = 5923.25[Nm^3]$$

#### 4.3.4. Cálculo do tempo de consumo do MAT

$$T_{mod}^{cons} = \frac{V_{mod}^{ef}}{Q}$$

$T_{mod}^{cons}$  – Tempo de consumo do módulo [h]

$$T_{mod}^{cons} = \frac{V_{mod}^{ef}}{Q} = \frac{5923,25}{378,6} = 15,64h \cong 15h$$

#### 4.3.5. Cálculo do número de MAT's

Os MAT's propostos no presente projecto tem uma capacidade efectiva de  $5923,25 m^3$ , que corresponde a um fornecimento de aproximadamente 15h, a seguir calcula – se o número de módulos necessários para satisfazer a demanda por dia do distrito.

$$N_{mod} = \frac{24}{15} = 1.6 \cong 2$$

Pode – se considerar 2 MAT's na estação de consumo e 1 no enchimento. Para assegurar a continuidade no fornecimento as trocas deverão obedecer o seguinte esquema de troca:

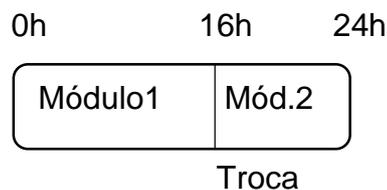


Figura 20. Troca dos módulos

#### 4.3.6. Tempo total gasto por camião

$$T_{mod}^{Tot} = T_{mod}^{enc} + T_{mod}^v + T_{mod}^{cons}$$

Onde:

$T_{mod}^{enc}$  – Tempo de enchimento do módulo [h],

$$T_{mod}^{enc} = 2h$$

$$T_{mod}^{Tot} = 2 + 2 + 15 = 19h \rightarrow \text{para os MAT residências.}$$

$$T_{mod}^{Tot} = 0,5 + 2 + 15 = 17h30min \rightarrow \text{para os MAT de abastecimento veicular.}$$

#### 4.3.7. Número de cabines

$$N_{cab} = N_{mod} - 2 = 3 - 2 = 1$$

Tabela 5. Resumo dos recursos do projecto residencial

Distrito Urbano	Q, [ $\frac{m^3}{h}$ ]	Nr. de módulos	Nr. de cabines
KaMfumo	378,6	3	1
NIhamankulu	378,6	3	1
KaMaxaquene	378,6	3	1
KaMavota	378,6	3	1
KaMubukwana	378,6	3	1
Total	1893	15	5

#### 4.3.8. Esquema de distribuição de GN por distrito

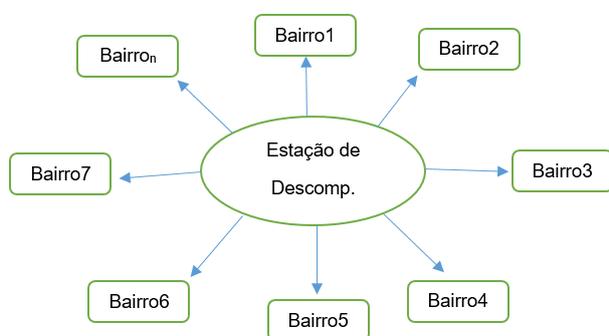


Figura 21. Modelo de distribuição por distrito

#### 4.4. Cálculo da rede interna de distribuição de GN

**4.4.1. Marcha de cálculo**

- a) Escolhe – se o posicionamento dos aparelhos nas residências,
- b) Prepara – se o isométrico da rede e enumerar sequencialmente cada nó e os pontos de utilização partindo do ponto imediatamente a jusante do regulador,
- c) Introduzir a identificação de cada trecho da rede,
- d) Inserir a potência em Kcal/h para cada trecho, de acordo com as especificações do fabricante,
- e) Calcular o factor de simultaneidade para cada trecho sempre que aplicável pela fórmula:

$$C < 21000, \quad F = 100$$

$$21000 \leq C < 576720, \quad F = \frac{100}{1 + 001 * \left(\frac{C}{60} - 349\right)^{0.8712}}$$

$$576720 \leq C < 1200000, \quad F = \frac{100}{1 + 0.4705 * \left(\frac{C}{60} - 1055\right)^{0.19931}}$$

$$C > 1200000, \quad F = 23$$

- f) Calcular a potência adoptada em Kcal/h para cada trecho pela fórmula:

$$P_{ad} = \frac{F * P_{inst}}{100},$$

Onde:

$P_{ad}$  – potência adoptada, [Kcal/h]

F – factor de simultaneidade, [%]

$P_{inst}$  – potência instalada [Kcal/h]

- g) Calcular a vazão adoptada [ $m^3/h$ ] para cada trecho pela fórmula:

$$Q_{ad} = \frac{P_{ad}}{PCI} \left[\frac{m^3}{h}\right],$$

Onde:

$Q_{ad}$  – vazão adoptada [ $\frac{m^3}{h}$ ]

PCI – poder calorífico inferior do GN [Kcal/h]

- h) Determinar o comprimento equivalente por meio de valores fornecidos pelos fabricantes das conexões
- i) Calcular o comprimento total da tubagem para cada trecho somando o comprimento real e o comprimento equivalente
- j) Adotar diâmetros iniciais e verificar o atendimento da instalação as condições de perdas de carga máximas admissíveis
- k) Determinar a pressão inicial para cada trecho,
- l) Determinar a pressão inicial de cada trecho
- m) Calcular a perda de carga em cada trecho pelas formula a seguir:

$$H = \frac{206580 \times Q^{1.8} \times S^{0.8} \times L}{D_i^{4.8}}, \text{ onde}$$

$H$  – é a perda de carga do trecho [mmca]

$Q$  – é a vazão do gás a 20° e 1atm [m<sup>3</sup>/h]

$S$  – é a densidade relativa do GN em relação ao ar (adimensional) = 0.6

$L$  – comprimento do trecho da tabulação [m]

$D_i$  – diâmetro interno da tubulação [mm]

#### **4.5. Cálculo da estação de enchimento**

Os tubos da estação de enchimento devem ter capacidade de suportar altas pressões promovidas pelo compressor de gás, assim sendo o material será aço por apresentar alta resistência mecânica comparativamente a outros materiais.

##### **4.5.1. Escolha do compressor**

A escolha do compressor é feita em função das pressões de entrada e saída, deve – se salientar que o caudal desenvolvido pelo compressor está directamente depende da pressão de sucção do compressor, o que implica maiores pressões resultam em maiores caudais e conseqüentemente reduzidos tempos de enchimento dos MAT's.

Assim sendo, escolhe o compressor do Fabricante Galileo cujas especificações técnicas estão indicadas na tabela 6.

Tabela 6. Especificações técnicas do compressor de GN

Produção de Combustível	Gás natural comprimido (CNG)	
Potência Nominal (KW)	75 - 400	
Pressão de sucção (bar)	0.1 - 60	
Pressão de descarga (bar)	250 - 300	
Caudal (Nm <sup>3</sup> /h)	300 - 6000	
Capacidade de armazenamento interno (l)	1000	
Dimensões (mm)	Comprimento	5100
	Comp. com portas abertas	6600
	Largura	2200
	Larg com portas abertas	5725
	Altura	2800
Peso (t)	9	

#### 4.5.2. Cálculo do tempo de enchimento dos MAT's

Sendo a pressão de entrada 45Bar, então por interpolação de dados, calcula – se a vazão correspondente que será:  $4581,9 \frac{m^3}{h}$

$$t_1 = \frac{5923,25}{4581,9} = 1,29 \cong 2h$$

Ao fim de 2h o MAT para as residências deve estar cheio.

$$t_1 = \frac{1425}{4581,9} = 0,31h \cong 30min$$

Ao fim de 30min o MAT para os postos de abastecimento veicular deve estar cheio.

Pelos cálculos acima conclui – se que em 10h teremos os MAT's para o abastecimento das residências cheios e em 2h30min os MAT para o abastecimento veicular também estarão cheios logo o tempo total de enchimento dos MAT's será:

$$t_{t,enc} = t_{tot1} + t_{tot2} = 10 + 2h30 = 12h30min$$

Conclui – se que um único compressor satisfaz a demanda do projecto.

#### **4.5.3. Cálculo do diâmetro do gasoduto**

$$Q = \frac{4581,9}{4 * 3600} = 0.318 \frac{m^3}{s}$$

O diâmetro dos tubos calcula – se:

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0.318}{30 * \pi}} = 0.0135m = 13,5mm$$

Normalizando fica: Ø15mm

Verificação

$$v = \frac{4 * Q}{D^2 * \pi} = \frac{4 * 0.318}{0.0135^2 * \pi} = 21,98 \frac{m}{s}$$

É aceitável este diâmetro.

#### **4.6. Dimensionamento de um posto de abastecimento veicular**

Os postos de abastecimento serão concebidos segundo o modelo Galileo que é basicamente composto por MAT's, compressor de gás, plataforma para descarga dos MAT's e camião transportador equipado de um mecanismo de carga e descarga dos MAT's.

**Pressuposto:**

A capacidade a se instalar na cidade de Maputo poderá não corresponder a totalidade do consumo da gasolina visto os veículos movidos a gás por via da conversão usam também a gasolina. Assim sendo propõe – se para cada posto uma capacidade volumétrica de 4500 m<sup>3</sup>.

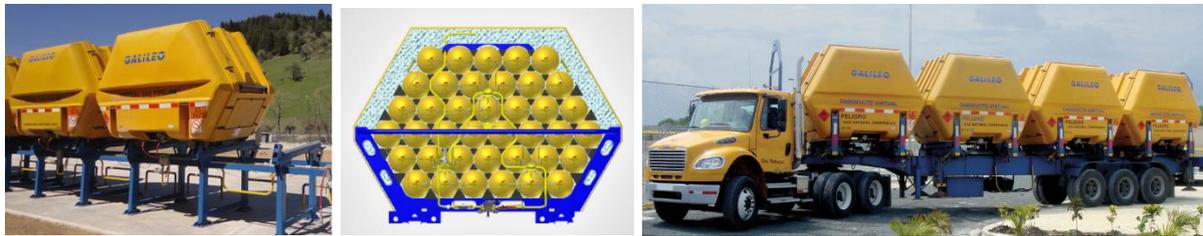


Figura 22. Tecnologia de transporte Galileo

**4.6.1. Capacidade dos cilindros veicular**

O mercado dispõe de cilindros conforme a tabela:

Tabela 7. Capacidade dos cilindros de CNG

Capacidade do cilindro [m <sup>3</sup> ]	Capacidade de circulação [Km]
7,5	97,5
15	197
17	221
21	273

**4.6.2. Cálculo do aproximado do consumo de gasolina por distrito de GN**

$$Q_{anual} = \frac{430884}{11} = 39171,27 \frac{m^3}{a}$$

$$Q_{diaria} = \frac{39171,27}{356} = 110.03 \frac{m^3}{d}$$

$$Q_{diaria,d} = \frac{110.03}{5} = 22 \frac{m^3}{d}$$

**4.6.3. Cálculo do número de MAT's por posto**

$$n_{MAT} = \frac{22}{1500} = 0,1$$

Implica que é preciso um MAT em cada posto, porém para garantir a continuidade de fornecimento e resposta ao possível crescimento do uso de GNV propõe – se a instalação de 3 MAT por posto.

#### **4.6.4. Capacidade de abastecimento de GN por posto**

Volume do MAT =  $1500 \text{ m}^3$ , instalando 3 MAT por posto tem – se:

$$V_{mod}^{ef} = 95\% * V_{mod}^{Tot} \text{ - Condição válida para CNG}$$

$$V_{mod}^{ef} = 95\% * 4500 = 4275 \text{ m}^3$$

#### **4.6.5. Cálculo do número de veículos atendidos por cada Posto de Abastecimento**

Consideremos um em média um cilindro de  $15 \text{ m}^3$  instalado no veículo automóvel, cada posto de abastecimento tem a capacidade de  $\frac{4275}{15} = 285$  veículos sem troca dos MAT's.

#### **4.6.6. Cálculo do número de veículos atendidos em Maputo**

$n_v = 5 * 285 = 1425$  veículos podem ser abastecidos de GNV sem que ocorra a troca dos MAT's

#### **4.6.7. Escolha do dispenser**

De acordo com a vazão necessária escolhe – se o dispenser do fabricante GALILEO modelo EMB – 15 – 1 – D.



Figura 23. Dispenser da Galileo

Tem as seguintes características:

- Vazão média:  $15 \frac{m^3}{min}$
- 2 mangueiras de abastecimento
- Desenvolvido para abastecimento de GNV em veículos ligeiros e pesados

#### 4.6.8. Cálculo do diâmetro dos tubos do posto de abastecimento

$$Q = 15 \frac{m^3}{min} = 0,25 \frac{m^3}{s}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{v * \pi}} = \sqrt{\frac{4 * 0,25}{30 * \pi}} = 0,103m = 103mm$$

Escolhe – se o diâmetro normalizado de Ø5'

Verificação

$$v = \frac{4 * Q}{D^2 * \pi} = \frac{4 * 0,25}{0,125^2 * \pi} = 20,38 \frac{m}{s}$$

O valor da velocidade de escoamento do fluido para o diâmetro de Ø125mm é 20,38 m/s menor que o máximo recomendado logo é aplicável.

#### 4.7. Quantidade de GN necessário a demanda do projecto

O presente projecto é composto por duas componentes: a residencial e veicular. A tabela abaixo mostra resumidamente as quantidades de GN necessárias para o projecto.

Tabela 8. Demanda de Gás para o projecto

Tipo	V [ $\frac{m^3}{d}$ ]
Residências	45432,58
Postos de abastecimento veicular	22500,00
<b>Total</b>	<b>67932.58</b>

## 5. IMPACTO SÓCIO – ECONÓMICO DO PROJECTO

O consumo interno de recursos naturais de um país estimula de forma drástica a economia do mesmo, reduz o nível de dependência externa, traz um desenvolvimento as comunidades do país.

A representação do Estado Moçambicano no sector de hidrocarbonetos é desempenhada pela Empresa Nacional de Hidrocarbonetos - ENH, criada em 1981 com a responsabilidade de supervisionar a pesquisa, exploração, produção e comercialização de produtos gás e petrolíferos.

EK como consórcio entre a ENH, empresa pública e a Kogás, empresa de gás coreana com 30% de dividendos para o estado Moçambicano e 70% para a Korea do Sul, além disso o Estado Moçambicano recebe impostos resultantes do transporte e venda do GN.

O uso de GN é uma mais valia para a vida dos moçambicanos visto que terão a disposição deste recurso a cerca de 50% mais barato em comparação ao GLP conforme mostra a tabela abaixo.

Tabela 9. Custos entre GLP, Gasolina e GN

Combustível	GLP	Gasolina	GN
Preço/ $m^3$ [MT]	102,52	86,97	43,73

Resulta:

- um ganho de cerca 58% na substituição de GLP por GN,
- um ganho de cerca 50,1% na substituição da gasolina por GN.

### 5.1. Impacto Ambiental

O GN é basicamente constituído por moléculas de metano  $CH_4$ , onde as moléculas de Carbono e Hidrogénio são ligados numa proporção de 1 para 4 respectivamente, é um hidrocarboneto simples e mais estável na cadeia dos alcanos.

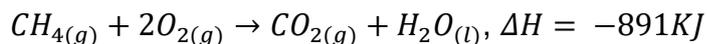
A nível nacional é mais usado para a queima, dependendo das condições, a queima deste combustível assim como os outros pode resultar em combustão completa e incompleta.

**a) Para uma combustão incompleta tem – se:**

- $CH_{4(g)} + \frac{3}{2}O_{2(g)} \rightarrow CO_{(g)} + H_2O_{(l)}, \Delta H = -607KJ$
- $CH_{4(g)} + O_{2(g)} \rightarrow C_{(g)} + 2H_2O_{(l)}, \Delta H = -497KJ$

No primeiro caso nota – se a formação de monóxido de carbono em pequenas quantidades o que é positivo tanto para o meio ambiente assim como para os seres vivos, lembrando que este gás é extremamente tóxico, e pode ser o causador de mortes por asfixia.

No segundo caso há menor formação de carbono ou fuligem que de certa forma tem um efeito negativo equipamentos para os quais o gás servido. Menor fuligem prove também o aumento do rendimento térmico dos equipamentos.

**b) Combustão completa:**

Ocorre a formação de dióxido de carbono aproveitado para a fotossíntese das plantas.

Como pode – se ver até para o pior caso que é a combustão incompleta, a queima do GN sai com uma vantagem comparado com os outros combustíveis nomeadamente: gás propano, butano, etc. e o meio ambiente agradece por apresentar menores átomos de carbono na sua estrutura molecular.

**5.2. Vantagens do projecto**

- Distribuição de GN a população sem acesso do gasoduto principal,
- Aumento de receitas financeiras ao Estado Moçambicano,
- Disponibilidade a nível amplo de energia barrata e limpa,
- Permite avaliar a possibilidade de instalação do gasoduto principal através da demanda,
- Baixos custos de implantação do projecto,
- Aumento da diversificação da matriz energética em Maputo,
- Geração de postos de trabalho,
- Menos fuligem nos equipamentos devido a queima limpa do gás.

**5.3. Desvantagens do projecto**

- O GN tem baixo poder calorífico comparativamente a Gasolina e GLP,
- Para uma determinada massa de ar é preciso mais quantidades de GN em relação aos gases GLP para ocorrência de combustão,
- GN é um recurso natural não renovável,
- Os cilindros que compõem os MAT's são mais espessos o que dificulta o manuseio dos mesmos.

## 6. RECOMENDAÇÕES

Para o correcto e seguro funcionamento da presente rede recomenda – se a formação da uma equipe que irá operá – la, patrulhamento diário deverá ser feito por forma a aferir o estado do gasoduto na sua totalidade. O GN pode entrar em combustão se assim os intervenientes se verificarem, portanto, extintores de incêndio devem ser espalhados por todas estações reguladoras de pressão, assim como nos veículos transportadores de gás.

O trajecto do gasoduto deve ser identificado e sinalizado em toda sua extensão, facilitando a sua identificação por outras companhias no trabalho de escavação.

Números de emergência devem também ser divulgados para facilitar o contacto em casos de emergência.

A empresa distribuidora do GN canalizado deve frequentemente realizar palestras e distribuir panfletos que alertam para o perigo do gasoduto as comunidades como forma de tornar a infraestrutura mais próxima das comunidades, agindo desta maneira a própria comunidade participa na segurança e protecção do gasoduto caso alguma anomalia ocorra.

## 7. CONCLUSÃO

A rede de distribuição da EK é constituída pelo gasoduto e estações de redução sendo a primeira o IRS seguido dos PRV por fim os CMS.

A combinação de tecnologias para o transporte reduzirá significativamente os custos de implantação do projecto - CNG.

O uso de tubos de polietileno de alta densidade na nova rede de distribuição projecto seguro e viável.

Com este projecto traremos a disposição dos munícipes de Maputo o GN, aliviando o custo de vida para os Moçambicanos Maputo.

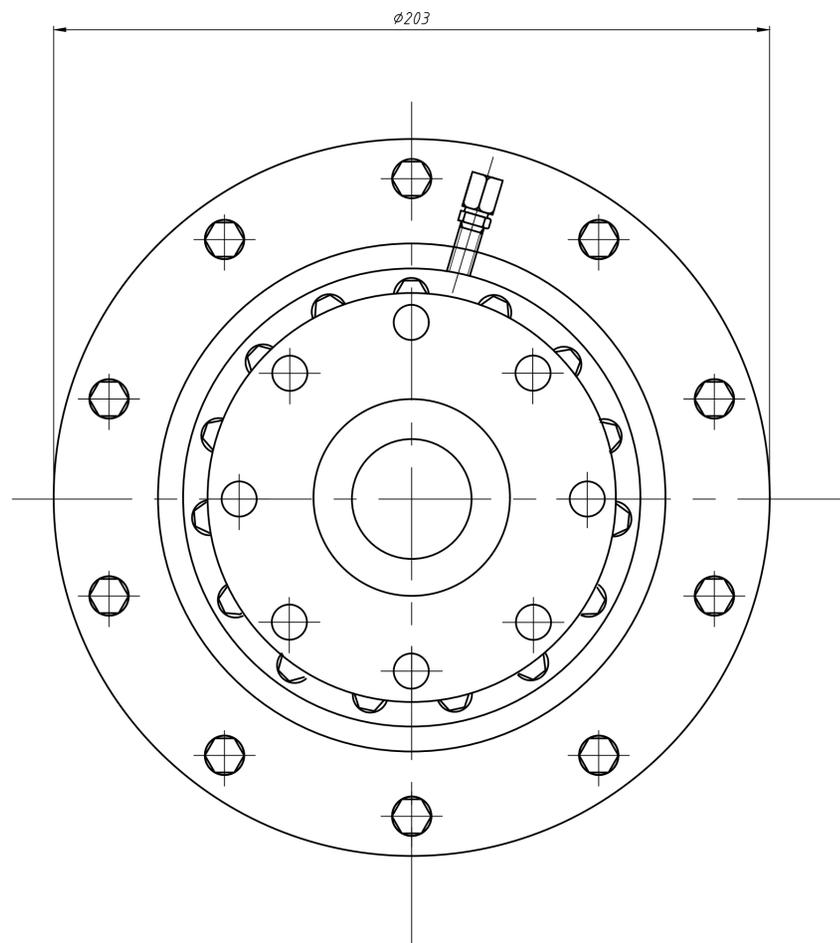
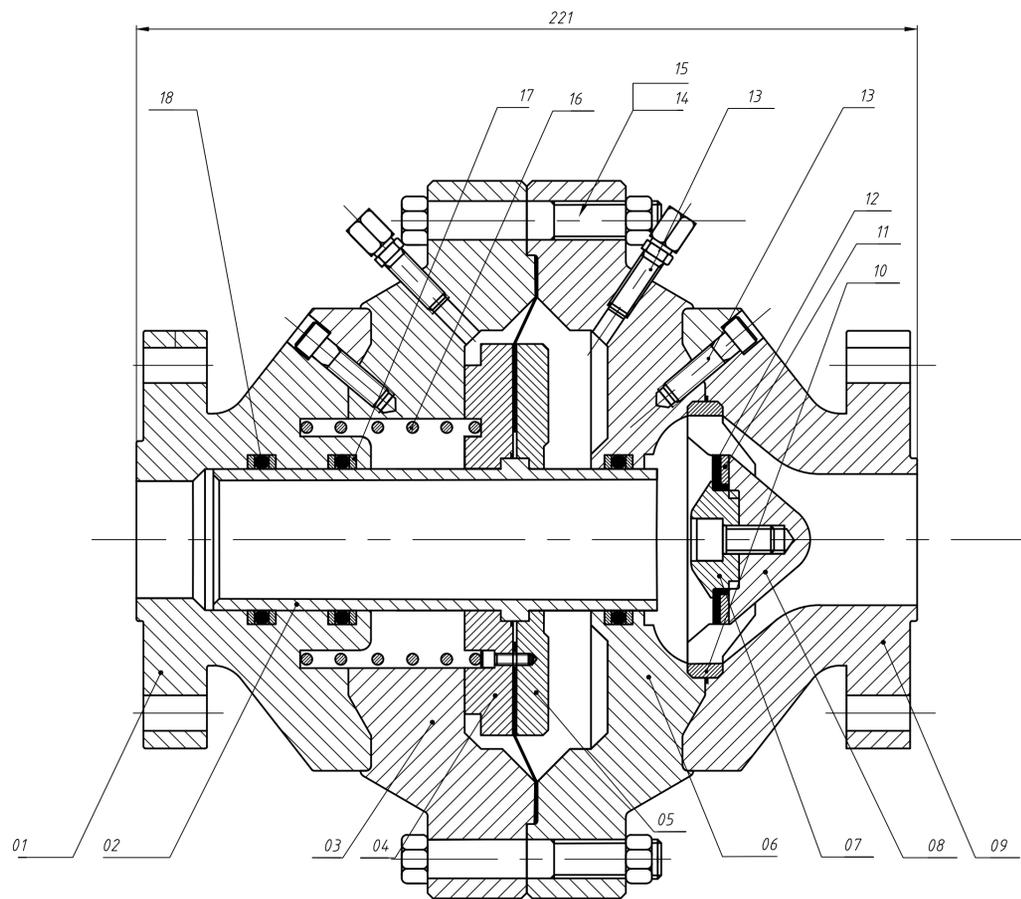
Este projecto trará ganhos financeiros para os munícipes, estado Moçambicano, o meio ambiente na por este (GN) ser barrato, menos poluente.

**8. BIBLIOGRAFIA**

1. ASME B31.8-2012 Gas Transmission and Distribution Piping Systems
2. ASME CODE FOR PRESSURE PIPING, B31 ASME B31.3-2002 (Revision of ASME B31.3-1999)
3. AGÊNCIA Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Site da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2019. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/gas-natural>>. Acesso em: 21 abr. 2019.
4. AMERICAN GAS ASSOCIATION. AGA 8: Compressibility Factors of Natural Gas and Other Related Hydrocarbon Gases. Washington, DC. 1992.
5. J. PAUL TULLIS Hydraulics of Pipelines 1989 Ed. Wiley Inter-Science Canada
6. ARESC, A. D. R. D. S. P. D. S. C.-. Proposta de metodologia de determinação das perdas. Santa Catarina. 2017.
7. MACINTYRE, A. J. Manual de instalações hidráulicas e sanitárias. [S.l.]: Guanabara, 1997.
8. JOHN L. KENNEDY Oil and Gas Pipeline Fundamentals 1993, Ed. PennWell Books, Tulsa Oklahoma, 366p.
9. MIRENE. Relatório Final. Fevereiro de 2018
10. [https://www.infopedia.pt/apoio/artigos/\\$tonelada-metrica](https://www.infopedia.pt/apoio/artigos/$tonelada-metrica)> Acesso em 15 de Junho pelas 18h.
11. <https://www.sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5817712/LOQ4086/AB41.TUBOS.INFORMACOES.GERAIS.pdf>> Acesso em 13 de Julho pelas 8h.
12. <https://www.galileoar.com/pt/bombas-de-gnv-emb/> Acesso em 13 de Maio pelas 9h.
13. MIRENE. Relatório Final. Fevereiro de 2018
14. <https://www.praxair.com.br/-/media/corporate/praxair-brazil/documents/natural-gas/foldergnc.pdf?la=pt-br>> Acesso em 13 de Julho pelas 15h.

**9. ANEXOS**

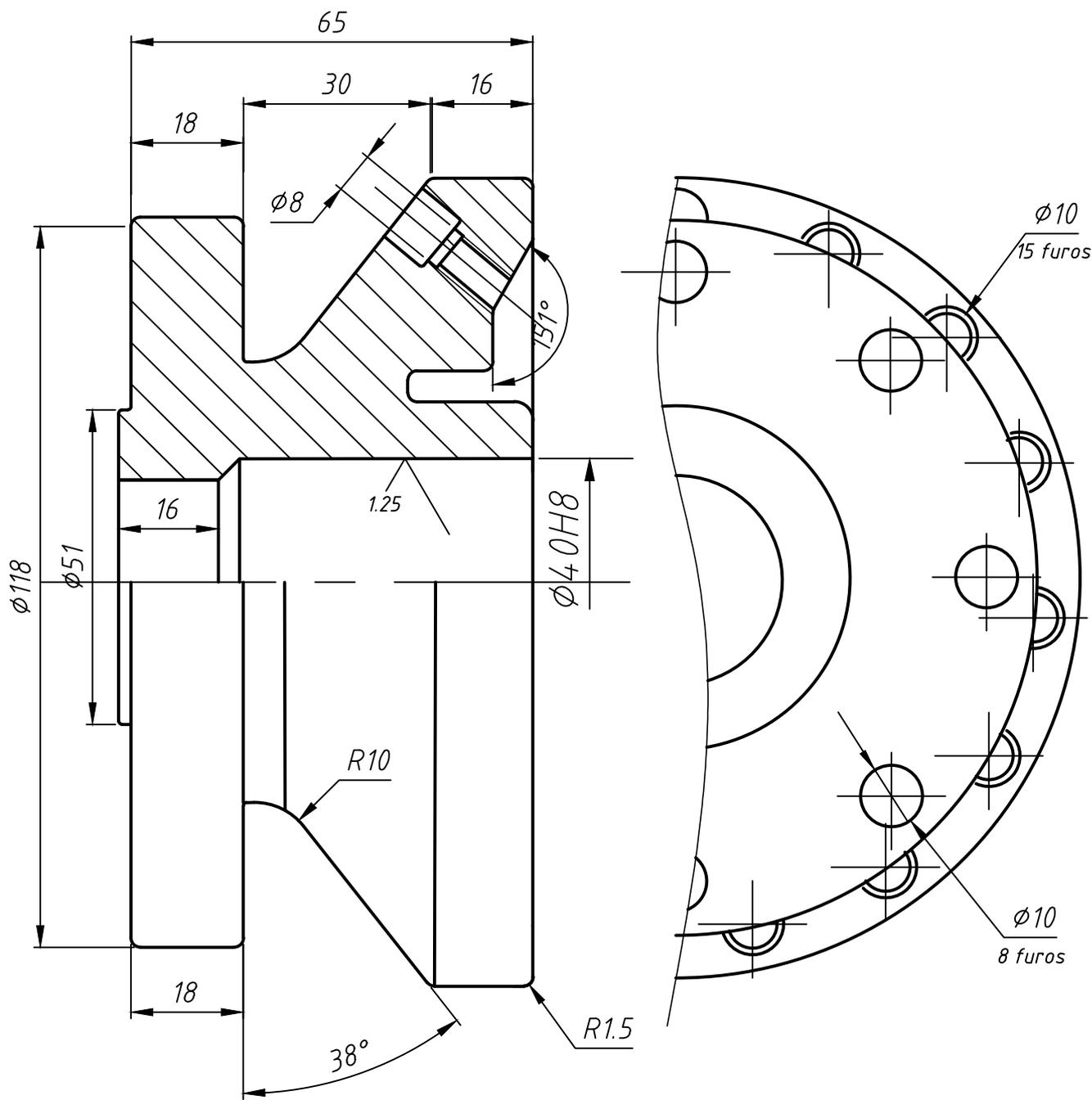
1. Desenho de Montagem do regulador,
2. Desenho de fabrico da flange de entrada,
3. Desenho de fabrico do casquilho,
4. Desenho de fabrico da cobertura de entrada,
5. Desenho da estação de enchimento dos MAT's e
6. Desenho da estação de descompressão.



A <sub>4</sub>	18	DEMA - EP - 2022	Vedante		
A <sub>4</sub>	17	DEMA - EP - 2022	Anel anti-fricção		
A <sub>4</sub>	16	DEMA - EP - 2022	Mola		
A <sub>4</sub>	15	DEMA - EP - 2022	Porca M10		
A <sub>4</sub>	14	DEMA - EP - 2022	Parafuso m10		
A <sub>4</sub>	13	DEMA - EP - 2022	Parafuso m8		
A <sub>4</sub>	12	DEMA - EP - 2022	Vedante		
A <sub>4</sub>	11	DEMA - EP - 2022	Anilha		
			Peças normalizadas		
A <sub>4</sub>	10	DEMA - EP - 2022	Suporte da base		
A <sub>4</sub>	09	DEMA - EP - 2022	Flange de saída		
A <sub>4</sub>	08	DEMA - EP - 2022	Desenho de Conjunto		
A <sub>4</sub>	07	DEMA - EP - 2022	Retentor da base		
A <sub>4</sub>	06	DEMA - EP - 2022	Cobertura de saída		
A <sub>4</sub>	05	DEMA - EP - 2022	Placa de saída		
A <sub>4</sub>	04	DEMA - EP - 2022	Placa de entrada		
A <sub>4</sub>	03	DEMA - EP - 2022	Cobertura de entrada		
A <sub>4</sub>	02	DEMA - EP - 2022	Casquilho		
A <sub>4</sub>	01	DEMA - EP - 2022	Flange de entrada		
Formato					
Zona					
Referen					
		Designação	Nome	Quant.	Observ.

DEMA - EP - 2022 - DM					
Alt	Folha	Documento n°	Ass.	Data	
Desenhou	Fundo			11/04	
Verificou	Eng° Mscmoque				
Regulador de Pressão					Código
Aço: C20					Massa
1:1					Escala
Folha					N° de Folhas

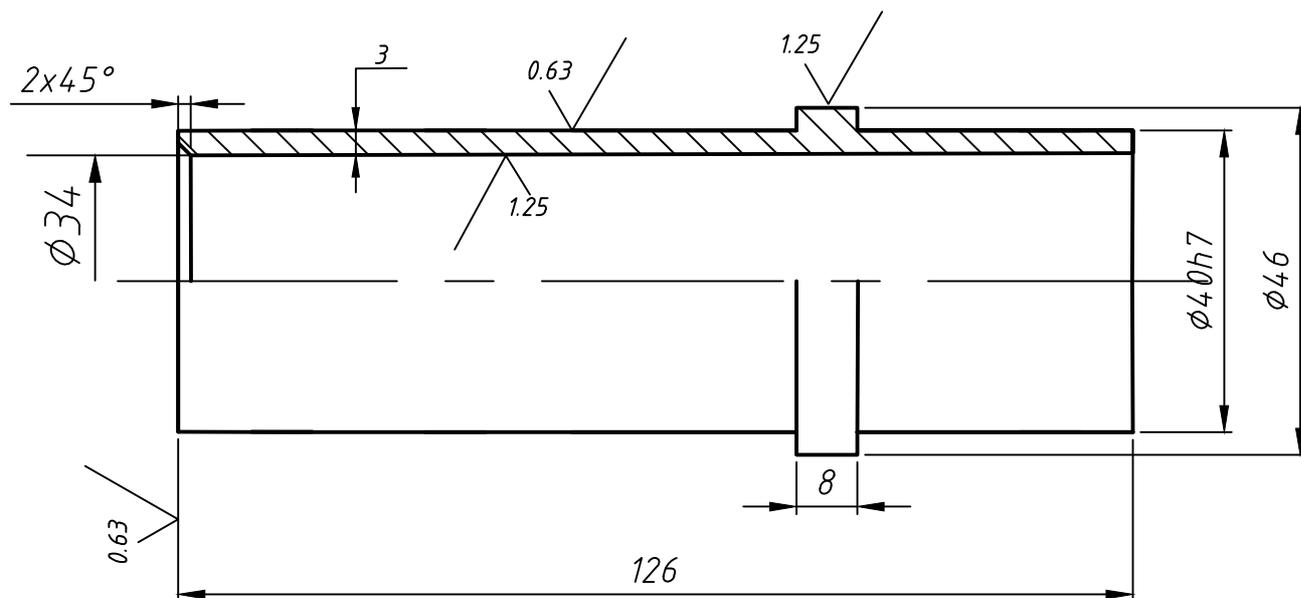
Rz80  $\sqrt{(\sqrt{V})}$



1. Desvios limites não indicados: furos H14, veios h14 ( $\pm 17\frac{1}{2}$ )
2. Raios de boleoamento 2mm

					DEMA - EP - 2022 - 01			
Alt	Folha	Documento No.	Ass.	Data	Flange de entrada	Codigo	Massa	Escala
Desenhou	Fondo			11.04				1:1
Verificou	Eng° Mocomoque					Folha	N° de folhas	
					Aço: C20			

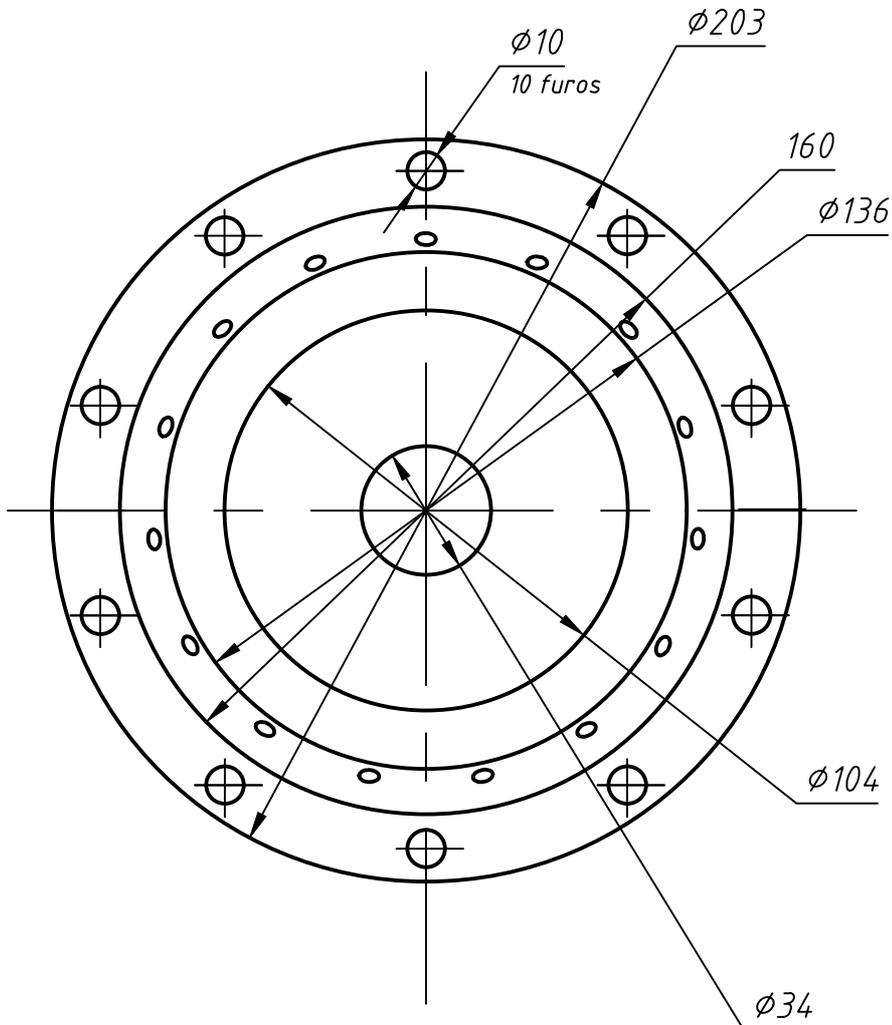
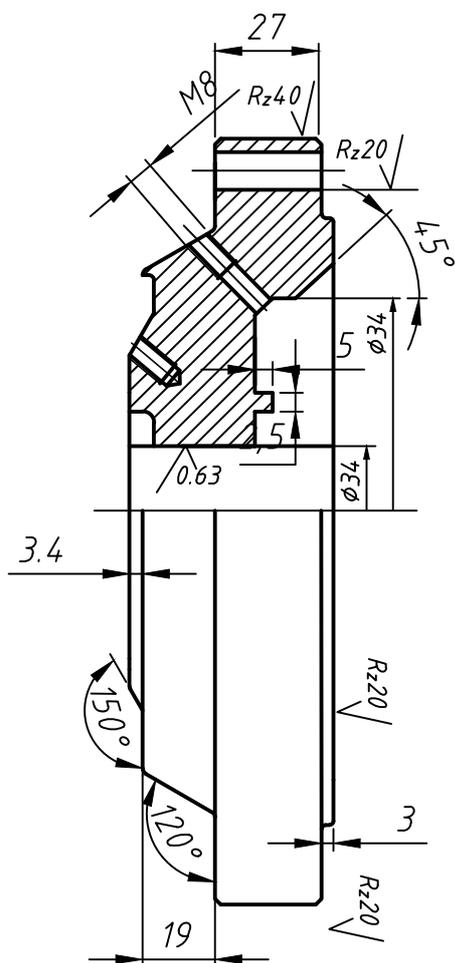
Rz20  $\sqrt{(\checkmark)}$



1. Desvios limites não indicados: furos H14, veios h14 ( $\pm 17\frac{14}{2}$ )
2. Raios de boejamento 2mm

					DEMA - EP - 2022 - 02		
					Casquilho		Escala
Alt	Folha	Documento No.	Ass.	Data	Codigo	Massa	1:1
				11.04			
Desenhou	Fundo				Folha		N° de folhas
Verificou	Eng° Mocomoque						
					Aço: C20		

Rz80/(\checkmark)



1. Desvios limites não indicados: furos H14, veios h14 ( $\pm 17\frac{1}{2}$ )
2. Raios de boleoamento 2mm

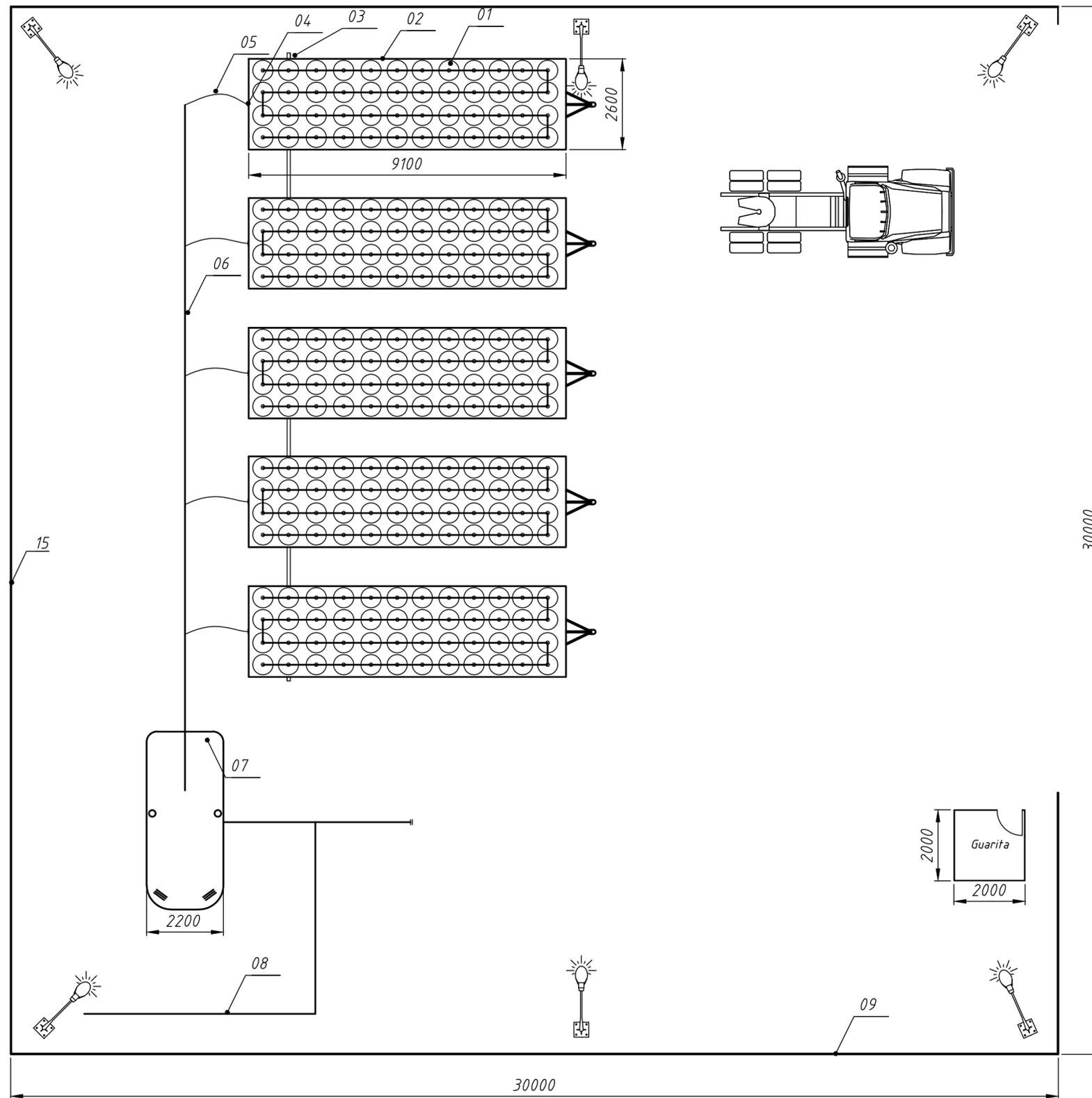
DEMA - EP - 2022 - 03

Folha	Documento No.	Ass.	Data
Desenhou	Fondo		11.04
Verificou	Eng° Mocomoque		

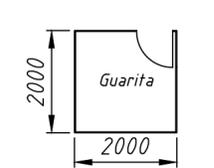
Cobertura de entrada

Aço: C20

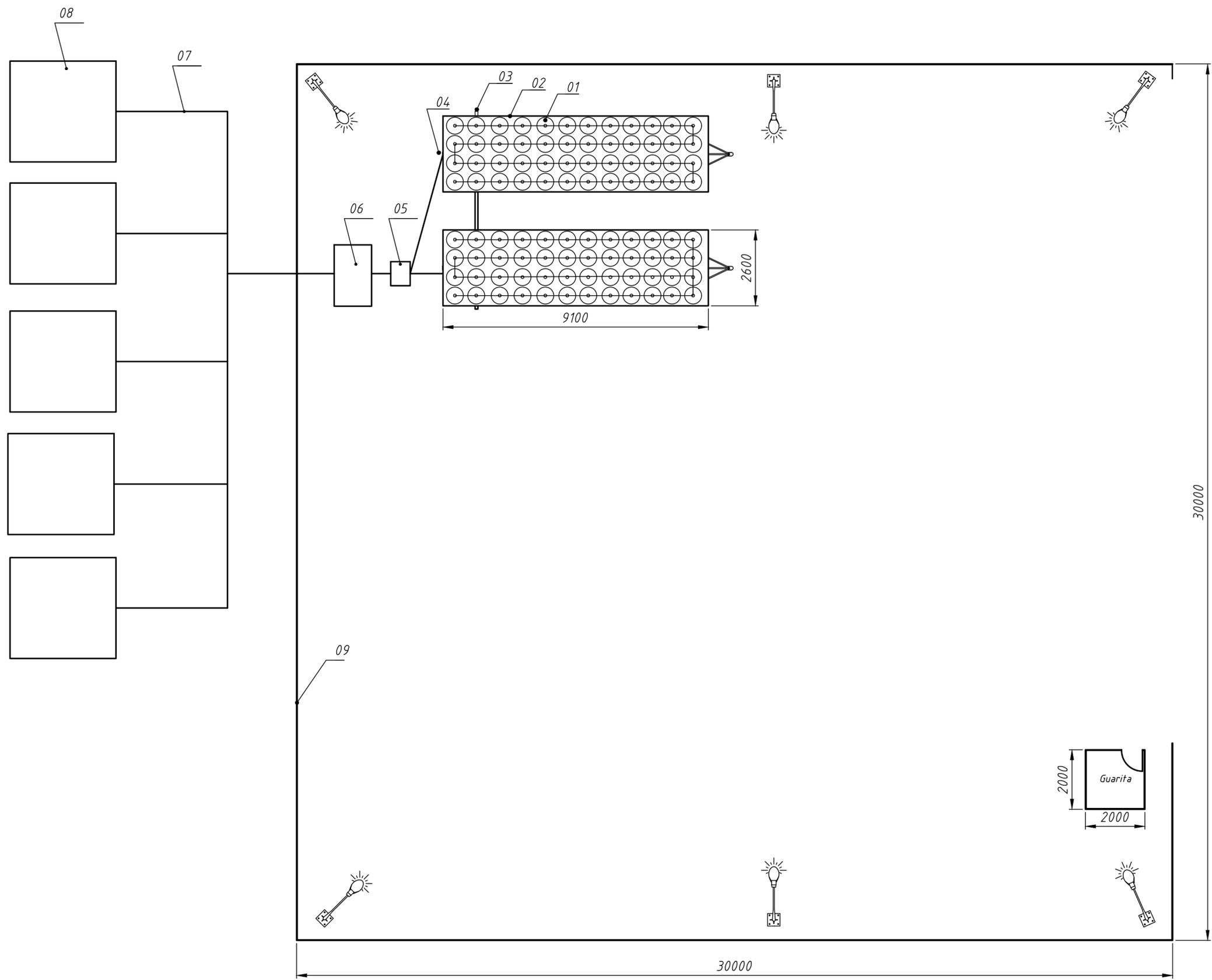
Codigo	Massa	Escala
		1:2
Folha	N° de folhas	



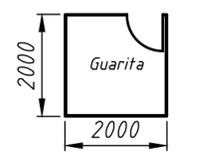
- onde:
- 01 - Cilindros de CNG
  - 02 - MAT
  - 03 - Limitador do caminhão
  - 04 - Engate rápido
  - 05 - Mangueiras de enchimento de alta pressão
  - 06 - Tubo de aço de alta pressão
  - 07 - Compressor de gás
  - 08 - Gasoduto existente
  - 09 - Murro de Vedação



				DEMA - EP - 2022 - 01			
Alt	Folha	Doc. No.	Assinat.	Data	Código	Massa	Escala
Desenhou	Fundo			20.05			1:100
Verificou	Eng <sup>o</sup> Macomogue				Folha	Folhas	
					Aço C10 e Polietileno		UEM - FE



- onde:
- 01 - Cilindros de GN
  - 02 - MAT
  - 03 - Limitador do Gasoduto
  - 04 - Manômetro
  - 05 - Módulo de Troca Automática
  - 06 - Painel de redução de pressão
  - 07 - Tubos de gás de polietileno de alta densidade
  - 08 - Distritos Urbanos
  - 09 - Murro de Vedação



					DEMA - EP - 2022 - 00			
Alt	Folha	Doc. No.	Assinat.	Data	Estação de decompressão de GN	Código	Massa	Escala
Desenhou	Fundo	EngºMocomoque		20.05				1:100
Verificou						Folha	Folhas	
Aço C10 e Polietileno						UEM - FE		